

JINDŘICH ŘIČICA

GEOTECHNIKA V HISTORII TECHNOLOGIÍ





JINDŘICH ŘIČICA

**GEOTECHNIKA
V HISTORII
TECHNOLOGIÍ**



Copyright © Jindřich Řičica, 2020
Obálka Jiří Světlík (foto Libor Štěřba)
Grafická úprava Martin Šusta
Jazyková redakce Jan Zelenka
Vydáno péčí ADSZS

ISBN 978-80-270-7758-8

OBSAH

PŘEDMLUVA	9
■ KAPITOLA I. ÚVOD	11
O problematice geotechnického inženýrství	11
O technologiích	12
Metodika	13
Podrobné přehledy historie	14
Širší historický rámec	14
Společenské pozadí vývoje	14
Historie v ČR	14
■ KAPITOLA II. METODIKA	15
Problematika třídění technologií	15
Metodika záznamu historie	17
Odborný jazyk, termíny a názvy	17
Formální uspořádání	18
Zdroje a citace	18
Rejstřík vybraných pojmů, jmen a firem	18
■ KAPITOLA III. RAŽENÍ	19
Beranění	22
Vibrační ražení	26
Sonické ražení	28
Předražené piloty na místě betonované	29
Ponorné horizontální vibrátory	32
Vtlačované piloty	35
Vplachování	35
Šroubovitě piloty	37
Faktor plazových nosičů zakládacích souprav	38
■ KAPITOLA IV. VRTÁNÍ	43
Část A MALOPRŮMĚROVÉ VRTÁNÍ	47
Plnoprofilové vrtání v naftovém průmyslu	48
Přiklepné vrtání	53
Ponorné kladivo	59
Rotační jádrové vrtání	62
Pažnicové vrtání	65
Vrtací soupravy	69
Část B VELKOPRŮMĚROVÉ VRTÁNÍ	72
Nárazové vrtání	75
Rotační cyklické náběrové vrtání	77
Ponorné kladivo s cyklickým vyprazdňováním	84

Průběžné vrtání s přímým výplachem	85
Vrtání s nepřímým výplachem (reverzní cirkulace)	87
Vrtání s průběžným vzduchovým výplachem	88
Piloty označené CFA, CAP	89
Piloty označené BDP/FDP atp.	92
■ KAPITOLA V. HLOUBENÍ	95
Část A SPECIÁLNÍ HLUBOKÉ VÝKOPY	98
Hloubkové odvodňování základové půdy	98
Hloubení pod vodou a práce na vodě	102
Splavování ponorných konstrukcí	105
Část B SPOUŠTĚNÉ HLUBINNÉ ZÁKLADY – KESONY	108
Spouštěné otevřené kesony / studny	108
Přetlakové kesony	111
Spodem uzavřené splavované kesony / skříně	114
Betonáž pod vodou	116
Část C OPĚRNÉ A ZÁRUBNÍ ZDI	118
Část D PAŽICÍ KONSTRUKCE A STĚNY	122
Návodní jímky	122
Pažicí konstrukce	125
Ražené pažicí stěny	127
Záporové stěny	127
Vrtané pilotové stěny	129
Vrtané mikrozáporové stěny	131
Podzemní stěny	132
Technologické faktory výroby PS	135
Alternativní pažicí podzemní stěny	152
Drenážní podzemní stěny	155
Část E TĚSNICÍ CLONY	156
Těsnicí podzemní stěny	157
Tenké těsnicí stěny – TTS	161
Speciální podzemní bariéry	163
■ KAPITOLA VI. ZLEPŠOVÁNÍ ZÁKLADOVÉ PŮDY	167
Část A ZLEPŠOVÁNÍ S PŘÍMĚSMI	171
Injektování	171
Trysková injektáž	199
Soil-mixing	209
Sloupové inkluze	219
Pískové piloty a šterkové pilíře	224
Část B VYZTUŽOVÁNÍ ZÁKLADOVÉHO PROSTŘEDÍ	230
Mikropiloty	231
Kotvení	236

Hřebíkování	241
Vyztužování zemního prostředí	241
Vyztužování skalního prostředí	248
Část C ZLEPŠOVÁNÍ BEZ PŘÍMĚSÍ	250
Zhutňování nesoudržných zemin nebo navážek	250
Konsolidace soudržných zemin	257
Zmrazování	261
Část D DEKONTAMINACE	266
Pasivní metody	270
Aktivní metody	274
Kombinované metody	274
■ KAPITOLA VII. ŠIRŠÍ DĚJINNÉ SOUVISLOSTI	277
Dějinný rámec od dávnověku	278
Souhrnný přehled vývoje technologií	280
Hlavní faktory vývoje civilizace	281
Hlavní souvislosti vývoje společnosti, vědy a techniky	285
■ KAPITOLA VIII. VZDĚLANOST, OSOBNOSTI, FIRMY A INSTITUCE	287
Vývoj technické vzdělanosti	288
Osobnosti v teorii a praxi	289
Specializované firmy	292
Přehled významných firem	293
Vývoj ekonomických pozic	295
Profesní organizace	298
■ KAPITOLA IX. HISTORIE V ČR	301
Vývoj technické vzdělanosti	302
Osobnosti v teorii a praxi	303
Specializované firmy	304
Profesní organizace	307
DOSLOV	309
INFORMAČNÍ ZDROJE	310
O AUTOROVI	313
ENGLISH SUMMARY	315
REJSTRÍK VYBRANÝCH POJMŮ, JMEN A FIREM	317
INZERÁTY ADSZS	322

PŘEDMLUVA

Tato publikace si klade za cíl oslovit především ty mladé lidi, kterým je geotechnické inženýrství i sám obor speciálního zakládání již poněkud povědomý. Mohla by tedy podnítit jejich hlubší zájem do jeho pestrého života vstoupit. K tomuto účelu je její styl částečně popularizační a nerozpakuje se poskytnout na různých místech i poutavé příběhy z geotechnické profese. Většina nákladu je ostatně přednostně určena k rozdáni do knihoven škol.

Kniha je ovšem určena též těm, kteří se již do oboru nějakým způsobem zapojili a chtějí plně pochopit kontext jeho souvislostí v časovém vývoji. Porozumět, jak, proč a kdy ke změnám v těchto pracích došlo. V souborném pojednání poskytuje komplexní pohled na historii oboru. Poslouží též k dobré orientaci ve spleti nesčetných technologických odboček.

A samozřejmě by rovněž měla být k ruce všem, kteří v oboru již pracují a kteří se mohou inspirovat ve své tvůrčí práci proměnlivými cestami jeho dosavadního vývoje od vzdálené minulosti až k výsledným tvarům. Obsahuje proto řadu dat, údajů a přehledů.

Rozhodl jsem se promluvit touto prací za všechny své profesní kolegy, s nimiž jsem měl tu čest zažívat zvláštní, technologicky bouřlivé a dobrodružné období rozvoje oboru speciálního zakládání v druhé polovině 20. století. Setkávali jsme se při mnoha různých příležitostech, v blátě na stavbách, v projekčních kancelářích a laboratořích, v tuzemsku i v zahraničí. Po dlouhá léta jsem pracoval a diskutoval s předními odborníky tohoto oboru u nás i ve světě. Byl jsem účasten generačně sdíleného nadšení a zanícení pro jeho historicky mimořádný vzestup. Mnozí z kolegů již navždy odešli, aniž stačili zanechat o tomto neobyčejně zajímavém čase nějakou ucelenou výpověď. A většina ostatních je stále natolik ponořena do svých aktivit, že na shrnutí svého ještě neuzavřeného údobí nemá pomyšlení.

Zůstalo tedy na mně, abych do pozadí souvisle utkaného letitými výměnami názorů začlenil souhrnně též fakta zaznamenaná v rozptýlených zdrojích. Bylo tak možno vyložit probíhající děje, předložit názory na jejich hlavní faktory a připojit komentáře výsledných vztahů. Bez přediva souvislostí a určitého nadhledu nelze ostatně podat celkovou výpověď o tom, co se v historii oboru skutečně odehrálo. Obraz uplynulé doby, založený jen na historiografickém výčtu událostí, by nemohl čtenáře uspokojit.

Kniha z uvedených důvodů hovoří v množném čísle. Představuje tím jakýsi spojitý pohled velkého množství lidí, kteří aktivně historii oboru tvořili. Je tak poděkováním a projevem úcty všem těm nesčetným kreativním jedincům, jejichž úsilí se vlilo do jednoho společného strhujícího proudu, o němž je podáváno svědectví.

Téma bylo původně zpracováno v seriálu časopiseckých článků, ale po kladné odezvě čtenářů bylo pak podstatně přepracováno do samostatné publikace. Děkuji tímto i mnohým spolupracovníkům, kteří napomohli jejímu vydání a rozšíření pro všechny, jež může zaujmout.

Jindřich Říčka

KAPITOLA I.

ÚVOD

Publikace je zaměřena především na praxi prováděcích technologií oboru geotechnického inženýrství, a to v jeho užším, ale na různé činnosti bohatém odvětví speciálního zakládání staveb.

Doposud byla naprostá většina odborné geotechnické literatury soustředěna na pole teorie navrhování konstrukcí. Proto bychom naší knihou o podrobnostech technologií provádění chtěli tuto nerovnováhu poněkud napravit. Návrhové teorie a metody jsou zde tedy až na některé nezbytné výjimky ponechány stranou.

O PROBLEMATICE GEOTECHNICKÉHO INŽENÝRSTVÍ

Geotechnické inženýrství je poměrně mladý obor stavebnictví. Zahrnuje širokou problematiku základových konstrukcí, podzemních a vodohospodářských staveb, ale i zřizování konstrukcí ze zemních a podobných materiálů, opatření proti sesuvům a ochranu před jinými přírodními vlivy, ochranu přírodního prostředí apod.

Obecným úkolem geotechnického inženýrství je řešit spolupůsobení budované stavby s existujícím základovým prostředím. Geotechnika tedy pracuje v oblasti průniku dvou zcela odlišných sfér jevů, jinými slovy zabývá se vztahy v rozdílných systémových strukturách.

Jedním ze systémů je přírodní podzákladí, v němž existují nejistoty vstupních údajů a panují zákony pravděpodobnosti (obr. I. 1 – frontispis). Prostředí základové půdy je popisováno převážně empiricky, interpretací údajů získaných z průzkumů. Vlastnosti základové půdy se stanovují ze statistického vyhodnocení vzorků. Podrobnějším zkoumáním tohoto prostředí se zabývají přírodovědní obory inženýrské geologie, hydrogeologie a další.

Druhá oblast jevů je ale naopak zcela technicistní. Zabývá se konstrukcemi staveb vytvořených uměle člověkem z obvykle standardních materiálů s jejich předem definovanými vlastnostmi. Ve stavitelství tak rozhodují exaktní zákony mechaniky.

Geotechnický inženýr musí být proto k vyřešení úkolu, jak založit navrhovanou stavbu, vybaven odbornými schopnostmi pro práci s oběma těmito systémy (obr. I. 2).

HLAVNÍ A PODPŮRNÉ DISCIPLÍNY GEOTECHNICKÉHO INŽENÝRSTVÍ				
HYDROLOGIE	GEOLOGIE	MECHANIKA HORNIN	MECHANIKA ZEMIN	STAVEBNÍ PŘEDPISY A NORMY
HYDROGEOLOGIE	ZAKLÁDÁNÍ STAVEB			ŘÍZENÍ RIZIK
	ZEMNÍ KONSTRUKCE	PODZEMNÍ STAVBY		
GEOCHEMIE	GEOTECHNICKÉ INŽENÝRSTVÍ			STAVEBNÍ PRÁCE
GT PRŮZKUM STAVENIŠTĚ	ZLEPŠOVÁNÍ ZÁKLADOVÉ PŮDY	VODOHOSPODÁŘSKÉ STAVBY		TECHNOLOGIE PROVÁDĚNÍ GEOTECHNICKÝCH KONSTRUKCÍ
SEIZMICITA A SESUVY	STAVEBNÍ MECHANIKA	MECHANIKA KONTINUA	NUMERICKÉ MODELOVÁNÍ	VLASTNOSTI STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

Obr. 1.2: Schematické tradiční znázornění odborného vybavení autorizovaného stavebního inženýra geotechnika (AI) hlavními a podpůrnými disciplínami. Oranžově je vyznačeno prolínání s jinak podstatně odlišnou přírodovědnou profesí inženýrského geologa.

Profesně se v posledních desetiletích odborníci geotechnického inženýrství vyhranili podle svých osobních preferencí spíše k projektování či provádění staveb nebo k vědeckému zkoumání a zaměřují se čím dál více na **užší zájmové oblasti oboru**:

- **geotechnický průzkum prostředí** – převažuje zde nezbytná úzká spolupráce se specialisty přírodovědných oborů inženýrské geologie, hydrogeologie atd., kteří poskytují podklady. Velká část odborníků této specializace se věnuje akademickému výzkumu interpretace průzkumů.
- **navrhování geotechnických konstrukcí** – část těchto odborníků úzce spolupracuje na praktických projektech, ale značná část se věnuje akademickému výzkumu teorie. Do oboru zde rozsáhle vstupuje proud IT odborníků se zaváděním počítačového modelování.
- **provádění geotechnických konstrukcí** – zůstává nejbližší tradiční stavební výrobě, ale značně se mísí s vlivy odborníků na mechanizaci a technologické postupy, včetně instrumentace, počítačového řízení a kontroly procesů. Prováděcím metodám se věnuje jen malá část akademických odborníků.
- **monitoring interakce geotechnických konstrukcí** – rozvíjející se nový obor zahrnuje značný podíl elektronické instrumentace a počítačového sledování.

V rámci těchto odborných zájmových skupin dochází ke sblížení, sjednocování i formulování společných názorů. Takový byl i proces vzniku této publikace.

O TECHNOLOGIÍCH

Obor geotechnického inženýrství podstatně závisí na spletitém souboru technologií, které prošly za posledních sto let rychlým vývojem, v posledních padesáti letech takřka bouřlivým. S přírůstkem nových technických prostředků a technologických postupů začala geotechnika pokrývat svými metodami mnohem různorodější oblast stavebních aktivit. Většina nových technologií však vznikla v oborově užším, samostatném odvětví – ve **speciálním zakládání staveb**. To povstalo z dříve obecně užívaného dělení předmětu zakládání staveb na plošné a hlubinné rozšířením o pestřejší metody hlubinného zakládání.

Výše zmíněná příbuzná odvětví geotechnického inženýrství však takový rozmach rozmanitosti technologií nezaznamenala. Tento rozdíl lze krátce vystihnout jen se značně zobecňujícím zjednodušením. Například v odvětví zemních prací existuje poměrně trvalá sestava typových strojů, kterou je potřeba kapacitně ladit na místně žadaný technologický postup prací. V tunelářství se například spíše řeší, jak se předem pevně zvolený technologický postup ražby vyrovná se skutečně zastíženou proměnlivostí geotechnických podmínek v průběhu liniového postupu prací.

Technologické vlivy

Z uvedené technologické závislosti vyplývá jedna velmi významná zvláštnost geotechnického inženýrství. Pro řešení klíčové interakce stavby a podzákladí byly sice nalezeny speciální prováděcí metody, k jejich správnému použití je ale nezbytně nutné znát u těchto postupů výrobní faktory a účinky jejich tzv. **technologických vlivů** na konkrétní geotechnické vlastnosti základové půdy. Tyto vlivy totiž mohou očekávanou interakci navržené konstrukce se základovým prostředím velmi výrazně pozměnit.

Účinky technologických vlivů instalace mohou být v různých podmínkách značně odlišné. Jejich identifikace a vyhodnocení musí být řádně provedeny v rizikové analýze projektu. Je známo, že geotechnická rizika mají disproporčně vyšší podíl na celkovém riziku stavby, a tedy že jejich nedostatečné ošetření může vést k vážným nehodám projektu. Tomu je možno předejít jen znalostí prováděcích technologií.

Technologická kompetence

Speciální zakládání řeší obzvláště různorodé problémy, na něž běžné stavební inženýrství nepostačuje. Odborník proto musí být vybaven i patřičnou erudicí a dovedností v používání technologií. K získání kompetence je tedy potřebné mít nejen jejich základní teoretické znalosti, ale i praktické zkušenosti s jejich prováděním na stavbách. Kromě toho je také zapotřebí znát kontext jejich vztahů. Nejsnáze lze porozumět předivu vzájemných vztahů technologií při dostatečné obeznámenosti s jejich historickou genezí.

Pochopení souvislostí chronologického vývoje totiž výrazně napomáhá logickému uspořádání podstatných informací. Bez vědomostí o minulém řešení problémů hrozí nebezpečí, že budou opakovány staré chyby. Příkladem toho je zcela nedávný tuzemský případ. Byla ohlášena „nová progresivní metoda injektáže“, avšak ukázalo se, že je jen celosvětově opuštěnou a zcela beznadějnou slepou uličkou, a to již před sedmdesáti lety. Přitom by bývalo stačilo mít odborně zažitý význam jednoho z největších vynálezů v historii geotechniky – manžetové injekční trubky (viz kapitola VI., str. 181). Nedávno také v tomto smyslu naléhavě vyzval jeden přední britský odborník, že je potřeba připomínat třicet let staré technologické poznatky, protože mladé generaci tato zpětná vazba někdy chybí.

METODIKA

Obzvláště v posledních padesáti letech došlo k tak dynamickému nárůstu množství různých metod a postupů pro zřizování konstrukcí speciálního zakládání i jejich odlišných modifikací nebo variant, že se celý tento soubor stal téměř nepřehledným. Bylo proto nutno započít se systematizací této množiny. A teprve poté bylo možno provést podrobnější rekapitulaci přehledu historického vzniku a vývoje všech jejich významných částí.

Pro účel této publikace byla v **kapitole II.** ustavena vhodná metodika rozřídění zkoumaných předmětů, vzájemně různě propojených skupin prováděcích technologických systémů, metod a aplikací do vnitřně souvisejících okruhů. Ty byly dále podrobněji hierarchizovány. Tím bylo umožněno rozlišovat a srovnávat vlastnosti i činitele příbuzných technologických systémů.

Tato klasifikace může být využívána i k jiným účelům, například k základní orientaci při posuzování činitelů tzv. technologických vlivů. Může být užitečná pro pracovníky nově vstupující do oboru nebo účastníkům přistupujícím ke spolupráci z jiných oborů. Poskytuje rychlou orientaci a širší rozhled v provázanosti a spletnosti technologií, které se obvykle získávají až po delší zkušenosti.

PODROBNÉ PŘEHLEDY HISTORIE

Historický vývoj jednotlivých okruhů činností je pojednán v **kapitolách III., IV., V. a VI.** Hlavním cílem je ukázat vývoj technologií a metod již od jejich archaického stadia přes mezníky, které znamenaly přechod na vyšší úroveň, a rovněž, jak v tomto vývoji docházelo k významným zlomům, peripetiím a skokům kupředu. Jak byl tento proces ovlivňován a obohacován rozvojem mechanizace i výrobou nových materiálů, jak docházelo ke vzájemnému křížení myšlenek z různých souvisících oborů.

Pro zachycení všech těchto zajímavých souvislostí zasazujeme vývoj do častých, ale stručných odkazů na konkrétní časový, geografický i hospodářsko-politický rámec. Upozorňujeme na jednotlivé důležité případy jakýchsi katalyzátorů, které v procesu vývoje hrály především vynálezy jedinců nebo úsilí firem o inovace. Zaznamenáváme též okamžiky prvního použití nových technologií, a to jak ve světě, tak u nás.

ŠIRŠÍ HISTORICKÝ RÁMEC

Pro lepší pochopení celkového pohybu dějin jsou v **kapitole VII.** shrnuty z hlediska dopadů na vývoj technologií všeobecné historické souvislosti, vývoj vědy a techniky, geografické vazby a hospodářsko-politické vlivy.

SPOLEČENSKÉ POZADÍ VÝVOJE

Vlivy významných společenských faktorů, osobností, firem a institucí na vývoj jsou podrobněji pojednány v **kapitole VIII.** Pozornost je věnována osobnostem, které podstatnou měrou ovlivnily ustavení geotechnické vědy a podílely se na její praxi; měly tedy přímý vliv na vývoj technologií a vytvářely jim nezbytnou oporu v teoretickém zázemí. Poukazujeme i na proměnu tohoto vlivu koncem 20. století.

Mimořádně velký význam pro vývoj technologií měly aktivity specializovaných prováděcích firem v praxi tržního prostředí. Proto bylo nutné jejich poměrně velmi málo známou historii zachytit do komplexního obrazu.

Rovněž bylo třeba upozornit na roli vzdělávacích a mnohdy opomíjených profesních institucí.

HISTORIE V ČR

Shrnutí historického vývoje technologií u nás je podáno v **kapitole IX.** Je poukázáno na historické kořeny i problémy druhé poloviny 20. století.

KAPITOLA II.

METODIKA

PROBLEMATIKA TŘÍDĚNÍ TECHNOLOGIÍ

Předně je třeba zdůraznit, že polem zájmu je obor speciálního zakládání staveb coby část geotechnického inženýrství, v níž se vyskytuje velké množství různorodých pracovních procesů. Zaměřujeme se především na metody provádění a na jejich základní technologické systémy z pohledu praxe. Účelem přehledu je zobrazit časový vývoj této části geotechnického inženýrství v zrcadle používání jejich výrobních technologií a jejich mnohdy klikaté geneze.

Již na počátku záměru se ukázalo, že k porozumění podnětům, vedoucím ke vzniku technologií a jejich následným proměnám, je nezbytné poskytnout nejen kontext vnějších souvislostí, ale i vzájemných vztahů mezi nimi. Bylo tedy nutno roztrždit jejich množinu do vnitřně souvisících technologických systémů a zkoumat pak vývoj skupin provázaných stejnými kořeny.

K počátečním obtížím takového třídění přispívá, že je v oboru běžnou a častou praxí kombinování různých technologií. A to jak v základních technologických procesech – například nárazovo-točivé vrtání, tak v prováděcích metodách – například ražené injektované mikropiloty, nebo na různých částech projektu – například pažení hloubeného výkopu se zlepšováním podzákladí. Stejně technologie jsou také začleňovány do rozličných dalších následných metod či aplikací. Vzhledem k celkové složitosti oboru proto zatím nebylo takové přehledné roztržení provedeno.

Další závažná potíž spočívá v tom, že rozlišování technologií již tradičně vychází ze dvou účelově vyhraněných a dosti odlišných přístupů. Jedním je **hledisko navrhování** geotechnických konstrukcí. Zde jde především o zvolení nejvhodnější známé aplikace dostupných metod pro daný úkol – například pro návrh základů vysoké budovy nebo pro zapažení výkopu hluboké stavební jámy. Část projektantů je však poměrně vzdálená od prováděcí praxe, jsou soustředěni na teoretické modelování a chybí jim nezbytné zkušenosti z realizace staveb. Znalosti technologie jsou tudíž v takových případech značně přetržité, omezené hlavně na aktuální texty jednotlivých normových předpisů. Potom je ovšem problematické vyhodnotit konkrétní technologické vlivy provádění na výslednou součinnost zřízené základové konstrukce se základovým prostředím.

Zcela jiný je naopak přístup z úzce **prováděcího hlediska**, soustředěného především k nasazení technologických prostředků. Zde převažuje provozní zájem efektivního využití momentálně dostupného mechanizačního a materiálového vybavení. Při prosazování tohoto pohledu se však někdy stává, že se úpravou technologického postupu podle použitého strojního zařízení nepřiznivě změní charakter tzv. technologických vlivů, původně uvažovaných v návrhu. K významu takto odlišného přístupu přispívá i celkový vývoj oboru v posledních desetiletích, kdy přicházely inovační impulzy k rozšíření metod speciálního zakládání spíše ze strany průmyslového rozvoje mechanizačních prostředků. Vývoj teorie návrhových postupů začal zaostávat za praxí rozvoje technologií, jako kupříkladu u systémů roztlačovaných vrtaných pilot.

Přehledné a všeobecné roztržení prováděcích technologií by mělo přispět k překlenutí uvedených protikladů. Mělo by napomoci zlepšit dosavadní nedostatečné chápání vzájemných vztahů a souvislostí.

Základní rozdělení na okruhy činností

Z hlediska celkové přehlednosti byl soubor zkoumaných technologií rozdělen do čtyř hlavních okruhů technologických systémů podle příbuznosti převládajícího druhu základní činnosti v daných pracích speciálního zakládání. Jsou to:

- Ražení – beranění, včetně vibrování, vtlačování, šroubování atd.
- Vrtání – maloprůměrové a velkoprůměrové, včetně výplachů atd.
- Hloubení – studny, kesony, podzemní stěny, pažení výkopů atd.
- Zlepšování vlastností základové půdy – například injektáží, kotvením, speciálními technologiemi atd.

Rozdělení oboru na takovéto okruhy nebo bloky je sice neobvyklé, ale velmi podstatně usnadňuje prvotní zachycení zásadních souvislostí obdobných technologických systémů. Dál je pak nutno vydělit hlavní společné znaky dalších tříd, podle kterých je lze klasifikovat podrobněji.

Třídění systémů

Z prvotního rozdělení se odvíjí další dělení technologií podle obvyklé hierarchie výrobních procesů. Dalším krokem je proto základní zařazení do rozdílných tříd, odborně definovaných jako **disciplíny prací**. Vhodným měřítkem je hlavní společný rys technologií v dané třídě. Následně je třeba rozdělit technologie do skupin podle **principu účinků** prováděcího zařízení nebo jeho akcí. A z toho pak již logicky vyplývá rozdělení do podskupin podle zaměření **metod provádění**, tedy podle prováděcích postupů a prostředků, zejména mechanizačního zařízení. Nakonec zbývá uvést rozdělení na **typické aplikace** nebo jejich příklady. Souhrnně je to znázorněno v tabulce na obr. II. 1.

HIERARCHIE TŘÍDĚNÍ	PŘÍKLADY
OBOR	Speciální zakládání staveb
OKRUHY HLAVNÍCH ČINNOSTÍ Systémy technologií s převládajícími příbuznými aktivitami/způsoby provádění	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ražení 2. Vrtání 3. Hloubení 4. Zlepšování základové půdy
Třídy: ODBORNÉ DISCIPLÍNY definované podle hlavních společných rysů prováděcí technologie	Např.: 1.1 beranění 1.2 vibrování 1.3 vtlačování atd.
Skupiny: PRINCIPY POUŽITÍ podle hlavního účinku zařízení nebo jeho akce, jímž se řídí použití metod	Např.: 1.1.1 beranění volnopádovým nárazovým beranem
Podskupiny: METODY Postupy použití technologií + mechanizačních prostředků, zařízení, materiálů atp.	Např.: – předrážené piloty s dočasnou výpažnicí
APLIKACE Příklady odvození konkrétní technologie pro účel realizace	Např.: – piloty typu VIBREX se ztracenou botkou a vibračním odpažováním

Obr. II. 1: Hierarchie a obecná klasifikace technologií pro přehled historie technologií a metod speciálního zakládání staveb

Roztřídění jednotlivých okruhů

Pro každý okruh činnosti je provedena přehledná, zjednodušená klasifikace podle uvedené metodiky v názorném tabulkovém diagramu utřídění v úvodu kapitoly III. až VI. Tabulkové přehledy poskytují základní souhrn užívaných technologií. Nečiní si však nárok na to, aby zachytily veškeré podrobnosti a byly kompletní i pro okrajové předměty.

Při porovnání těchto klasifikací je patrné, jak se některé hlavní činnosti vzájemně mezi sebou prolínají a doplňují – významně například při činnostech okruhu VRTÁNÍ. Nebo jak se vzájemně překrývají – například v činnostech ZLEPŠOVÁNÍ. V některých činnostech podstatně spolupůsobí s prováděcími postupy jiných oborů – například oboru zemních prací v činnostech HLOUBENÍ.

Podrobnější roztřídění je následně rozvinuto uvnitř skupin nebo podskupin okruhu. Je to vhodné u některých hojně rozvětvených činností přehledné klasifikace, někdy i pro jednotlivé oddělené technologické větve. Bylo tak učiněno zejména u velmi komplikovaného okruhu činností při zlepšování vlastností základových půd v kapitole VI., například pro injektáže, a to i při respektu k existující normě ČSN 12715, nebo pro soil-mixing. V kapitole VI. jsme také ponechali pro srovnání s naší nově upravenou zjednodušenou verzí i podrobnější klasifikaci TC17 – ISSMGE. Obdobně bylo zpracováno zatřídění technologií pro speciální oblast sanace znečištění základové půdy, doplněných do tohoto okruhu činností.

METODIKA ZÁZNAMU HISTORIE

Základním metodickým postupem přehledu vymezeného okruhu je chronologický soupis. Kapitoly vždy uvádíme všeobecnými okolnostmi a u každé podkapitoly začínáme zachycením historických počátků. Osnova významných údajů a mezníků v průběhu vývoje jednotlivých technologických systémů je po dané ose činností spojována popisem do plynulého toku. Zmíněné charakteristické kombinování a propojování technologií ovšem popis důležitých událostí vývoje někdy poněkud komplikuje. Občas nás to tedy nutí k různým odbočkám a časovým návratům.

Z obavy z přílišného množství údajů a kvůli přehlednosti se povětšinou nezabýváme parametry probíraných technologií ani navrhováním jejich použití. Některé nepříliš důležité nebo již zcela neaktuální detaily vývoje záměrně nezmiňujeme, zatímco u jiných podrobností, považovaných ze zpětného pohledu za důležité, se naopak zastavujeme. A také u těch, které oživují výklad svým spojením se zajímavými příběhy.

Dějinné mezníky

Systematicky uvádíme a zdůrazňujeme historická data dokumentovaného počátečního kořene zkoumané technologie. Stejně tak i světová a domácí prvenství její aplikace v již vyhraněné a zřetelně formulované formě daného stadia vývoje. Tyto údaje je ovšem nutno brát s potřebnou rezervovaností vzhledem k dostupnosti spolehlivé dokumentace, již bylo mnohdy velmi obtížné dohledat. Proto slouží spíše jako orientační ukazatele v celkovém kontextu souvislostí doby.

ODBORNÝ JAZYK, TERMÍNY A NÁZVY

Celkově dáváme přednost živému jazyku a stylu odborné praxe před knižními výrazy a slohem vědeckých prací. Pro správné porozumění všem sdělením v úzce odborném předmětu je třeba dodržovat srozumitelné **názvosloví** vymezené současnými technickými normami. Je však také nutno přihlídnout k tomu, že se tato terminologie vyvíjí stejně prudce jako obor sám, a proto občas teorie standardů zaostává za prováděcí praxí i za jejím provozním vyjadřováním. Někdy se tak dodatečně přejímají do norem termíny, mezitím již zvykově zažitá z hovorové praxe na stavbách nebo z odborného

slangu a žargonu. V moderní době jsou to velmi často anglicismy. Je třeba si přiznat, že čeština nemá bohužel ve svém základě dostatečnou slovní zásobu pro moderní techniku, a tak je zavádění nových výrazů někdy pocitováno po určité době problematicky. Některé důležité termíny proto uvádíme i v jejich původní nebo rozšířené anglické verzi.

FORMÁLNÍ USPOŘÁDÁNÍ

Text hlavních kapitol III. až VI. je pro snadnou přehlednost členěn do označených částí podle metodiky utřídění, avšak jejich další podkapitoly a doprovodné pasáže jsou již uspořádány volněji, v duchu velké proměnlivosti a komplexnosti některých technologických systémů. K orientaci je kromě úvodního obsahu knihy k dispozici též rejstřík vybraných pojmů.

Zvýrazněním některých slov v textu zdůrazňujeme specifické technologické termíny, které jsou v dané souvislosti blíže osvětleny. Činíme tak především s ohledem na popularizační záměr publikace. Obdobně zvýrazňujeme jak jména významných osobností, které podstatně přispěly k teorii a praxi geotechnických technologií nebo k jejich podkladům, tak názvy vybraných firem či podniků. U nich většinou využíváme zkrácení bez označení jejich právní registrace nebo proměn názvů v průběhu času.

Doprovodné obrázky jsou voleny tak, aby především vystihly ve vizuální zkratce technický obsah textového sdělení, přičemž by měly dostatečně pokrývat i různé časové, geografické a firemní spektrum.

ZDROJE A CITACE

Pro dodržení hlavního záměru publikace byla upřednostněna čtivost textu před jeho dokladovostí podrobnými odkazy a citacemi. Seznam literatury a dalších zdrojů, z nichž bylo čerpáno je uveden v příloze, přesnější odkazy na tyto prameny jsou v textu knihy uvedeny jen výjimečně.

Mnohé významné informace byly získány, jak již nastíněno v předmluvě a úvodu, v osobních nedokumentovaných diskusích s odborníky a pamětníky. Všechna jejich jména zde proto nelze uvést či jen zmínit.

Ilustrace pocházejí z archivu autora, pokud není uvedeno jinak. Jejich charakter je dokumentační a je nutno se smířit s nižší kvalitou starších zdrojů.

REJSTŘÍK VYBRANÝCH POJMŮ, JMEN A FIREM

Při sestavování rejstříku bylo výběrem hesel upřednostněno snadné a rychlé vyhledávání pasáží, ve kterých jsou dané předměty šířeji osvětleny. Totéž se týká vybraných významných osob a firem.

KAPITOLA III.

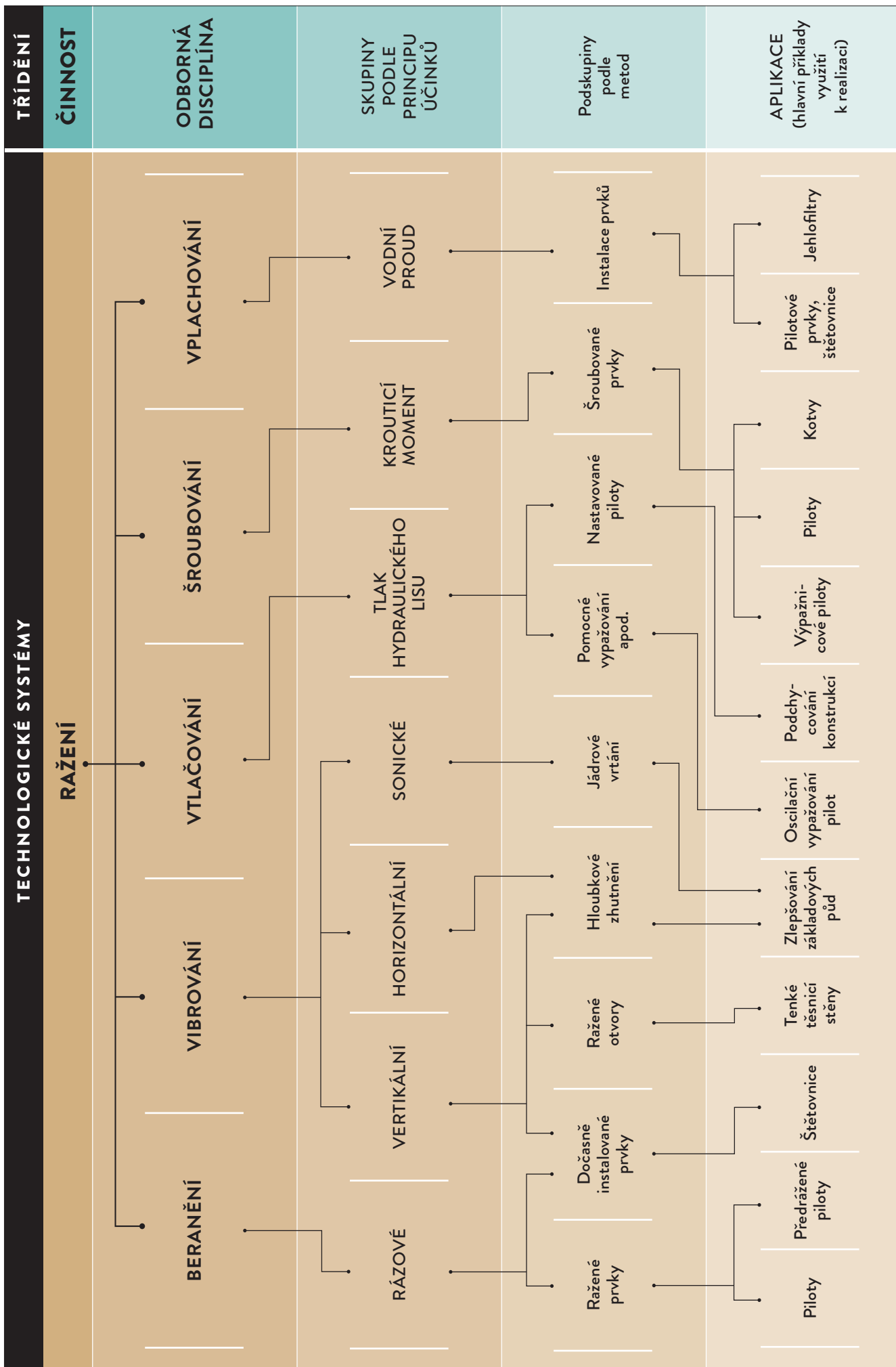
RAŽENÍ

VŠEOBECNĚ

Do tohoto druhu činností řadíme technologické systémy, jež velmi široce pokrývá metoda zvaná vhánění základových prvků. Moderní názvosloví pro ně používá anglický obecný název displacement, což doslova znamená, že při instalaci základových prvků nedochází k odtěžení původní základové půdy. Systémy zahrnují jak technologie nárazového beranění a příbuzné vibrování, tak vtlačování, vplachování apod. V češtině se vžil poněkud užší termín ražení.

Systémy instalace základových prvků vháněním jsou od svých historických počátků dodnes v celosvětovém měřítku nejčastěji užívanou metodou (obr. III. 2 a obr. IV. 3). U nás tvoří jen menšinu celkového objemu prací, a to ještě v jeho užším smyslu skutečného ražení. Je však potřeba vidět tento okruh činností v celé šíři.

Pojednáváme zde především hlavní technologie, uvedené v klasifikační tabulce na obr. III. 1, z nichž odvozováním a kombinacemi vznikaly i další systémy.



Obr. III. 1: Utřídění technologických systémů v okruhu činnosti RAŽENÍ

Počátky klasického beranění

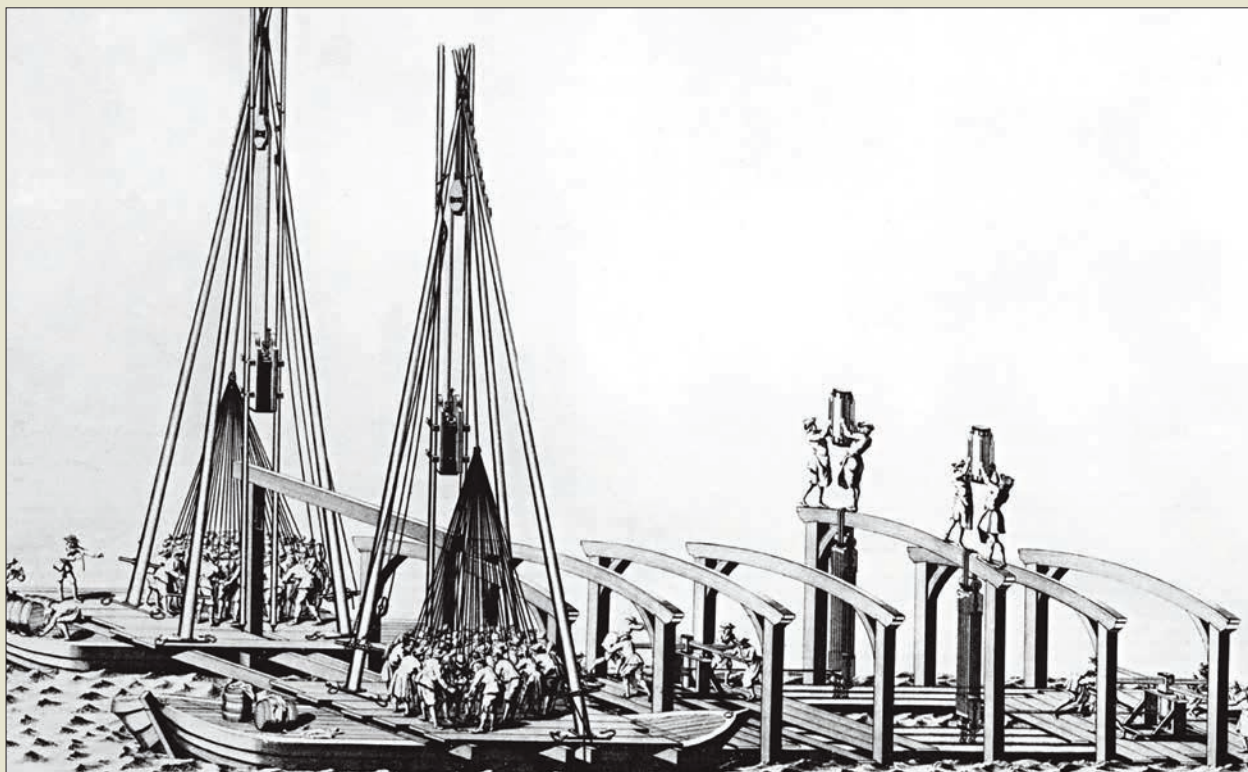
Patrně nejstarší metodou speciálního zakládání jsou ručně beraněné lehké piloty u pobřežních dřevěných staveb s podlahami ukládanými na velkém počtu zarážených dřevěných kůlů (obr. III. 3).

Ani v době starověkých říší však nebyly technické možnosti na takové úrovni, aby se tato metoda využívala i pro skutečně trvalé, zděné budovy. Jediná mimořádná situace, která si mohla její použití dočasně vynutit, byla nezbytnost překonat při vojenském tažení vodní tok mostem nebo zajistit přístaviště. Tam patrně došlo k významnějším aplikacím a následně k jejich dalšímu rozšíření. Nejstarší archeologické nálezy větších pilot pocházejí například ze Skotska z doby před 5000 roky nebo cedrové piloty z Babylonu před 2500 lety. Nejdokonalejším příkladem jsou nejspíš dubové piloty pro Caesarovy dřevěné mosty přes Rýn. Jeden z nich byl v roce 55 př. n. l. údajně postaven za pouhých deset dní.

K podstatnému rozvoji pilotování došlo až mnohem později, zhruba od 9. století n. l. Vynutila si její výstavba přímořských obchodních středisek, a to zejména v Benátkách a Nizozemsku. Doklady o tehdy užívané jednoduché technologii pocházejí však až z 15. století. Obrázek III. 2 je názorným dokladem dokonce až ze 17. století. Zde je již použit vyvinutější **volnopádový těžký beran** na kladce vedený loutkou a poháněný velkou skupinou lidí. Počet potřebných úderů dosahoval i několika set tisíc! Vidět je také tehdy často užívaný ruční beran o váze cca 100 kg, určený pro pomocné beranění (viz též obr. VI. 68).

BERANĚNÍ

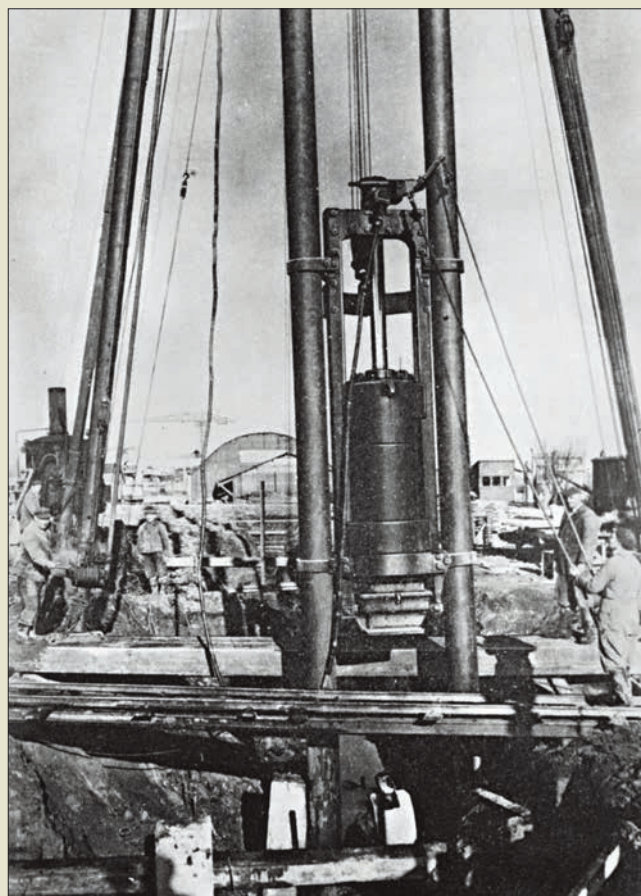
Příchod parního stroje v 19. století rázem nahradil lidskou sílu a umožnil zavedení vrátků pro značně těžší volnopádové berany. V roce 1880 vedl i k vynálezu mechanických **parních jednočinných beranů**, vyráběných firmou Menck. Protože jde o velmi robustní, jednoduché a spolehlivé stroje, jsou někde ve světě užívány dodnes, ovšem již s vytápěním naftou (obr. III. 4).



Obr. III. 2: Beranění pilot ze soulodí lidskou silou v Nizozemsku v 17. století

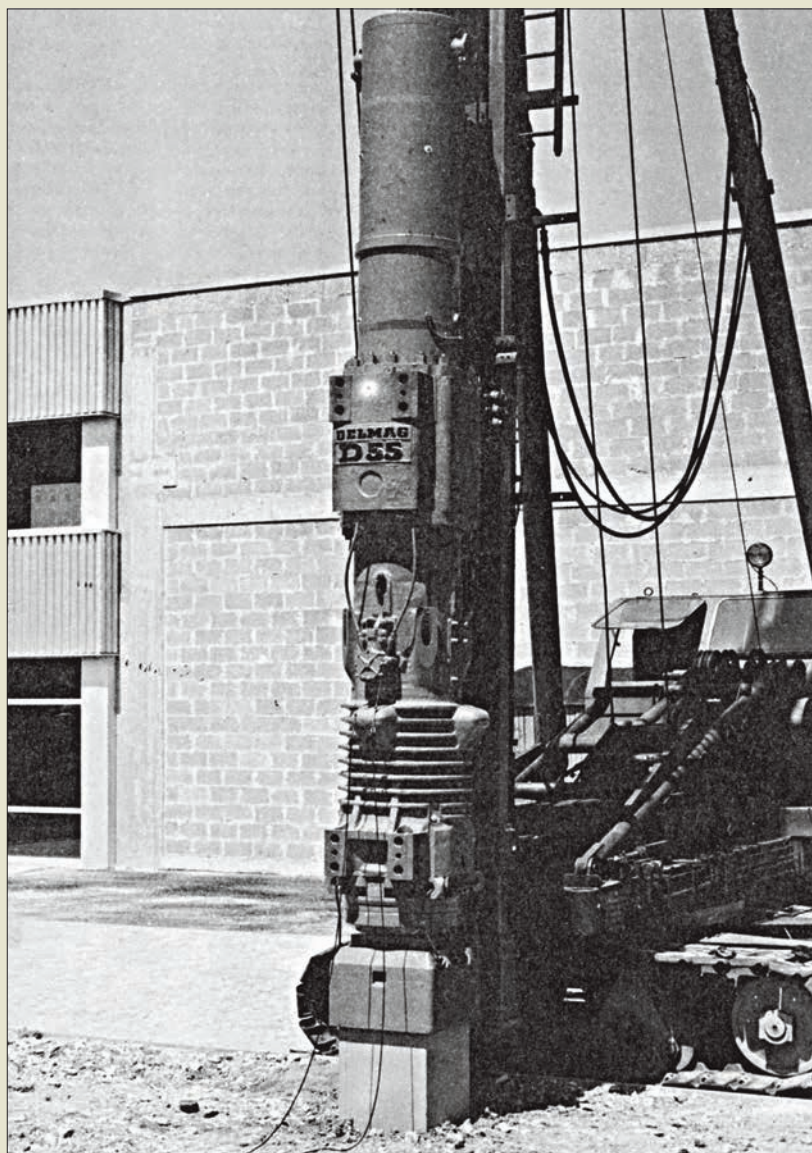


Obr. III. 3: Rekonstrukce nákolných sídel z doby před cca 5000 lety na Bodamském jezeře v Německu



Obr. III. 4: Beranění pilot parním beranem Menck v Nizozemsku roku 1970

Obr. III. 5: Dlouhodobě
nejpopulárnější typ těžkého
dieselberanu Delmag D55 při
beranění prefabrikovaných pilot
v devadesátých letech



Vývoj beranění pokračoval dál od pneumatických beranů na stlačený vzduch z kompresoru, zaváděných na počátku 20. století, až k jednočinnému výbušnému beranu v roce 1926 německé firmy Delmag zvaného **dieselberan**. Po dalším postupném vylepšování tohoto typu beranu byla v poválečném období vyvinuta dnes nejpoužívanější verze dvojčinného dieselberanu (obr. III. 5).

Tento typ plně odpovídal novým poznatkům dynamické teorie, podle níž pro efektivitu beranění není rozhodující vlastní síla úderu, ale spíše časový průběh jeho intenzity. Zároveň bylo ovšem vyvinuto mnoho podobných typů beranů jinými výrobci. V sedmdesátých letech také došlo k prudkému rozvoji hydraulických systémů, a tak se ke konci století začaly více uplatňovat verze **hydraulických** jednočinných a později i dvojčinných beranů s mohutnými tlouky. Jejich mechanismus umožňoval snadno obracet úder i směrem vzhůru a vytahovat tak zaberaněné prvky, zejména štětovnice. Pro tento účel dříve sloužily samostatné speciální berany jako vyrážče.

Historickou zvláštností metody beraněných pilot je posuzování jejich funkce podle zkušenosti s nárůstem odporu proti vniku do základové půdy. Od nepaměti se tak postupně z těchto zkušeností vyvíjela pravidla pro sledování **mezního vniku** při poslední sadě úderů. Později z toho byly odvozeny empirické zásady navrhování kapacity piloty a dokonce odvozovány tzv. **dynamické vzorce** pro únosnost. Ty však nikdy nepřesvědčily o své obecné platnosti. Po zavedení podrobného elektronického monitoringu procesu beranění byly v posledních desetiletích odvozovány spolehlivější návrhové postupy únosnosti na základě fyzikální teorie šíření rázů.

Faktory materiálu a druhů pilot

Během mnoha staletí se nadále používaly jen piloty nebo štetovnice ze dřeva. Až počátkem 19. století vedl v západní Evropě počínající nedostatek kvalitního dubového dřeva pro piloty k hledání náhradních materiálů, zejména pro stále náročnější účely. To se týkalo hlavně Velké Británie, kde byly duby vymýceny pro potřeby loďstva v napoleonských válkách. V roce 1820 tak byly poprvé použity při stavbě přístavu v severoanglickém Bridlingtonu piloty z železné litiny. Užívaly se pak velmi často, obvykle ze spojovaných trubních částí o délce 3 m a průměrech 300 až 400 mm. Pro poměrnou křehkost však bylo jejich uplatnění obtížné. Od roku 1833 se také objevovaly místo dřevěných štetovnic litinové desky. Spojené státy naproti tomu nedostatkem dřeva netrpěly, a proto náhradní materiály dlouho nepotřebovaly hledat.

Před koncem 19. století ale začala stavebnictví výrazně ovlivňovat průmyslová výroba oceli, která nahradila do té doby používané železo. Vynález spolehlivých elektrických výtahů pak umožnil výstavbu výškových budov z ocelových skeletů. První takové stavby vznikly v roce 1885 v americkém Chicagu. Tento vývoj si vyžádal zavedení únosnějších pilot, nejprve z ražených ocelových rour a později z dalších válcovaných profilů a prvků. Získaly si značnou oblibu, protože umožňovaly silnější beranění a dosažení větších hloubek. To bylo velmi důležité pro návodní pilíře mostů kvůli nebezpečí prohloubení dna vodními výmoly. Výroba válcovaných ocelových prvků se ovšem začala rozvíjet teprve ve čtyřicátých letech 19. století; nejprve to byly žádané železniční kolejnice, takže po několik desetiletí ještě nebyl k dispozici vhodný sortiment ocelového materiálu. První most založený na pilotách z I profilů byl tak založen až v roce 1890 v Nebrasce. V roce 1908 však již válcovny Bethlehem Steel v Chicagu vyráběly silnostěnné nosníky H, které se staly nejoblíbenějším prvkem pro pilotování.

Tehdejší situaci s hledáním nových stavebně výhodných materiálových prvků výstižně zachycuje vývoj ocelových štetovnic. Poptávka po náhradě dřevěných štetovnic pro náročnější stavební díla byla všude stále naléhavější. Na konci 19. století se tedy v USA začalo za tímto účelem experimentovat s plochými pilotami, vytvořenými z pásnic tehdy dostupnějšího kovaného železa, spojovaných nýty. Tyto desky se zarážely do mezer mezi předtím instalované kolejnice, do vedení jejich drážek. V roce 1897 realizoval podobnou myšlenku stavební inženýr **Tryggve Larssen** v severoněmeckých Brémách vynálezem slavné **ocelové štetovnice**. Ta sestávala z válcovaného ocelového korýtka s podélně přinýtovanými jednoduše profilovanými zámky. Už roku 1901 však byly v Chicagu válcovány podle amerických patentů první štetovnice kompletního průřezu i se zámky. To dokládá, jak rychle se v době před více než sto lety šířily a křížily informace o technických inovacích i přes oceán a jak dychtivě je tehdejší západní civilizace zaváděla do života.

Velkou výhodou ocelových ražených prvků bylo kromě vysoké únosnosti snadné nastavování délky pouhým přivařením další části. Proto tento materiál dlouhodobě dominuje technologickým systémům ražení a metodám pilotování. Tak byla odvozena řada tzv. **výpažnicových pilot**, patentovaných obvykle pod chráněným názvem. Kombinují zaberaněnou trvalou neboli „ztracenou“ tenkostěnnou výpažnici s následnou výplní její dutiny betonem či později železobetonem (například již od roku 1901 v USA široce známé kónické piloty Raymond).

Na konci 19. století se objevil alternativní materiál železobeton a první **prefabrikované piloty** z tohoto nového levnějšího materiálu se začaly vyrábět v Evropě. Nápad si patentoval v roce 1892 francouzský vynálezce François Hennebique. Prefabrikované piloty se pak staly v následujících letech nejobvyklejší metodou užívanou pro konvenční beraněné piloty. Také u těchto prvků existují mnohé varianty průřezů i podélných tvarů. Po počátečních několikaletých zkušenostech se začaly intenzivně hledat cesty, jak odstranit jejich nevýhodu omezených nebo předem daných délek. Vzniklo několik desítek návrhů a patentů spojek s různým praktickým uplatněním.

V roce 1935 si další francouzský vynálezce Eugène Freyssinet patentoval **předpjaté železobetonové piloty** trubního silnostěnného průřezu. Použil je úspěšně v délce 33 m při výstavbě přístavu v Le Havru. Zhruba v padesátých letech 20. století se pak výroba pilot orientovala většinou na předpjatý beton, který byl svými vlastnostmi pro tento účel podstatně výhodnější.



Obr. III. 6: Beranění dřevěné piloty volnopádovým beranem zdvihaným 14 muži na stavbě nábrežní zdi u Národního divadla v Praze roku 1902 (Z. Burian)

S rozvojem beranění se časem ve světě objevilo poměrně nepřehledné pole různých druhů pilot, jejich modifikací, kombinací a hybridních variací. Například Spojené státy ale dlouhodobě preferovaly především piloty z oceli. Těžké beranění velkopřůměrových a silnostěnných ocelových rour je také všeobecně stále významnou metodou pro zakládání vrtných plošin a podobných staveb v hluboké vodě.

Na našem území byl první parní volnopádový beran použit při výstavbě Palackého mostu v Praze roku 1876. Avšak ještě dlouho potom se zde stále využívala při beranění hlavně levná lidská síla (obr. III. 6).

U nás byla první štětová stěna ze starých vyřazených ocelových kolejnic zaberaněna na stavbě mostu v Miřejovicích na Vltavě v roce 1901 a první železobetonové piloty byly použity při stavbě mostu v Přerově již roku 1903. V roce 1932 Vítkovice zahájily výrobu ocelových štětovnic a jejich beranění se stalo stejně běžným jako v jiných vyspělých zemích.

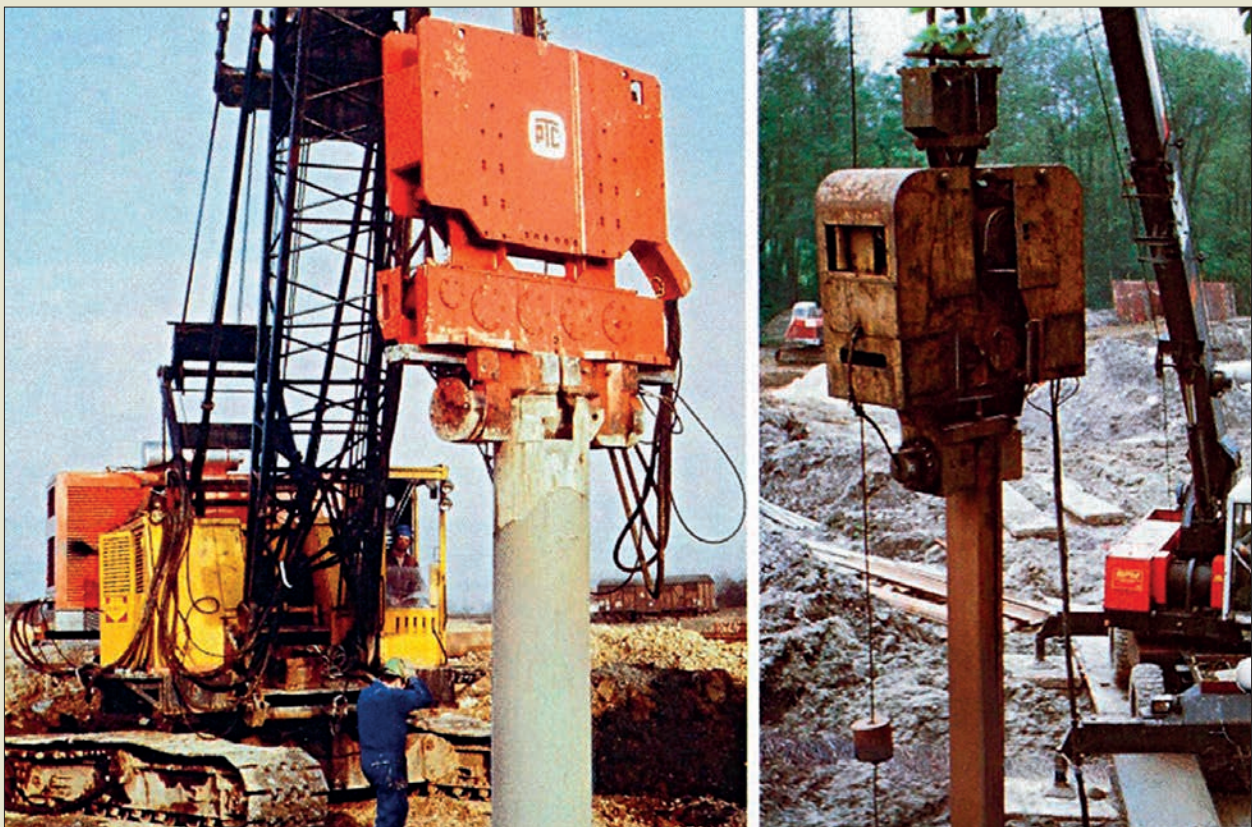
Rozvoj technologie beranění držel v tuzemsku krok se světem až do první poloviny 20. století. Po nástupu komunistického režimu v roce 1948 došlo k radikálnímu obratu. Trvalým symptomem ve stavebnictví a v celé společnosti byl nedostatek moderních strojů a prakticky všeho stavebního materiálu, zejména oceli, cementu i jiných zdrojů. Vyskytly se sice direktivní pokusy o zavedení výroby například chybějících naftových beranů a později i vyrážeců ve Stavostroji v Bělé pod Bezdězem roku 1953, avšak výsledné mechanismy měly nedostatečnou kvalitu. Proto bylo velkým svátkem, když si jeden závod podniku Vodní stavby mohl v roce 1960 pořídit ze zahraničí pro důležitou stavbu ČOV na Trojském ostrově lehký, ale spolehlivý a výkonný dieselberan Delmag D5. Produkce zde předtím závisela na zastaralém vzduchovém beranu McKiernan-Terry, poháněném třemi kompresory. Totéž platilo

i o dalších strojích, které režim umožnil některému z vybraných podniků sem tam dovézt ze zahraničí. Koncem století se sice tyto podmínky změnilly, nárazové beranění však u nás zůstalo okrajovou technologií. Na našem území jsou pro beranění pilot geologické podmínky obecně málo vhodné, takže bylo tradičně využíváno především pro ražení a vyražení štětovnic, které v posledních desetiletích zcela nahradilo vibrování.

VIBRAČNÍ RAŽENÍ

Velmi zvláštní a svým způsobem charakteristický příběh vývoje technologie vibrování, sesterské s technologií beranění, započal ve třicátých letech minulého století. Myšlenka se zrodila poněkud překvapivě v průmyslově problematickém SSSR v hlavě ruského vědce profesora D. D. Barkana. Sovětský svaz měl obrovské potíže s uplatněním parních beranů kvůli mrazům, což brzdilo naléhavou potřebu stavět nové továrny. Vyřešením problému byl pověřen profesor Barkan. Jako inspirace mu posloužil objev japonských inženýrů, kteří zjistili, že pod základy vibrujících strojů dochází ke ztekucení písků. Zkoumal proto možnost využít k vhánění prvků do zemin silných **vertikálních vibrací**. Počáteční krok úkolu se mu podařilo vyřešit a sestrojil první elektrické vibrátory pro speciální zakládání. V té době však již na příkaz Stalina začalo utlumování všech výzkumných prací, které přímo nesloužily zbrojní výrobě a přípravě na válku. A po válce už pak nebyl sovětský režim schopen ve vývoji efektivně pokračovat a ani neměl potřebný výrobní potenciál. Vývoj tak ustrnul na dosaženém stupni. Přesto se podařilo i se starými, málo výkonnými vibrátory založit ve vhodných podmínkách mnoho významných staveb. Praxe však ukázala, že vibračně zaražené piloty mají podstatně menší kapacitu únosnosti (asi jen 60%) než klasicky beraněné piloty. Pro jejich plné využití tedy bylo třeba je nárazově doberanit.

Nicméně Barkanův výzkum byl publikován v zahraničí a jeho myšlenky se zpětně chopili Japonci a již v padesátých letech začali s průmyslovou výrobou silných vibrátorů. Od nich je pak v šedesátých letech převzaly nezávisle a současně hned tři firmy v západní Evropě – Müller, PTC a Menck. Pod konkurenčním tlakem nastal prudký rozvoj této technologie



Obr. III. 7: Starší elektrický vertikální vibrátor z počátku sedmdesátých let (vpravo) a novější hydraulický vibrátor z počátku osmdesátých let, výrobky francouzské firmy PTC



Obr. III. 8.: Vibroberanění výpažnice o průměru 22 m a délce 39,6 m pro základovou jímku mostu Hong Kong Zhuhai-Macu v Čínském moři roku 2012. Čínský dodavatel použil osmidílný vibrátor firmy American Piledriving Equipment.

a po dalším desetiletí dokonce přeskok na vyšší technickou úroveň – od elektrických k výhodnějším hydraulickým vibrátorům. Ty od svého nástupu na konci sedmdesátých let rychle ovládly trh a dál se přímo bleskově rozšířily po celém světě (obr. III. 7).

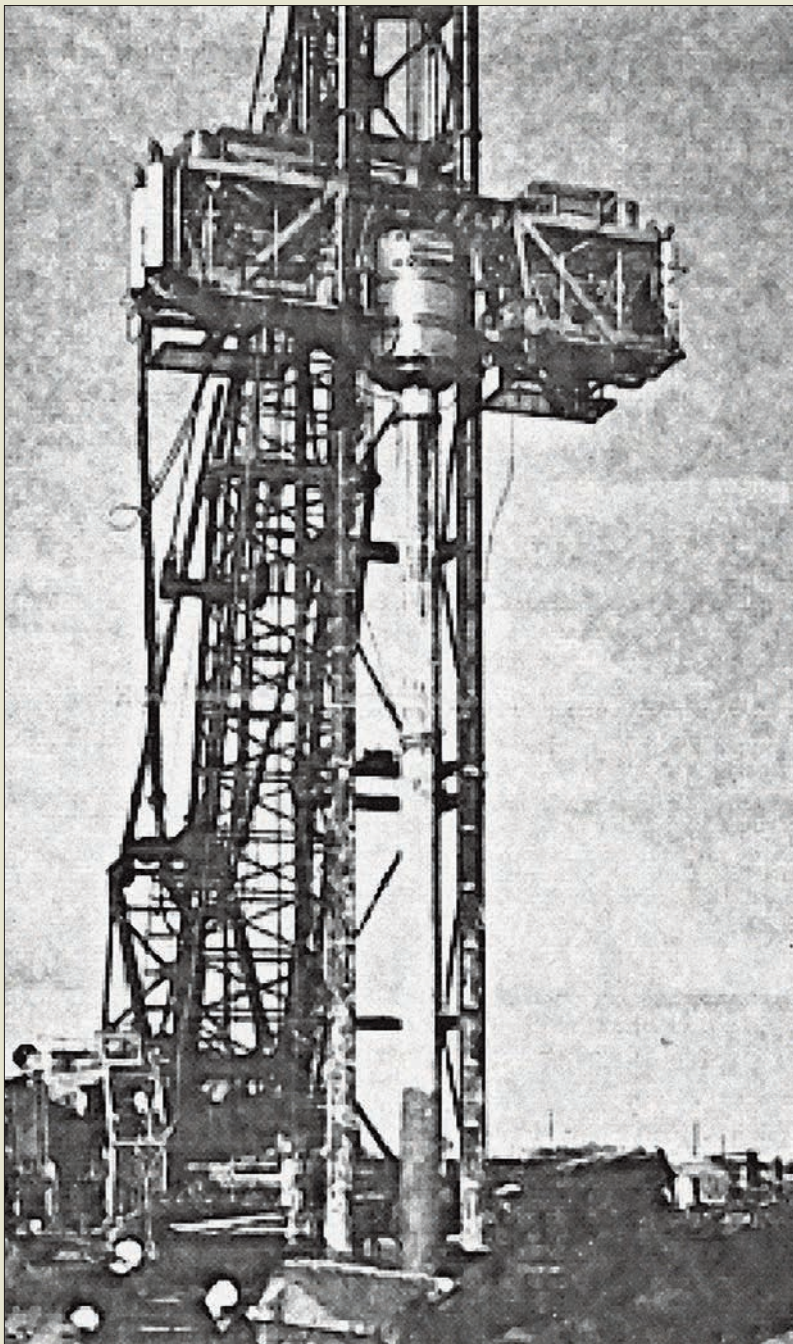
Hydraulické vibrátory měly výhodu plynulé regulace amplitudy a zejména frekvence, takže bylo možno zvolit režim nejlépe odpovídající okolnostem prací. Představovaly jeden z výrazných pokroků technologie, která je dnes přítomna v mnoha dalších metodách zakládání – od instalace velkých výpažnic pro piloty až po hluboké vertikální drény. Výhodné jsou tyto technologické systémy obzvláště pro různé pobřežní stavby, zejména v hlubších mořských vodách (obr. III. 8).

V tuzemsku se až do poloviny osmdesátých let štětovnice téměř vůbec nevibrovaly. K dispozici byly pouze zastaralé a nevykonné sovětské vibrátory, které v našich podmínkách nedokázaly zarazit štětovnice do potřebných hloubek. Moderní hydraulický vibrátor u nás poprvé použil až v roce 1983 závod SZS, Vodní stavby, na stavbě Modřanského jezu v Praze. Šlo o slabší typ Ferrokonstrukt 206 H26, volně zavěšený na autojeřábu. Zakrátko pak ale vibrování štětovnic v činnostech ražení zcela převládlo.

SONICKÉ RAŽENÍ

Tímto pojmem se označuje využití vibrování s velmi vysokou frekvencí. Po komplikovaném a dlouhém vývoji se tato technologie tzv. **vysokofrekvenčního vibrátoru** stala mimořádně efektivní metodou maloprofilového vrtání, nazvanou **Sonic-drilling** (název částečně již zdomácněl i u nás).

Tento efekt vibrování údajně první objevil rumunský inženýr George Constantinescu, který ho v roce 1913 využil k sestrojení prototypu ruční lomové vrtačky. Princip později v roce 1930 úspěšně aplikoval jiný rumunský inženýr Ion Basgan při naftovém vrtání. Během 2. světové války došlo k útlumu zájmu a výzkumu se po jejím skončení ujal s podporou firmy Shell americký vynálezce A. Bodin. Své neúplné výstupy prodal v sedmdesátých letech britské firmě pro kosmický výzkum, která přesunula úkol do pobočky v Kanadě. Ještě na začátku toho desetiletí zkoušela tuto technologii britská firma GKN Foundations pod názvem „resonant pile driver“. Zkoumala princip rezonance dostatečně dlouhého prvku při tomto vibrování, jež výrazně zvyšovalo průnik do základové půdy. Používala však příliš rozměrné vřáněné prvky a pro značné technické obtíže od dalšího vývoje upustila (obr. III. 9).



Obr. III. 9: Experimentální souprava vysokofrekvenčního vibračního beranidla britské firmy GKN Foundations v sedmdesátých letech 20. století



Obr. III. 10: Pilotovací soupravy Franki používané v ČR na začátku 21. století

Tyto zkušenosti se slibným přínosem účinků vibrace byly patrně jedním z důvodů, proč později převzala firma GKN Foundations německou společnost Keller, již tehdy etablovanou v jiné vibrační technologii. Zprávy o podobných experimentech prosáky ve stejné době i ze SSSR. Efekt technologie byl prokazatelný, ale žádné zařízení nebylo schopné vydržet enormní dynamické namáhání materiálů. Využitelnost byla tedy pravděpodobně spíše s menšími profily. To zřejmě pochopil kanadský inženýr **Ray Roussy**, který v čase ekonomického útlumu na začátku osmdesátých let v dosavadní vývojové práci pokračoval. Věřil v obrovský potenciál metody a její několikanásobně vyšší výkonnost, než má konvenční vrtání. Považoval ji za jedinou podstatnou inovaci ve vrtání od doby, kdy před třemi tisíci lety Číňané objevili nárazové vrtání na jádro. Vždyť nyní šlo také v principu o nárazové jádrování. Roussy nakonec technologii během devadesátých let ve spolupráci s americkými vrtnými firmami přivedl až do úspěšné realizační fáze (kapitola IV., str. 68). V roce 2002 jeho licenci zakoupila japonská firma Tone Boring a roku 2008 přední francouzská firma Soletanche-Bachy, čímž budoucnost této metody stvrdila.

PŘEDRÁŽENÉ PILOTY NA MÍSTĚ BETONOVANÉ

Jedná se o velmi důležitou modifikaci technologie beranění. Ražení různých ocelových prvků vedlo k zajímavým pokusným verzím jejich instalace. Zkoušelo se i beranění dočasných ocelových výpažnic. Tím byla zažehnuta inovační jiskra k vývoji předrážených pilot. Stalo se tak v Belgii, kde dosud bylo klasické pilotování předem vyrobených elementů do měkkých přímořských sedimentů problematické kvůli průvodním technologickým efektům. Docházelo k značnému svislému prohnětení přilehlé základové půdy, jež pak mělo za následek malé pláštové tření pilot. Hledalo se tedy řešení, jak aktivovat boční odpor základové půdy. V roce 1909 předložil místní inženýr **Edgard Frankignoul** svůj první vynález, který postupně vylepšoval do konečné podoby, známé poté od roku 1926 jako piloty **Franki**. Šlo o to zaberanit výpažnici

volnopádovým beranem, působícím úderem na šterkovou zátku uvnitř v její patě, a pak ji po dosažení určené hloubky vyplňovat postupně betonem. Při závěrečném vytloukání výpažnice nahoru se současně pěchuje beranem i vznikající dřív piloty pod její patou. Tím se také beton dřívku postupně roztláče bočně do stěn vrtu, což vede k vyššímu plášťovému tření. Tato velmi jednoduchá technologie pilot je ve vhodných geotechnických podmínkách značně efektivní s výslednou vyšší únosností než u klasicky ražených předvyrobených prvků. Rychle se rozšířila do dalších zemí a používá se někde dodnes, i když její produktivita je z hlediska pozdějšího vývoje velmi nízká.

U nás ji zavedl v roce 1969 podnik Geoindustria, patřící do rezortu paliv a energetiky, a to nákupem dvou polských souprav „kafari“. Šlo o typ KPF 22A s posunem na kolejích a kráčivou hydraulickou soupravu KPF 31K. V tehdejší RVHP byl polský podnik Zremb určen jako jejich jediný výrobce. Provoz souprav byl provázen poruchovostí a nedostatkem náhradních dílů, což nutilo provozovatele k nákladným opravám a rekonstrukcím. Některé z pozdějších souprav na pásových podvozcích však u nás pracovaly i na začátku 21. století (obr. III. 10).

V první třetině 20. století se nepříliš úspěšně zkoušely i další alternativy předrážených pilot se ztracenou botkou a s beraněním na vršek výpažnice. Mimořádně rozšířeným systémem se stalo jen univerzálnější řešení patentované roku 1924 anglickým inženýrem **Alfredem Hileyem** pod názvem **Vibropile**. Přispěla k tomu i autorova doporučení pro výpočet kapacity pilot včetně často pak užívaného dynamického vzorce. Systém převzala následně britská firma BSP při uplatnění svých jednočinných parních a později vzduchových beranů. Ty byly též schopny působit rychlými drobnými údermi opačným směrem při vytahování výpažnice po betonáži. Ve třicátých letech firma pod různými licenčními názvy rozšířila tento systém na dlouhou dobu po celém světě (obr. III. 11).



Obr. III. 11: Souprava pro výrobu pilot typu Vibropile britské firmy PCL z roku 1982

Obr. III. 12: Vibrační odpažovací objímka legendární světově rozšířené soupravy Fundex F12 pro piloty typu Vibrex na stavbě v Polsku v devadesátých letech



K dalšímu kvalitativně podstatnému zlomu došlo až v roce 1960, když nizozemská firma **Fundex** použila k odpažení vybetonované piloty (předrážené konvenčním silným dieselberanem) přídavný vertikální vibrátor. Tato zásadní inovace byla zavedena podle vzoru tehdejších japonských vibrátorů. Jednalo se o mohutnou vibrační objímku nejprve s elektrickým pohonem. Navíc byla objímka svými hydraulickými upínacími čelistmi výhodně posuvná po celé délce vytahované výpažnice (obr. III. 12).

Následně pak firma Fundex nahradila elektrický pohon vibrátoru hydraulickým a spolu s tím vyvinula speciální plazový plně hydraulický nosič. Tím se završil vývoj předrážených a na místě betonovaných pilot zvaných **Vibrex**. Ty se staly nejúspěšnějším typem této varianty pilot, spojujícím vysokou únosnost zaberaněné paty piloty s velmi únosným pláštěm kvalitního betonového dřívku, účinně roztlačovaného do stěn vrtu. Produktivita tohoto pilotovacího systému byla násobně vyšší nežli těch předchozích. Proto ho převzalo pod různými názvy mnoho dalších dodavatelů zakládání po celém světě. I firma Franki později doplnila svou metodu o vibrační odpažování.

Český závod SZS, Vodní stavby, si ověřil na své zahraniční stavbě vysokou produktivitu pilot Vibrex v roce 1989 při zcela mimořádné dodávce zakládání pro elektrárnu Al-Anbar v Iráku (obr. III. 13). Dosáhl tam touto metodou výkonů světové úrovně. V tuzemských podmínkách se však pro tuto technologii použití nenalezlo.



Obr. III. 13: Pilotovací souprava Vibrex na stavbě elektrárny Al-Anbar v Iráku roku 1989 (Zakládání staveb, a. s.)

Poněkud zvláštní kapitolou historie tohoto druhu pilot u nás bylo užívání tzv. pilot VÚIS, vyvinutých na Slovensku v roce 1966. Šlo o snahu vytvořit z tehdy místně dostupných prostředků jakousi protiváhu k záplavě nových technologií vznikajících na Západě, ale v tuzemsku nedostupných. Byla to hybridní metoda, kombinující vibrační jádrové vrtání, anebo v extrémně vhodných podmínkách i vhánění dočasné výpažnice se ztracenou botkou, a betonáž podporovanou tlakovým vzduchem. Poměrně hojně se rozšířila, ale její význam byl uměle přeceňován, neboť dosahované únosnosti pilot byly nízké. Celý technologický systém byl po mnoha stránkách nevýkonný, zejména pak jeho hlavní článek, zaostalý sovětský vibrátor. Po roce 1989 neobstála tato metoda v konfrontaci se zahraniční technologickou konkurencí a přestala se používat.

PONORNÉ HORIZONTÁLNÍ VIBRÁTORY

Zcela specifickou aplikací vibrační technologie je použití vibrátorů pro zlepšování základových zemin, tentokrát ale s využitím kmitání v horizontálním směru. Začali je zkoušet vynálezci **W. L. Degen** a **S. Steuermann** z německé firmy Keller v roce 1934, tedy časově zhruba souběžně s vývojem technologie vertikálního vibrování. Tentokrát se ale vývoj

odvšel od původního pozorování masážního strojku vibrujícího kolmo na podélnou osu přístroje. Používání ručních vibračních strojků je zaznamenáno ve Francii již v 17. století. Později se tento princip využíval i v jiných přístrojích. Významnou inovaci v tomto směru představovalo v roce 1928 zavedení ponorných elektrických vibrátorů pro hutnění betonové směsi britskou firmou PTC. Vynálezci firmy Keller na tyto podněty navázali. Vyvinuli elektrický ponorný vibrátor – **vibroflot**. Bylo s ním možno s podporou vzduchového nebo vodního výplachu účinně zlepšovat hutnost zrnitých zemin bočně do stran jeho zapouštěním pod úroveň terénu (obr. III. 14).

Další vývoj prošel značnými peripetemi. S. Steuermann odjel před vypuknutím války do USA, kde na zařízení dál pokračoval ve své nové firmě Vibroflotation a přiklonil se dočasně k hydraulickému pohonu vibroflotu. Po válce se tato verze rozšířila do Evropy, kde na ni koupila licenci například významná britská firma Cementation, která rovněž dávala přednost hydraulickým motorům. Nastal však další vývojový obrat. Firma Vibroflotation po zkouškách v roce 1970 definitivně tuto verzi pohonu zavrhl jako málo účinnou pro dokonalé zhutnění **nesoudržných zemin**. Vrátila se tak k principiální výhodě elektrického motoru, spočívající v jeho velké odolnosti na přetížení vůči vzrůstajícímu odporu hutněné zeminy, což u hydraulického pohonu tak snadno aplikovat nelze. Pracovala ovšem převážně s metodou **vibroflotace** a vodním výplachem (viz kapitola VI., str. 252).



Obr. III. 14: První ponorný vibrátor z roku 1937 na stavbě firmy Keller

W. L. Degen mezitím u firmy Keller rozšířil v roce 1957 svůj vynález o postup ražení svislých otvorů v **soudržné zemině** jejím bočním roztláčováním. Dokončil tak vývoj metody tzv. **suchých šterkových pilířů** se vzduchovým výplachem. S inženýrem F. Eichkornem pak postavili strojní soupravu s vrchním doplňováním šterkového materiálu středem vibrační kolony až dospodu na hrot vibrofloty. Vyzkoušeli také plnění otvoru betonovou směsí, a tím možnost zřizování jakýchsi alternativních pilot a tuhých inkluzí (viz kapitola VI.).

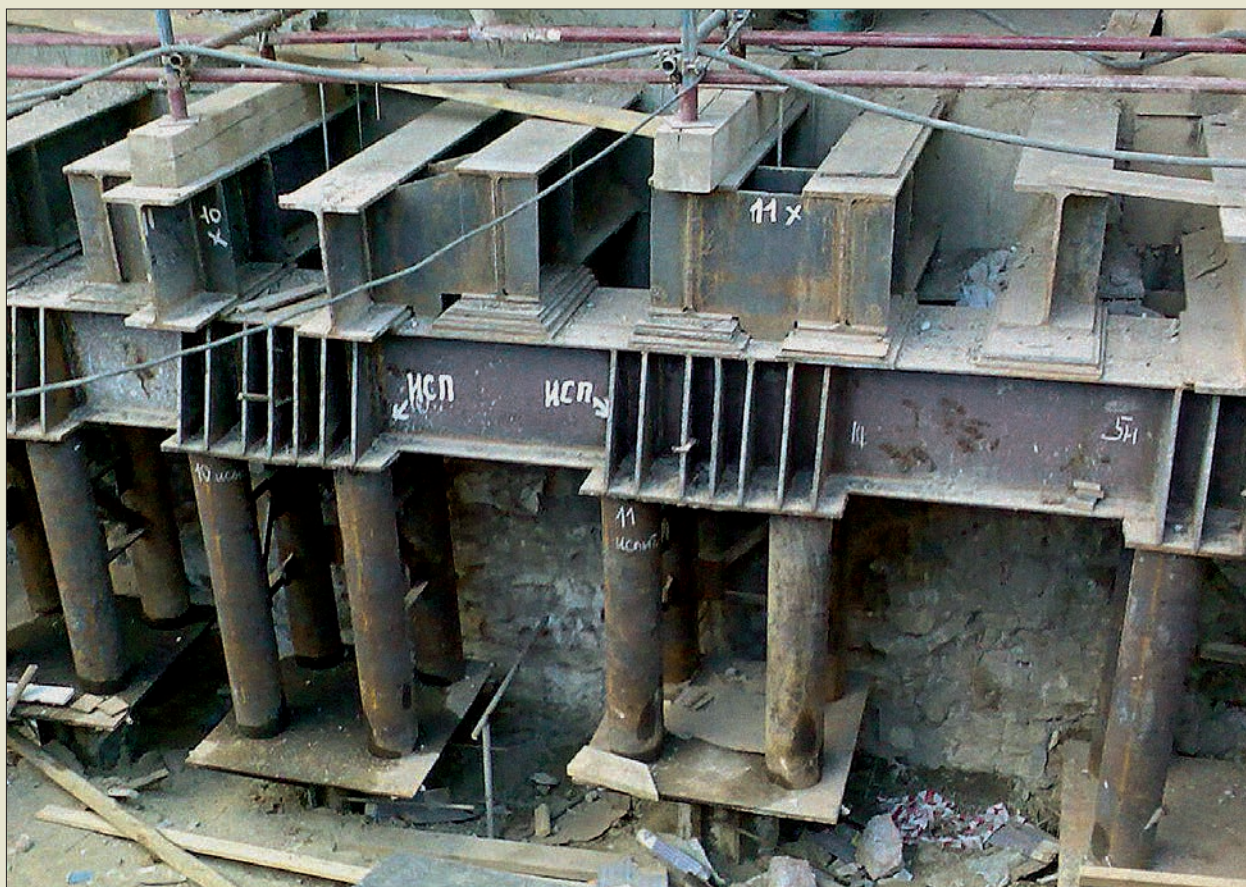
Po smrti W. L. Degena v roce 1974 jeho synové prodali svůj podíl ve firmě Keller britské skupině GKN Foundations a vstoupili do americké firmy Vibroflotation. Firmu pak svými vynálezy dále rozvíjeli a jejich elektrické vibrofloty se staly světově nejúspěšnějšími. Pro velké projekty zlepšování základových půd je hojně používala například firma Soletanche-Bachy.

Technologické systémy pracující s ponornými vibrátory mají své zdaleka největší využití v zlepšování základových půd (podrobněji viz kapitola VI., str. 219). Při sledování spletité historie technologie ponorných vibrátorů je zajímavé, že ve Spojených státech a v Kanadě převažovaly až do devadesátých let klasické technologie vibroflotační. Byly vhodné pro rozměrné projekty. V Evropě naopak prosadila většinou firma GKN Keller své typické kompaktní soupravy pro šterkové pilíře **Vibrocat** se spodním plněním na hrot vibrofloty (obr. III. 15). Ty se obzvláště osvědčily u menších projektů.

U nás byla tato komplexní technologie poprvé uplatněna až v roce 1994. Použila ji firma Keller ČR na stavbě pruněřovské elektrárny.



Obr. III. 15: Nasazení kompaktní soupravy Vibrocat s ponorným vibrátorem a vrchním dávkováním šterku na hrot vibrofloty pomocí skipu na stavbě firmy Keller v ČR



Obr. III. 16: Mohutné podchycení historické budovy moskevského divadla Bolšoj na vtlačovaných ocelových pilotách při rekonstrukci roku 2006

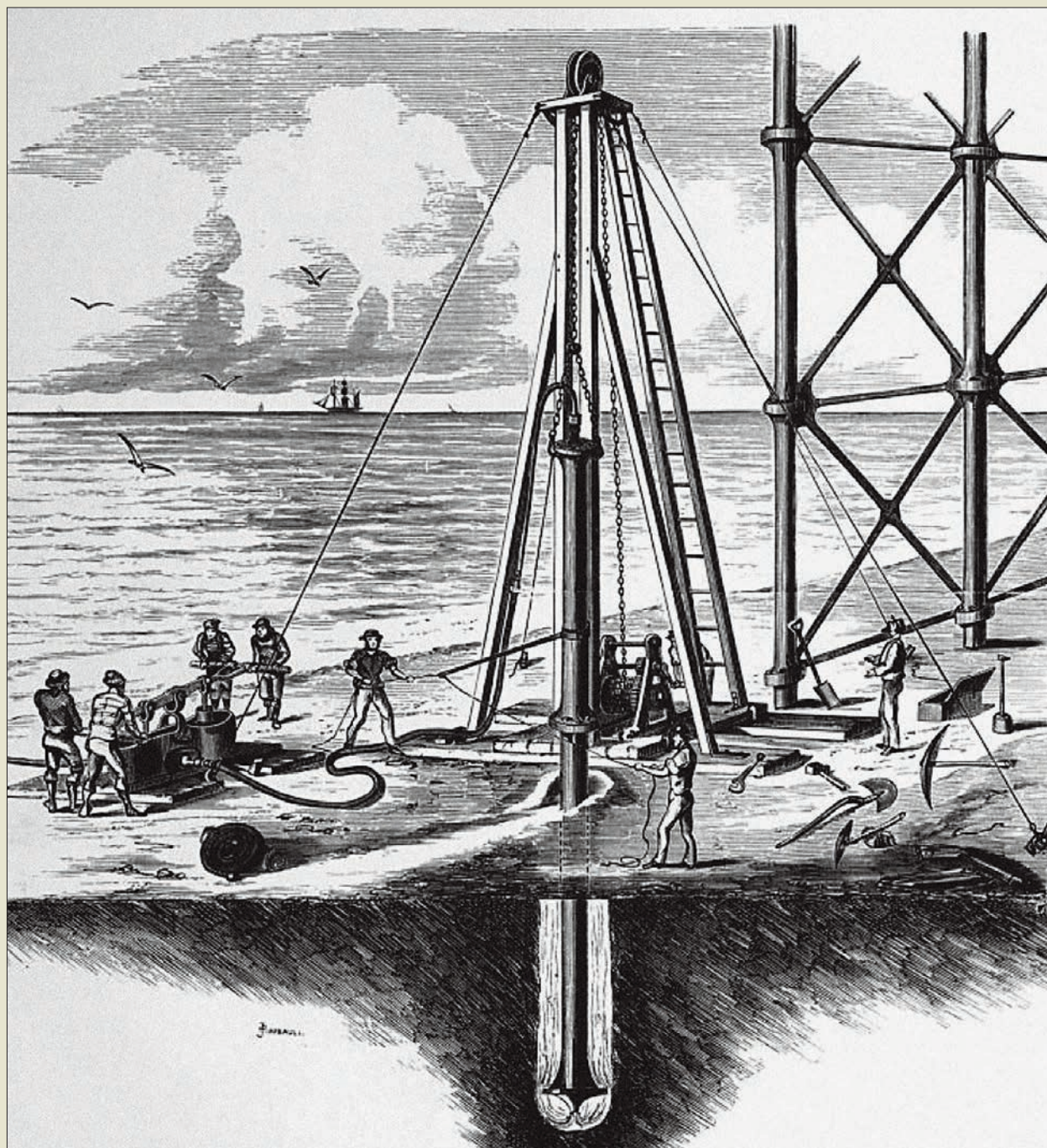
VTLAČOVANÉ PILOTY

Piloty instalované zatlačováním jsou zvláštním typem prvků využívaných obvykle při podchycování existující stavební konstrukce, již lze výhodně využít jako protizátěž. Sestavují se z krátkých ocelových nebo železobetonových dílů, postupně vtlačovaných do podzákladí hydraulickým lisem a nastavovaných do potřebné délky. Prvním dokladem o této technologii je patrně americký patent Julese Breuchada v New Yorku roku 1896. Významně se jí využívalo například na konci dvacátých let při výstavbě v New Yorku. K jejímu podstatnějšímu uplatnění ale došlo až od šedesátých let s příchodem skutečně kvalitní techniky hydraulických lisů. Osvědčila se pak obzvláště při rekonstrukcích městských a historických staveb (obr. III. 16).

Obdobně se též začalo od osmdesátých let minulého století využívat nehlukné hydraulické **zatlačování štětovnic** s využitím reakce na části již instalované štětové stěny.

VPLACHOVÁNÍ

Technologie vplachování je příkladem postupu, který nebyl samostatně vynalezen, ale využívá všeobecně známou a často sdílenou praktickou zkušenost. Principem je fyzikální jev ztekucování písku pod působením proudového tlaku vody. Je obvykle nápomocnou složkou nějakého jiného pracovního postupu. Často tato technologie usnadňuje v určitých podmínkách vnik pilot nebo zejména štětovnic při beranění. Jelikož přitom dochází k částečnému výnosu zeminy na povrch, je někdy řazena i do třídy technologií **replacement**, tedy s nahrazením původního objemu základové půdy.



Obr. III. 17: Vplachování tzv. „talířové piloty“ pro založení rekreačního mola v jihoanglickém Southportu roku 1859

Velmi dobře dokumentovaným příkladem je využití vplachování při instalaci šroubových pilot (viz níže) v roce 1857 na stavbě železničního viaduktu přes zátoku Morecambe v severozápadní Anglii. Původně neřešitelný problém velkého odporu proti vniku pilot do místních náplavů zvládl inženýr James Brunlees velmi úspěšně pomocí vplachování a zapsal se tak do historie oboru. Od té doby se tato pomocná technologie používala ve Velké Británii u pilotování často (obr. III. 17).

Velkou nevýhodou této technologie u instalace běžných tvarů pilot představuje ovšem, podobně jako u vibrování, jejich nízká výsledná kapacita. Vyžadují tudíž doberanění, což technologii podstatně komplikuje.

U některých metod však je technologie vplachování podstatnou součástí postupu, jako například u instalace čerpacích jehel (jehlofiltrů) pro hlubkové odvodňování písčitých základových půd. Poprvé byla údajně technologie vplachování takto použita v roce 1925 v USA a poté se stala pro tento typ prací standardní (viz kapitola VI., str. 101).

ŠROUBOVITÉ PILOTY

Ve světovém zatřídění pilot typu displacement jsou šroubovitě piloty řádným, ač krajním typem. U nás je řadíme mezi obecněji značené vřáněné piloty. Vzhledem k naší převládající geologické situaci se zde používají jenom pro mělké založení. Ve světovém měřítku má ovšem instalační technologie šroubování velký význam.

Metoda zakládání na principu zašroubování tělesa piloty do základové půdy byla v polovině 19. století patrně nejvýznamnějším geotechnickým vynálezem. Přitom tehdy ještě ani formální geotechnická věda neexistovala. Tento zcela praktický počín mimořádně ulehčil výstavbu navigačních majáků a přístavních vykládacích mol, čímž výrazně urychlil rozvoj námořní plavby. Zejména se tím usnadnila dostupnost surovin a výměna produktů v době nastupující průmyslové revoluce v tehdejší Anglii a USA.

Šroubovitě piloty vynalezl v roce 1833 slepý irský inženýr **Alexander Mitchell**, který se dlouho předtím intenzivně snažil vyřešit problém základů majáků v pobřežních písčinych mělčinách. Na řešení přišel při svém oblíbeném plachtaření, když si pohrával s pomůckami pro kotvení. V roce 1840 byly první šroubovitě piloty použity pro založení majáku Maplin Sands v ústí řeky Temže. Typicky byly nejprve z kovaného železa nebo z litiny a sestávaly z duté nastavované tyče o průměru 127 mm a spodního spirálového křídla o průměru 0,5 až 1,2 m (obr. III. 18).

U majáku Maplin Sands měly piloty délku cca 6,7 m a šroubové spodní křídlo mělo průměr 1,2 m. Pilota byla zašroubována do zeminy pomocí velkého vratidla, které obsluhovalo 40 mužů. Metoda se okamžitě rozšířila po celém světě. Například jen v letech 1850 až 1900 bylo takto založeno 45 amerických majáků na mělčinách podél pobřeží zátoky Chesapeake Bay ve státech Maryland a Virginie.



Obr. III. 18: Původní historická šroubovitá pilota Mitchellova typu

V Anglii byla v roce 1859 poprvé použita již zmíněná odvozená metoda nazývaná „talířová vplachovaná pilota“ (obr. III. 17). Litinové těleso piloty sestávalo z 3 kusů postupně nastavené trubky o průměru 20 cm a v jeho patě bylo talířové křídlo z kovaného železa o průměru 57 cm. Po zapuštění tělesa piloty pomocí vplachování do požadované hloubky byl přívod vody zastaven a okolní ztekucený písek následně gravitací obsedl dřík a dosedl i na plochu „talíře“, čímž zajistil potřebné vetknutí piloty.

V roce 1870 byla zavedena další metoda tzv. „válcové piloty“. Na těchto pilotách byl založen velký otočný jeřáb pro těžké molo válečného námořnictva v anglickém Woolrichi o průměru dříku až 2,1 m a křídla 2,85 m.

Princip zašroubovaného křídla byl využit i pro mnohé další modifikace pilot a jiných základových prvků. Koncem 19. století bylo jen v USA vydáno přes 160 patentů na různé šroubovitě piloty, kde křídlo bylo povětšinou součástí „ztracené“ výpažnice. Díky odolnosti v tahu se šroubovitě piloty osvědčily na mnoha místech světa v zemětřesných oblastech. Počátkem 20. století je na řadu desetiletí vytlačilo používání čím dál silnějších beranů s ražením konvenčních základových prvků. Vývoj mechanizace však na počátku osmdesátých let umožnil jejich opětovný návrat, a to díky potřebným velkým krouticím momentům na prováděcích strojích. U nás se vzhledem k všeobecně v tomto směru nepříznivým geotechnickým vlastnostem základové půdy tyto druhy pilot neuplatnily.

FAKTOR PLAZOVÝCH NOSIČŮ ZAKLÁDACÍCH SOUPRAV

Masové rozšíření metod beranění, ke kterému došlo v první polovině 20. století, mělo jeden mimořádně významný sekundární účín i na další vývoj ostatních technologií speciálního zakládání. Byl jím tlak na potřebu zvláštních pohyblivých nosičů beranicích souprav. Na počátku tohoto období se již používaly poměrně vysoké, ale ambulantně a dočasně



Obr. III. 19: Staveniště s beraněním dřevěných pilot mnoha beranidly v Rotterdamu roku 1921

Obr. III. 20:
 Legendární bagrjeřáb
 Linkbelt LS-98,
 odstavený z provozu
 na počátku 21. století



sestavené věže s vodicími loutkami beranidel. Pro jejich přesuny na staveništích s hustě rozmístěnými pilotami byly však k dispozici pouze kolejové dráhy. Zkoušely se sice kráčivé podvozky, ale manipulace s nimi byla obtížná. To představovalo značnou nevýhodu, jelikož nízké manévrovací schopnosti souprav zmenšovaly jejich celkovou výkonnost, takže pro dosažení potřebného výkonu bylo nutno mobilizovat množství beranicích souprav (obr. III. 19).

Dodavatelé beranění proto naléhavě hledali vhodný pohyblivý jeřáb. Poněvadž jeřábová technika je důležitou součástí technologií speciálního zakládání, odbočíme v této souvislosti krátce k její historii a kořenům. Kladka coby základní součást každého zdvihacího zařízení se používala ve starověkém Řecku již asi v 5. století př. n. l. Římané pak začali používat kladkostroj a první poměrně složité stabilní jeřáby a zvedací věže. Po dlouhá staletí však byly vrátky poháněny lidskou silou ve šlapacím kole a jeřáby umožňovaly jen vertikální zdvih. Tak byly postaveny i mohutné gotické katedrály.

První otočný jeřáb, stále ještě dřevěný, byl zkonstruován až v roce 1340 pro potřeby přístavu v Nizozemsku. Teprve nástup parních strojů v 19. století znamenal technologický přelom. První prototyp parního bagru sice vznikl již v roce 1835 v Americe, ale sériově je začala vyrábět až firma Link-Belt v roce 1890. Přes výrobu prvního kolejového parního jeřábu pro těžbu uhlí drapákem a lokomotivních jeřábů dospěla tato firma v roce 1922 k výrobě prvního pásového

jeřábu. Další významnou inovací pak bylo v roce 1936 zavedení hydraulického ovládání. Pokračujícím vývojem nakonec došla firma Link-Belt roku 1954 k neúspěšnějšímu plazovému jeřábu ve stavebnictví – legendárnímu typu LS-98. Speciální zakládání tak dostalo výkonný nosič těžkých zakládacích souprav a obslužný bagrjeřáb do těžkého terénu. Do roku 1996 bylo vyrobeno rekordních 7000 kusů, ale začátkem nového tisíciletí už většina skončila ve šrotu (obr. III. 20).

Epizodně do tohoto oboru také přispěl Sovětský svaz svou preferovanou zbrojní výrobou. Pod přímým diktátem Stalina se největší úsilí sovětského průmyslu soustředilo na vývoj tanků. Již od třicátých let vyráběl SSSR nejen nejlepší, ale i nejtěžší tanky, pro něž tehdy tajně skoupl a okopíroval všechny vhodné vynálezy ve světě. Musel proto vyřešit i problémy pásových podvozků v předstihu před ostatními. Po válce pak byly tyto obdivované tanky a jejich pásové podvozky vývojovým vzorem. To platilo rovněž pro plazové stavební jeřáby. Spojené státy se staly přirozeně vzhledem k nejvíce zachovalému a vysoce výkonnému průmyslu na nějaký čas největším výrobcem takových strojů, zejména firmy Link-Belt, Manitowoc a další. Je však pro přesuny vývojových center charakteristické, že již od roku 1962 převzala postupně firmu Link-Belt tehdy dynamicky nastupující japonská firma Sumitomo.

Na evropském trhu se pásové jeřáby více objevovaly až počátkem padesátých let díky poválečné pomoci z USA. Západoevropské firmy ale začaly brzy obdobné stroje samy vyrábět. Nejúspěšnější se stala firma **Liebherr**, která se postupně vypracovala v pořadí světových výrobců stavebních strojů na přední místo. K ještě užší specializaci přímo pro potřeby speciálního zakládání přistoupily firmy Bauer a Soilmec. Nosiče uvedených firem bohužel nikdy nebyly v zemích bývalé RVHP k dispozici. Používaly se jen nedokonalé náhražky z produkce určeného společného výrobce TA Kraft z tehdejší NDR, jejichž výraznou slabinou byly paradoxně právě nedostatečné pásové podvozky.



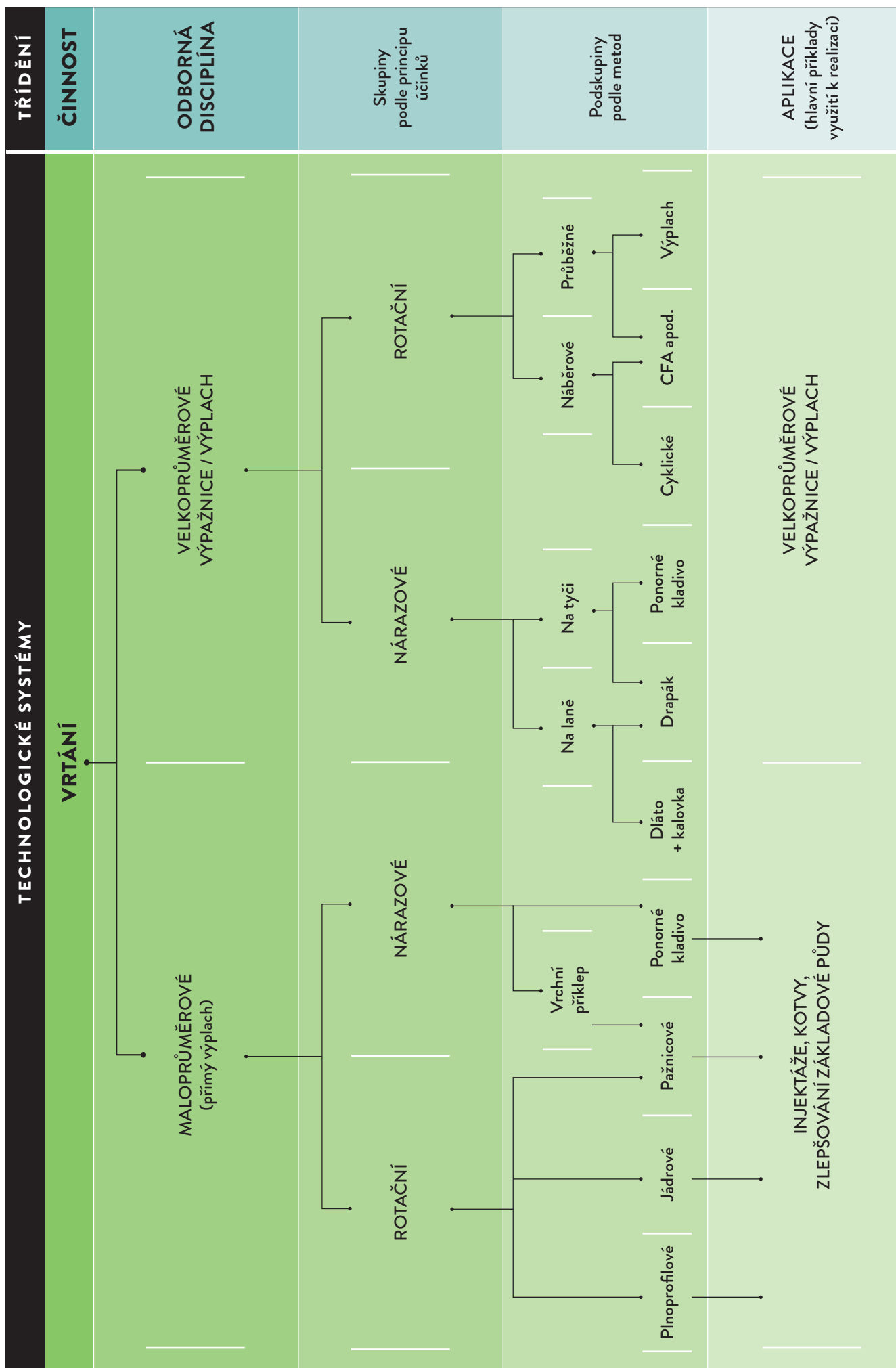
Obr. III. 21: Zřícená 30 m vysoká věž těžké pásové pilotovací soupravy Fundex F15 na stavbě v tureckém Izmiru v roce 1998 po přesunu na nedostatečně upravené pracovní ploše

Na konci 20. století se dostal prudký růst výkonnostních parametrů souprav zakládacích zařízení a jejich nosičů do rozporu s dosavadní konvenční úpravou **pracovních ploch** na staveništích. Narůstala hmotnost strojů a potřeba manévrování při vysokém těžišti. Nedostatečné přizpůsobení ploch se projevilo prudkým nárůstem jejich poruch a následnými nehodami zakládacích souprav (obr. III. 21). Počátkem 21. století byly proto v nejrozvinutějších zemích zahájeny kroky k systémovému ošetření tohoto problému a podstatnému zlepšení přípravy pracovních ploch, doloženému jejich certifikací.

VRTÁNÍ

VŠEOBECNĚ

Okruh činností vrtání zahrnuje rozsáhlé spektrum metod zakládání. Dalo by se říci, že jsou jakousi technologickou páteří speciálního zakládání, na niž je většina metod napojena nebo je z ní přímo odvozena. Nejprve se zaměříme na historii maloprůměrového vrtání jako celku, které chronologicky započalo před vrtáním velkopřůměrovým. Hranice mezi maloprůměrovým a velkopřůměrovým vrtem není obecně pevně stanovena, pohybuje se většinou podle konkrétních okolností v hodnotě průměru vrtu 300 mm, někdy ale až 400 mm. Zatímco maloprůměrové vrty jsou využívány převážně pro metody zlepšování základových půd, jsou velkopřůměrové vrty používány zejména pro piloty. Celkové utřídění hlavních technologických systémů tohoto okruhu činností je uvedeno v tabulce na obr. IV. 1.

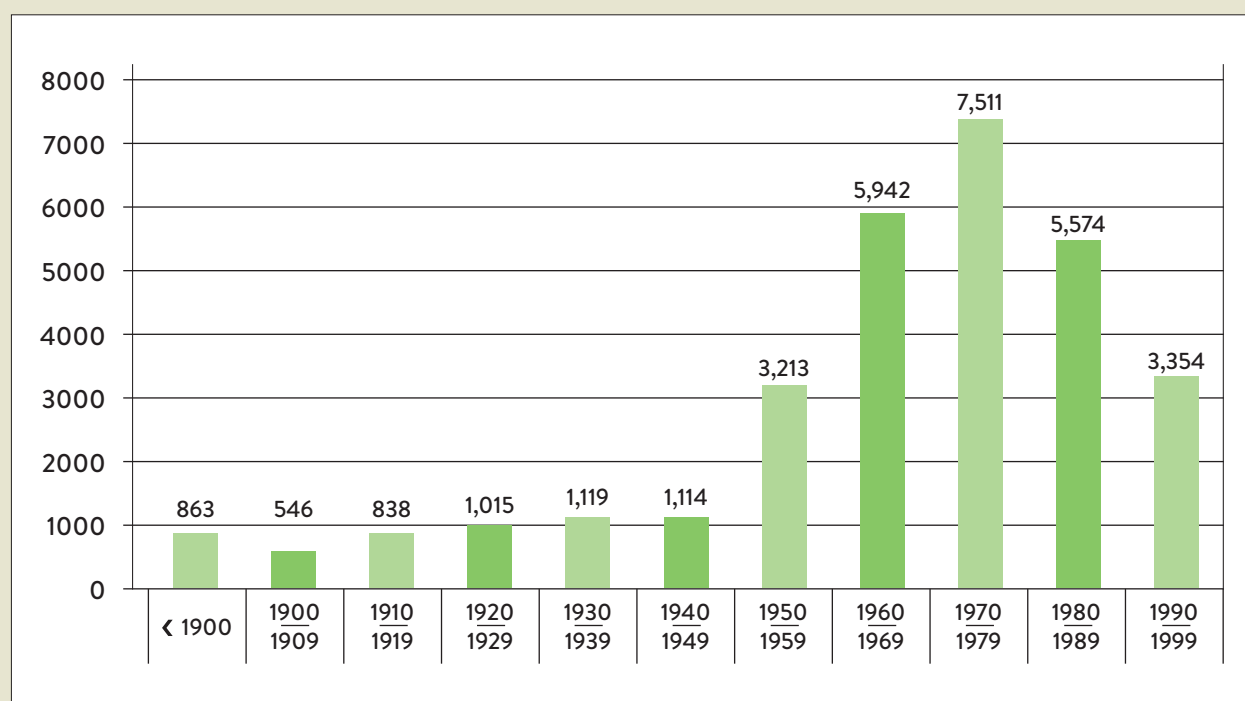


Obr. IV. 1: Utrídění hlavních technologických systémů v okruhu činností VRTÁNÍ

Vývoj rozdílných technologických systémů vrtání probíhal dosti odlišně. Obzvláště dravý byl v určitém období rozvoj rotačního plnoprofilového vrtání, tehdy v souvislosti s novým naftovým průmyslem. Na rozdíl od toho byl vývoj ostatních technologií vrtání značně pozvolnější. Snad také proto, že se odehrával v oblastech průmyslu stavebnictví, lomařství a důlní těžby, jejichž charakter je spíše konzervativní. Přesto se však i na těchto tradičních polích odehrály v uplynulých 150 letech poměrně prudké technologické změny, zejména v příklepném a jádrovém vrtání.

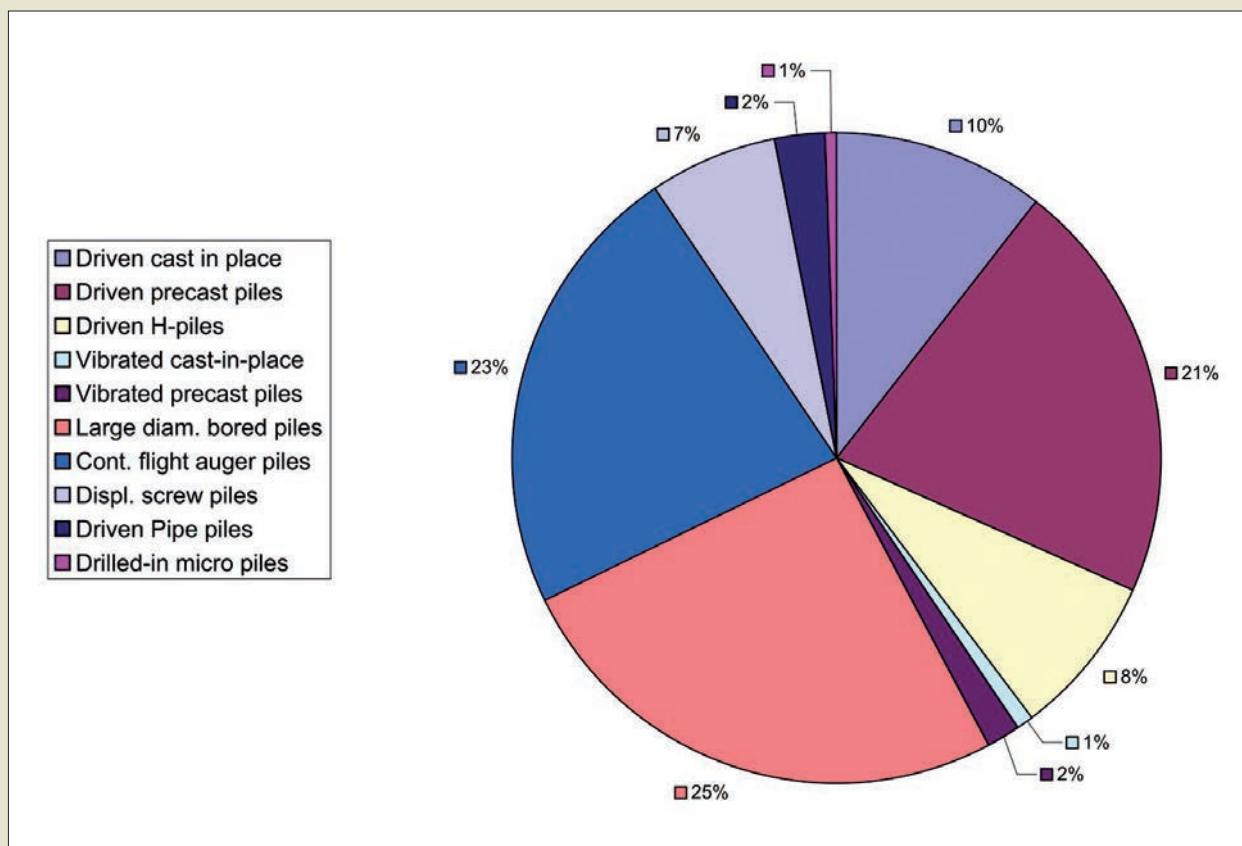
Jedním z největších a dlouhodobých podnětů byla rostoucí poptávka po vrtných pracích v souvislosti s výstavbou **přehrad a vodohospodářských děl**. Pro ně se staly prováděcí metody spočívající převážně na maloprofilovém vrtání nepostradatelné. Na této oblasti lze částečně ilustrovat i všeobecný vzestup velkého stavebnictví ve světě v průběhu celého 20. století. Je však třeba vzít v úvahu i fakt radikálního úbytku vhodných míst pro budování přehrad koncem tohoto období.

To dokládá graf počtu tzv. velkých přehrad uvedených do provozu v minulém století (obr. IV. 2), který zároveň obecně ukazuje dynamiku rozvoje stavebnictví. Za velkou přehradu je považováno dílo s hrází vyšší než 15 m nebo vyšší než 10 m, ale s jiným význačným parametrem.



Obr. IV. 2: Počet přehrad uvedených ve světě do provozu v průběhu 20. století

K přesnějšímu obrazu je dobré si uvědomit několik souvisejících skutečností. Předně to, že do roku 1900 stoupal počet postavených přehrad velmi pomalu, takže za celé 19. století bylo postaveno jen několik set velkých přehrad a v předchozích dobách ještě výrazně méně. Z prvního tisíciletí n. l. je známa existence pouhých 9 velkých přehrad. Pokles aktivity ve výstavbě přehrad na konci 20. století se nedávno dočasně zpomalil, a to v důsledku zvýšené poptávky po přečerpávacích elektrárnách jako jediném efektivním prostředku skladování elektrické energie. Za zmínku rovněž stojí, že z celkového počtu asi 50 000 velkých přehrad na světě byla značná část z nich – 9 265 – postavena v USA. Je to nejen díky vhodným přírodním podmínkám, ale svědčí to i o obrovském průmyslovém potenciálu této země. Není těžké si představit, jaký nesmírný objem vrtných prací to vyžadovalo. Pro srovnání v Evropě je začátkem 21. století evidováno 5 546 přehrad, zatímco třeba v Rusku jen 97. U nás je to 118 přehradních objektů.



Obr. IV. 3: Rozdělení světového objemu pilotovacích prací na počátku 21. století podle druhu technologie (M. Bottiau)

Podobně prudký rozvoj zaznamenalo i velkopřůměrové vrtání, i když až od padesátých let 20. století. Uplatnilo se při zřizování vrtaných pilot, nejprve zejména při zakládání výškových budov a dopravních projektů, postupně i u veškerých staveb v obtížných základových podmínkách. Dříve málo vhodné lokality se tak staly také díky této technologii zakládání využitelné. Na začátku 21. století již činily metody spočívající na technologických systémech vrtání velkopřůměrových pilot největší část pilotovacích prací speciálního zakládání s podílem zhruba 55 % celkového světového objemu (obr. IV. 3).

Č Á S T A

MALOPRŮMĚROVÉ VRTÁNÍ

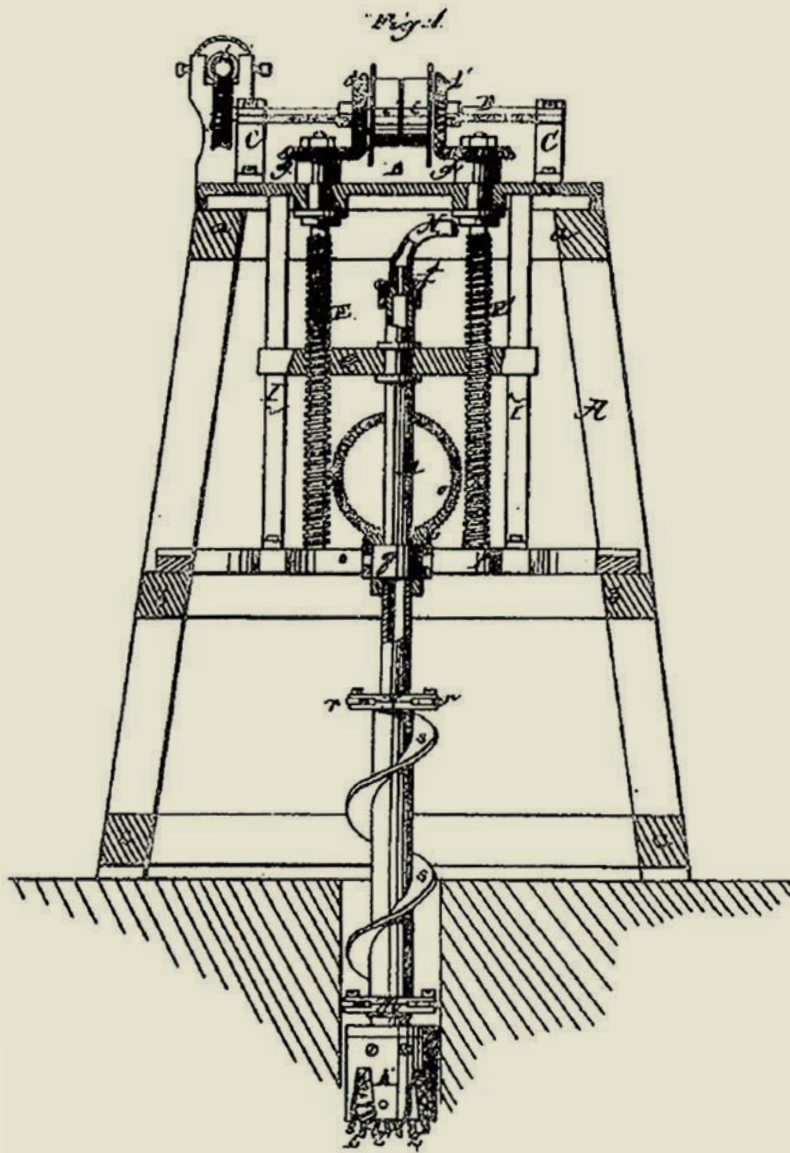
Historické počátky

První zcela archaické pokusy o vrtání do zeminy vyvolala potřeba najít vodu. Používala se technika, ještě dnes běžná v méně technicky rozvinutých oblastech světa tam, kde to zemina snadno umožní. Například na některých místech v Asii stačí uříznout vhodný bambus, zazubene oříznout spodní okraj, tubus částečně podélně naříznout a pak už se jen vlastně aplikuje technologie tzv. nárazového jádrování. Cyklicky se na povrchu vyprazdňuje nárazy naplněná dutina. Tato technika se nevyužívala běžně, vždy bylo snazší vyhledat dostupný zdroj povrchové vody a pobývat v jeho blízkosti. Ale třeba v obdobích sucha byla její znalost důležitá, a proto se udržovala.

První zprávy o skutečném hlubinném vrtání pocházejí z období asi 2000 let př. n. l. z Číny a týkají se těžby solanky v ložisku Zigong poblíž Tibetu. Sůl se totiž v minulosti v některých oblastech cenila výš než zlato a po staletí byla i uznávaným mezinárodním platidlem. Těžba solanky byla proto nejčastějším důvodem vrtání až do 19. století, než v důsledku stoupajícího zalidnění převážilo vrtání za účelem hledání vody nebo získání nerostných surovin a paliv.

Podrobnosti o čínských vrtech jsou doloženy teprve z roku 265 př. n. l. Vrtání bylo většinou prováděno **nárazově na laně**. Po rozrušení horniny nárazy **dláta** a výměně nástrojů následovalo vytěžení vodního kalu s výkopkem nabírací **kalovkou**. Ale je popsána i technika s rotací bambusového soutyčí, působenou odvíjením lana taženého dobytčetem. Vrty dosahovaly průměrů až 30 cm a hloubek přes 100 m. V 15. století již bylo v Číně vrtáno do hloubek přes 600 m a ve dvacátém tam touto speciální metodou pronikali dokonce do hloubek 1000 m. To však již na ocelovém lanku. Z roku 347 se dochovala zpráva o prvním vrtu pro čerpání ropy, a to až do hloubky 240 m. Tehdy ovšem ropa sloužila právě pro vysušování více ceněné solanky. Hlubinné vrtání bylo tedy jedním z dílčích objevů, jimiž Čína předběhla okolní svět a které před ním po dlouhou dobu tajila.

V Evropě byla vyvrtána první studna roku 1126 v Lillers v tehdejší francouzské hrabství Artois. Jednalo se o studnu s napjatou hladinou podzemní vody, jež vytéká při uvolnění cesty samovolně nad terén a pro niž se vžil název odvozený z této lokality – „artéská“. Vrt provedli mniši kartuziánského řádu a použili přitom technologii nárazového vrtání na laně s pomocí špičatého nástroje z daleké Číny. Odtud se pak patrně tato technika rozšířila po celé Francii i Evropě a byla dále vylepšována. Nicméně hlubinné vrtání po dlouhá staletí charakterizovaly původní prajednoduché nástroje – nárazové dláto a kalovka. Nárazové vrtání na laně se běžně používalo ještě v první polovině 20. století, kdy se pro ně v žargonu amerických vrtařů ustálil výstižný ironický název „jo-jo“ systém.



Obr. IV. 4: Vrtná rotační souprava do skalních hornin Petera Sweeneyho z roku 1866 využívala šnekového vrtáku, ale i prototyp valivého dláta.

Největší úspěch této etapy vývoje byl zaznamenán při vrtání artéské studny roku 1841 v Grenelle, dnes součásti Paříže, kdy po náročné osmileté práci bylo dosaženo hloubky 557 m o průměru vrtu 15 cm. Z hlediska historie je zajímavé, že zde již byly v úvodní, snadnější části vrtání uplatněny **šnekové vrtáky**. Ty se ale staly opravdu účinnými nástroji až v nedávných desetiletích. Jedná se o jeden z nejstarších způsobů **rotačního náběrového vrtání**, který poutal zájem techniků a vynálezců, například Leonarda da Vinciho, od počátku vývoje technologie vrtání. Dokládá to kupříkladu i dávný patent Američana **Petera Sweeneyho** na rotační vrtání v pevnější hornině z roku 1866 (obr. IV. 4). Zásadní zlepšení nastalo ovšem až s vývojem mechanizačního zázemí na počátku 20. století v podobě nezbytného silného krouticího momentu.

S tím, jak se postupně stávalo hlubinné vrtání v průběhu 19. století vyhledávanou specializací, stoupala i úroveň znalostí a zkušeností s ním spojených.

PLNOPROFILOVÉ VRTÁNÍ V NAFTOVÉM PRŮMYSLU

Velmi významným podnětem pro rozvoj malopřůměrového vrtání byl nástup průzkumu a těžby ropy v Severní Americe v samém závěru 19. století v souvislosti s poptávkou po derivátech ropy pro počínající automobilový průmysl. V průběhu

jen pár desetiletí zde proběhlo na poměrně malém území tak intenzivní experimentování s různými technikami a nástroji vrtání, že se obor vrtání posunul výrazně kupředu. Zejména se tím vytvořila komplexní technologie **plnoprofilového rotačního vrtání s různými výplachy**.

Jako předzvěst budoucího mohutného rozvoje těžařského průmyslu jsou již v roce 1823 zaznamenány první vrty provedené jednoduchou rotační technologií pro využití podzemních vodních zdrojů v Louisianě. V roce 1858 pak byl – stále ještě nárazovou lanovou technologií – vyhlouben první komerční vrt pro těžbu ropy v kanadském Ontariu. Ve stejné době, možná i o několik let dříve, probíhal podobný vrtný ruch také na naftových polích v polské Haliči a v ázerbájdžánském Baku. Uvádí se dokonce, že první vrt na naftu v Evropě byl proveden již v roce 1745 ve Francii. Avšak intenzivní a soustavná naftová horečka propukla v Americe. Po řadě předchozích pokusů a drobných vynálezů na ropných vrtech v Pensylvánii, kde se již ujalo vrtání s nastavovanými tyčemi, začala vlna inovací v oboru vrtání až na ložiscích v Texasu a následovala i jinde na americkém kontinentu.

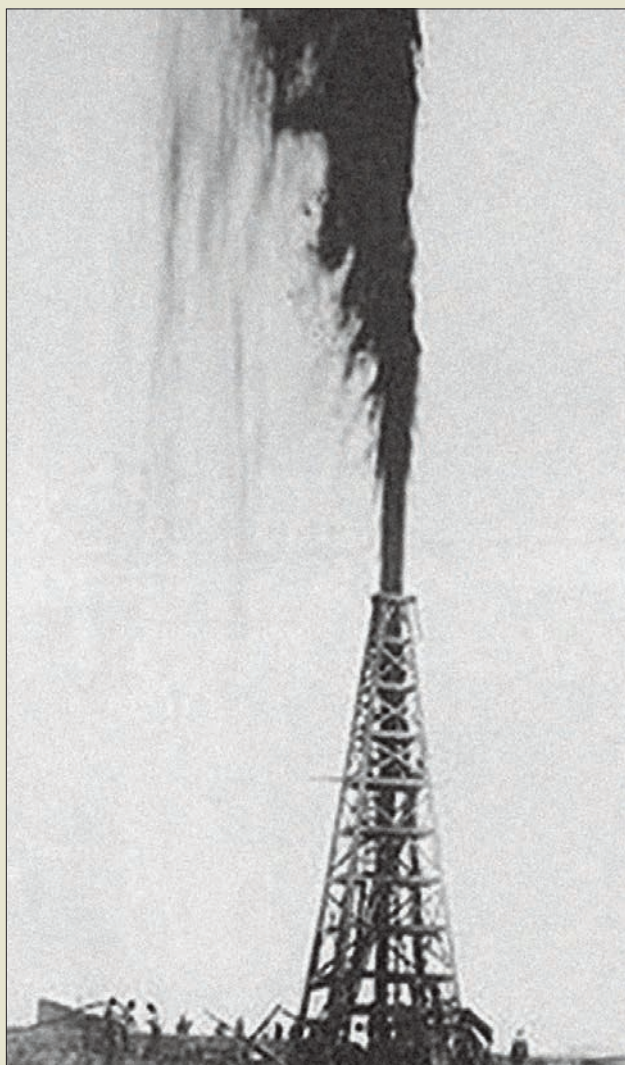
Texaská technologická revoluce vrtání

Technologická revoluce vrtání v Texasu představuje zvláštní dějinný jev. Nejprve bylo v roce 1894 zavedeno na nalezišti Corsicana **rotační vrtání s přímou cirkulací vodního výplachu**. Pro přenos rotace z vrtného stolu byla ve vrtném soutyči použita unášecí čtverhranná **kelly tyč**. Název „kelly“ se pro tuto nejnamáhanější část soutyči vžil z tehdejšího žargonu vrtařů, kteří pro ni humorně používali jméno oblíbeného baseballového hráče z Chicaga. Technicky byl k tomu využit starší patent anglického inženýra Roberta Bearta z roku 1845. Jako obvykle lze v této odborné disciplíně nalézt i další zlepšovatele, kteří si dělali nároky na obdobný vynález, kupříkladu francouzský inženýr Pierre-Pascal Fauvell též v roce 1845. Svědčí to o tom, že Evropa tehdy držela krok se světovým vývojem a doba se hemžila vynálezy a patenty.

Podobně nejasné jsou nároky na vynález **jílového výplachu**. Je sice dokumentován v patentové přihlášce Američana J. Chapmana z roku 1887, ale je rovněž doloženo, že se s ním již předtím experimentovalo na jiných naftových polích. Literatura zasazuje v poněkud romantické interpretaci průmyslové revoluce tento přelomový objev až do roku 1901 na texaské nalezišti Spindletop. První tři tamní vrtné pokusy v roce 1893 s nárazovým vrtáním na laně byly mělké a neúspěšné. Podnikatel **Anthony F. Lucas** však věřil v úspěch a zorganizoval v roce 1900 nový pokus s těžší a již rotační vrtnou soupravou (obr. IV. 5).



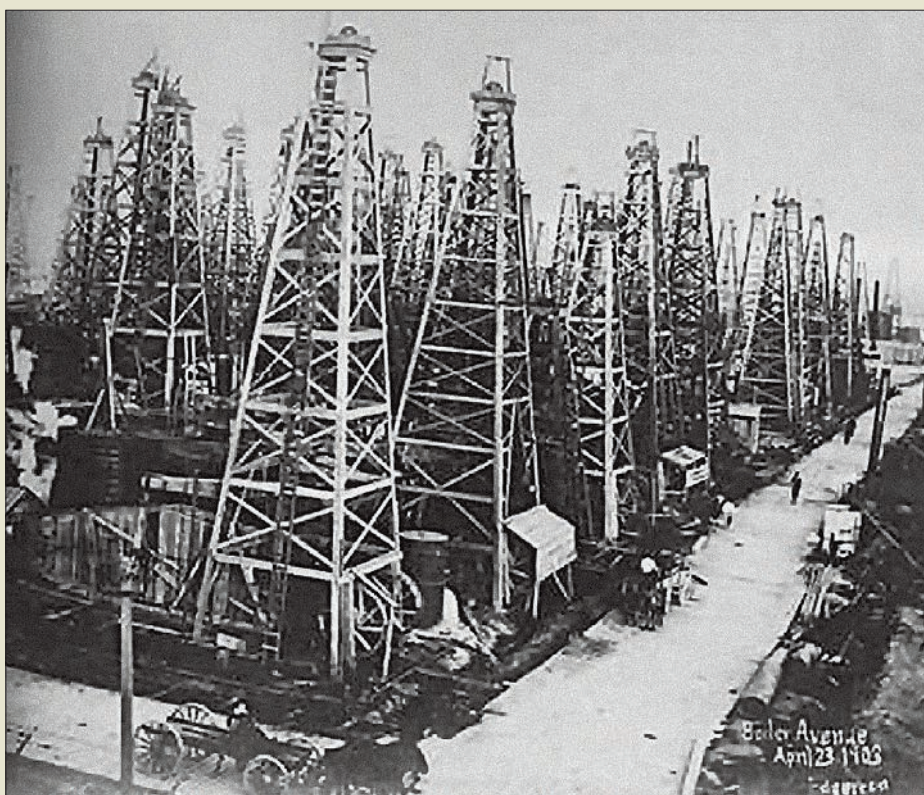
Obr. IV. 5: Vrtací stůl a soustrojí rotační soupravy s posádkou slavného vrtu A. F. Lucase na nalezišti Spindletop v Texasu roku 1900



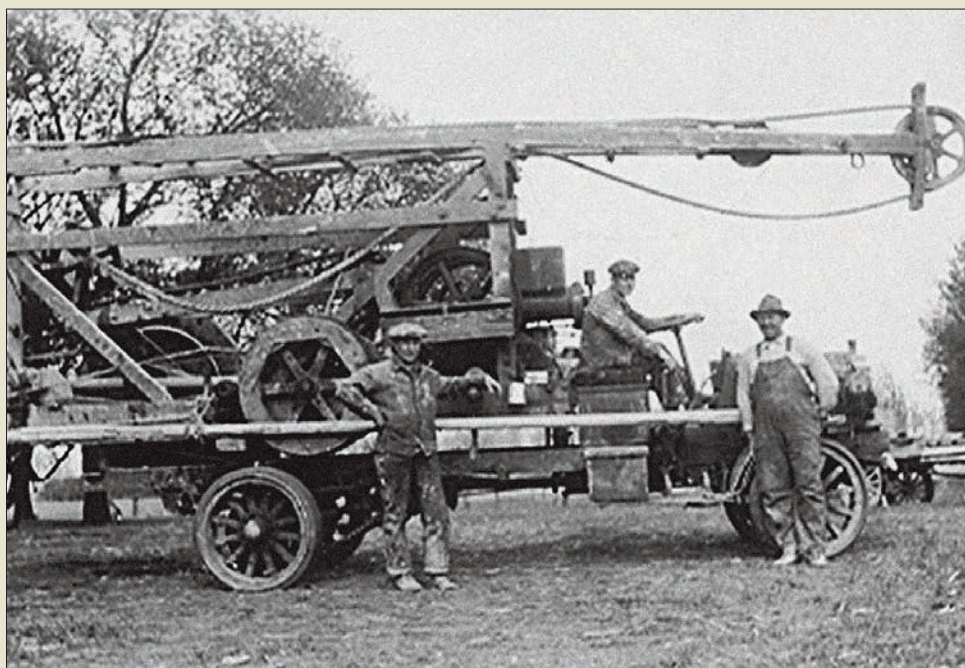
Obr. IV. 6: První gejzír ropy na nalezišti Spindletop 10. ledna 1901

Vrtalo se na **přibírkové dláto** s vodním výplachem, avšak nastaly vážné problémy se zavalováním vrtu v písčitých vrstvách. Zkušený vrtař Curtis Hamill údajně dostal šťastný nápad a poprvé zkusil místo vodního výplachu zahuštěný jílový, vytvořený z místní zeminy rozmíchané dusáním stáda krav v malém rybníčku. Úspěšně tak stabilizoval problematický vrt a pokračoval v práci. Dne 10. ledna 1901 přišla slastná odměna za dosavadní dřinu. Ocelové soutyčiči o váze 4 t náhle vystřelilo z hloubky 364 m k obloze a po chvíli následovala divoká erupce nafty (obr. IV. 6).

Na nalezišti následně vypukla přímo horečná aktivita (obr. IV. 7). Oblast se tak stala rovněž jakousi laboratoří vrtání, kde probíhal velice prudký a intenzivní technologický vývoj.



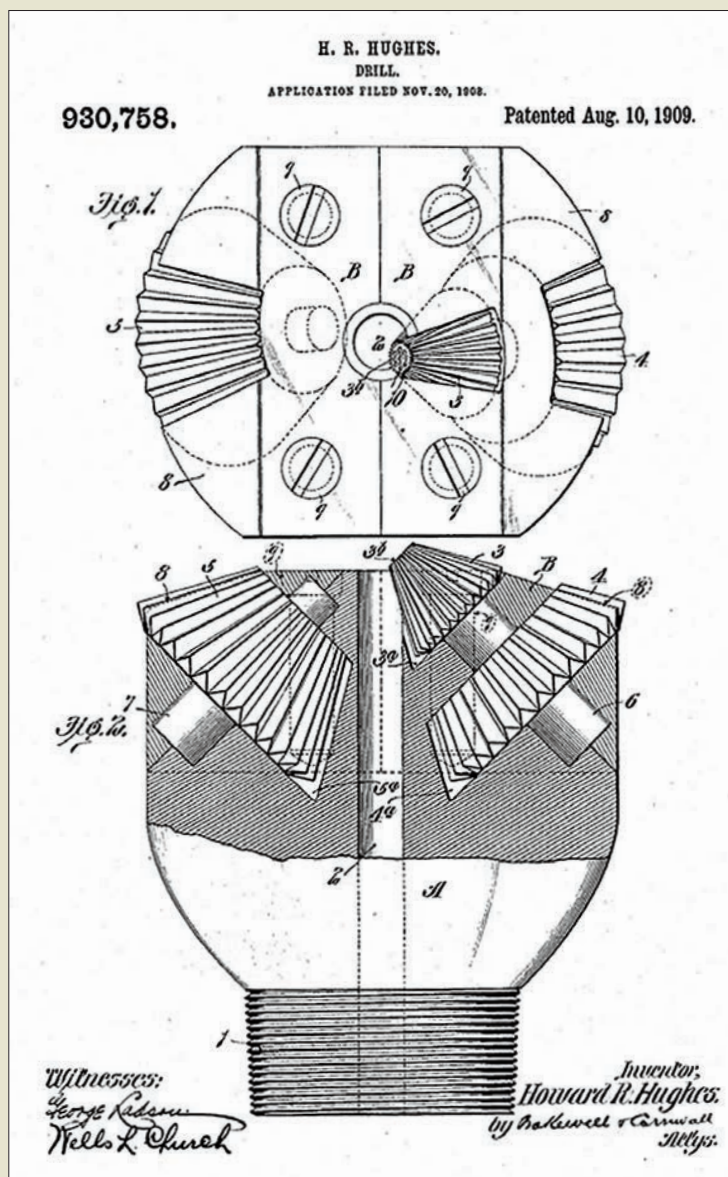
Obr. IV. 7:
Ulice Boiler Avenue
na nalezišti Spindletop
v roce 1903, pouhé
dva roky po prvním
úspěšném vrtu



Obr. IV. 8:
Typická pojízdná
vrtná souprava
ve Spojených
státech v roce 1930

Evropu a zbytek světa o několik roků později zasáhla 1. světová válka a zůstaly tak zcela mimo technický rozvoj. Největší americké naftové firmy se dohodly v roce 1920 na společném výzkumu výplachu a založily organizaci **API** (American Petroleum Institute) pro tvorbu standardů prací, materiálů a zkoušek. API se stala vůdčí světovou institucí v této oblasti. Již v roce 1921 byly patentovány zatěžkávací přísady výplachu, například hematit nebo barit. A roku 1929 byl pak zaregistrován mimořádně významný patent výplachu s **bentonitem**. Pro ten se podařilo vyvinout i řadu potřebných chemických přísad. Později se objevily též varianty emulzních, polymerových a pěnových výplachů. S tím byl spojen i vývoj tamponážních a cementačních postupů a směsí.

Obr. IV. 9: Nákres dvoukuželového
valivého dláta z patentu Howarda
R. Hughese v roce 1908



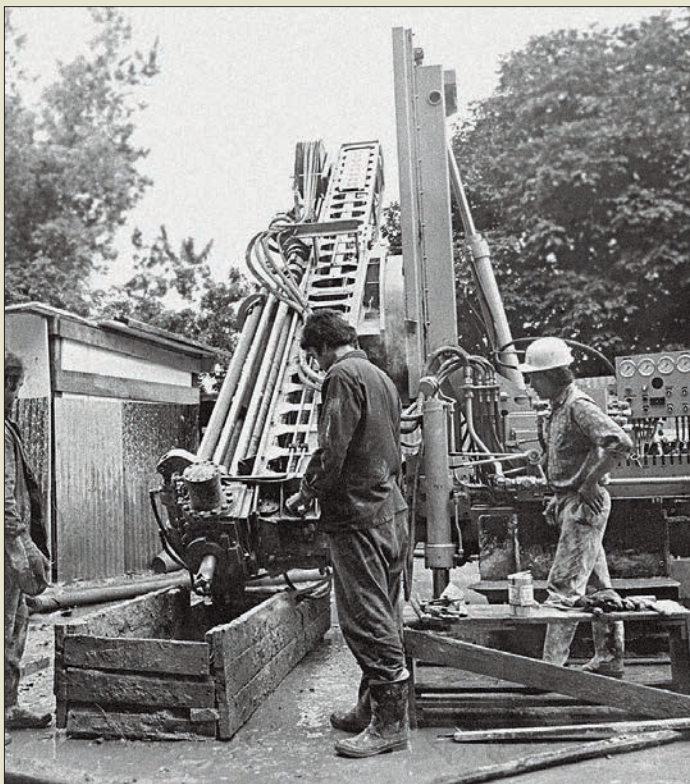
V té době se zrodil vědní obor **teorie vrtání**, který postupně stanovil, že pro určení vrtatelnosti je třeba v závislosti na proměnlivosti vlastností zemin a hornin upřesnit až na 40 různých parametrů. Protože dlouho bylo a dosud je velmi obtížné jejich vzájemné vztahy exaktně zachytit a řídit, traduje se, že vrtání zemin a hornin je jedním z posledních umění v říši průmyslu, kde všechny ostatní činnosti již byly více či méně na exaktní vědecké základy převedeny.

Hlubinné vrtání se v průběhu krátké doby stalo výlučně odbornou činností. A úzké spojení s automobilovým průmyslem pak dalo vzniknout prvním mobilním vrtným soupravám (obr. IV. 8), jež sloužily jako vzor pro soupravy speciálního zakládání.

Naftové vrtání se pochopitelně dále vyvíjelo, například k turbinovému vrtání, anebo ještě později k **usměrněnému vrtání**. To poté vedlo k poměrně nedávné technologické revoluci pomocí tzv. „frakování“. Horizontální usměrnění vrtu se sice úspěšně zkoušelo již v roce 1949, ale teprve v roce 1990 ho americký inovátor George P. Mitchell dovedl zapojením vysokotlakého štěpení horniny k současnému masovému využití. V druhé dekádě 21. století se již používalo po celém světě u 2,5 milionu vrtů, hlavně pro těžbu plynu. Některé prvky tohoto technologického systému, zejména usměrněné vrtání či frakování s pískovou klakází, už také obohatily obor speciálního zakládání.

Patrně nejdůležitějším vynálezem vrtné líhně na nalezišti Spindletop v Texasu byl nový vrtný nástroj – **valivé dláto**. Existují sice opět námitky, že koncepty návrhu byly známy již dříve, ale zde došlo k jeho rutinnímu zavedení do praxe. Nejprve vzniklo dláto dvoukuželové, patentované **Howardem R. Hughesem** v roce 1908 (obr. IV. 9).

V plnoprofilovém vrtání to způsobilo doslova revoluci, neboť pomocí valivého dláta bylo možno vrtat v tvrdší hornině desetkrát rychleji nežli s dosavadními běžnými přibírkovými dláty. V roce 1909 byla založena firma Sharp-Hughes Tool Company s výhradním právem na výrobu těchto nástrojů. Její inženýři vylepšili původní vynález dvoukuželového dláta na tříkuželový typ. To ale až roku 1933, devět let po smrti zakladatele firmy. Pod chráněným názvem **Tricon** se pak tento nástroj rozšířil všude ve světě. Howard R. Hughes mladší zdědil jeden z neúspěšnějších výrobních podniků v historii a ve své době byl nejbohatším mužem světa. Předstihl ho až další naftový magnát, J. D. Rockefeller, který se však soustředil na rafinerie a na distribuci ropných produktů.



Obr. IV. 10: Vrtné práce na trase pražského metra A, prováděné v roce 1974 pomocí jílocementového výplachu a valivého dláta soupravou Hausherr HBM 12, vybavenou již zásobníkem vrtných tyčí, v ulici Na Hutích, Praha-Dejvice (Zakládání staveb, a. s.)

U nás byl sice zahájen vrtný průzkum nalezišť ropy již zhruba v polovině 19. století, ale první komerční naftový vrt, ještě ovšem neúspěšný, byl proveden až v roce 1914. Vrtala ho firma Moravská těžařská společnost u slovenských Kbel. Za 2. světové války převzaly všechna místa těžby a průzkumu německé firmy. V poválečné době tyto práce soustředil pod svou správou státní podnik Československé naftové doly, založený v roce 1946. V roce 1952 vznikl vývojový Ústav pro výzkum nafty v Brně, pozdější Ústav geologického inženýrství. Ten však byl odkázán převážně na sovětské a rumunské zkušenosti a jejich omezené mechanizační prostředky. Přesto v něm vyrostla i za těchto podmínek výrazná osobnost v oboru výplachů Ing. Dr. **František Esterka**, CSc. Rozběhu rodícího se oboru speciálního zakládání u nás v polovině 20. století koncentrované znalosti naftového průmyslu velice pomohly. Například při zahájení výstavby pražského metra v šedesátých letech byla velká část vrtných prací prováděna plnoprofilově na jílocementový výplach (obr. IV. 10).

PŘÍKLEPNÉ VRTÁNÍ

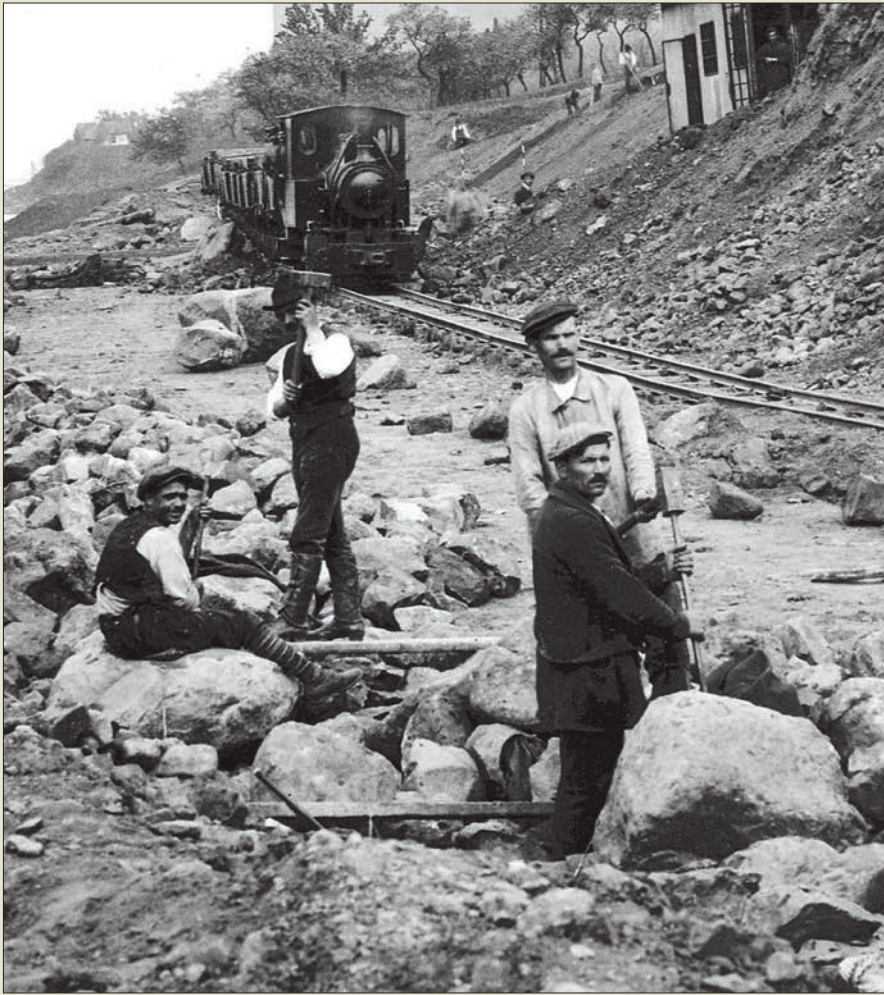
Kořeny **rotačně příklepného vrtání**, nazývaného také **nárazovotočivé**, jsou v hluboké historii spjaty se zrodem kamenictví. Jde o stejné nárazové rozrušování horniny jako při vysekávání otvorů v kameni pro osazení klínů. Princip ručního přímočarého příklepu na dláto přetrvával po dlouhá tisíciletí prakticky nezměněn.

Při pohledu do minulosti je třeba připomenout, že první zárodky vrtání v kameni jsou dokumentovány zhruba před pěti tisíci lety ve starověkém Egyptě, kde kamenictví dosáhlo při stavbě pyramid a dalších monumentů neobyčejného mistrovství. To, že řemeslná úroveň dokonalého opracování kamenných bloků zůstala po celé věky nepřekonaná, je zarážející. Trpělivost a pečlivost starověkých kameníků vlastně předstihly až nedávno vynálezy diamantových pil a rezných lanek. Vezmeme-li v úvahu, že egyptští kameníci měli k dispozici pouze primitivní kamenné a bronzové nástroje, jsou pro nás výsledky jejich práce dosud zahaleny tajemstvím. Vždyť železo bylo v té době nedostupné, první drobné stopy o něm, v tzv. houbovitě formě, pocházejí z let 1200 př. n. l. od Chetitů v daleké turecké Anatólii. Ještě po nedohledná následující staletí po egyptském rozkvětu byla kamenická práce odkázána na postupné zlepšování kvality železa k oceli. Jediným lomařským pokrokem při vysekávání otvorů pro trhací klíny bylo asi před dvěma tisíci lety dláto s křížovým břitem. Poměrně donedávna používali kameníci stále jen ocelový majzlík a palici.

Ještě před pouhým stoletím se v některých lomech řemeslně vrtalo pro odstřel bušením palicí do kovového sochoru s jeho pootáčením (obr. IV. 11). Tři muži takto obvykle vyhloubili v žule za 5 až 6 hodin usilovné práce dvoumetrový vrt. Ruční vrtání jen s krátkým dlátem a mlátkem bylo při hornických pracích v podzemí zcela běžné až do 20. století.

V 19. století narůstala potřeba rychlého zhotovování vrtů, obzvláště pro trhací práce k rozpojování skalních hornin v dolech, lomech, tunelech i při zakládání staveb. Tomu vyhovovalo plnoprofilové příklepné vrtání na rozdíl od velmi pomalého vrtání jádrového, které se vyvíjelo souběžně, ale uplatňovalo se hlavně pro hlubší průzkumné vrty. Zmíněné požadavky dokázalo náležitě uspokojit teprve lepší zázemí průmyslové výroby mechanizačních prostředků. Až pak se mohlo rozběhnout vylepšování příklepného vrtání. Jelikož se v rozhodující historické době od poloviny 19. století odehrávala největší aktivita těchto prací ve Spojených státech, je přirozené, že se zde zrodilo nejvíce vynálezů a inovací. Jen v letech 1850 až 1875 bylo podáno 110 patentů, výrazně více než v Evropě. Rozvoj této technologie byl mimořádně složitý, takže ho lze zachytit jen velmi zhruba.

První příklepné rozvolňovací kladivo pro tento druh vrtání, ještě poháněné parou, vynalezl v roce 1848 a nechal si patentovat Jonathan J. Couch ve Filadelfii. Jako i u mnoha následujících systémů pohyboval ještě píst celou tyčí dláta, s níž byl pevně spojen. Proto byla první vrtací kladiva dostačující jen pro kratší vrty. V roce 1850 vyvinul asistent původního vynálezce Joseph W. Fowle modifikaci na podstatně stabilnější pohonné médium stlačeného vzduchu. První **pneumatická příklepná kladiva** se však dlouho používala v nevýhodné pracovní pozici, jen pro dovrchní vrtání, aby mohla vrtaná drť sama vypadávat z vrtu gravitací. Výplach vrtu ještě nebyl vyřešen a prováděl se improvizovaně pomocnou trubicou. Souviselo to mimo jiné s tím, že jako trhavina se používal nevykonný **střelný prach**, a proto postačovaly vrty



Obr. IV. 11: Rozrušování balvanů archaickou technikou vrtání pomocí sochoru a palice na stavbě Masarykova zdymadla pod Střekovem v roce 1923 (Z. Bauer)

pouze tři čtvrtě metru dlouhé. Mimochodem černý střelný prach jako důlní trhavina poprvé použili němečtí důlní odborníci roku 1627 v tehdejší uherské Banské Štiavnici. Hlavním prostředkem pro větší rozrušení horniny byla v těch dobách a ještě i dlouho potom metoda „sázení ohněm“.

V Evropě představil vynález pneumatického kladiva roku 1854 Thomas Bartlette v Anglii. A v Evropě také došlo k jeho většímu průmyslovému uplatnění. Po několika vylepšeních dalšími inženýry bylo pneumatické kladivo provozně použito v roce 1857 na největším stavebním projektu té doby – na ražbě prvního z velkých alpských tunelů jménem Fréjus délky 12,5 km pod horou Mt. Cenis mezi Itálií a Francií. Podle odhadu by stavba ve vápenatých a místy prokřemenělých břidlicích při dosavadním ručním vrtání trvala 30 let, s dosahovaným postupem v ražbě asi 23 cm za den. Urychlení projektu však výrazně pomohla silná osobnost jeho šéfa, inženýra **Germaina Sommeliera**, který zavedl novou razicí technologii pomocí pneumatických kladiv a dokonce sestavil vrtací vůz s několika vrtacími kladivy pracujícími současně (obr. IV. 12).

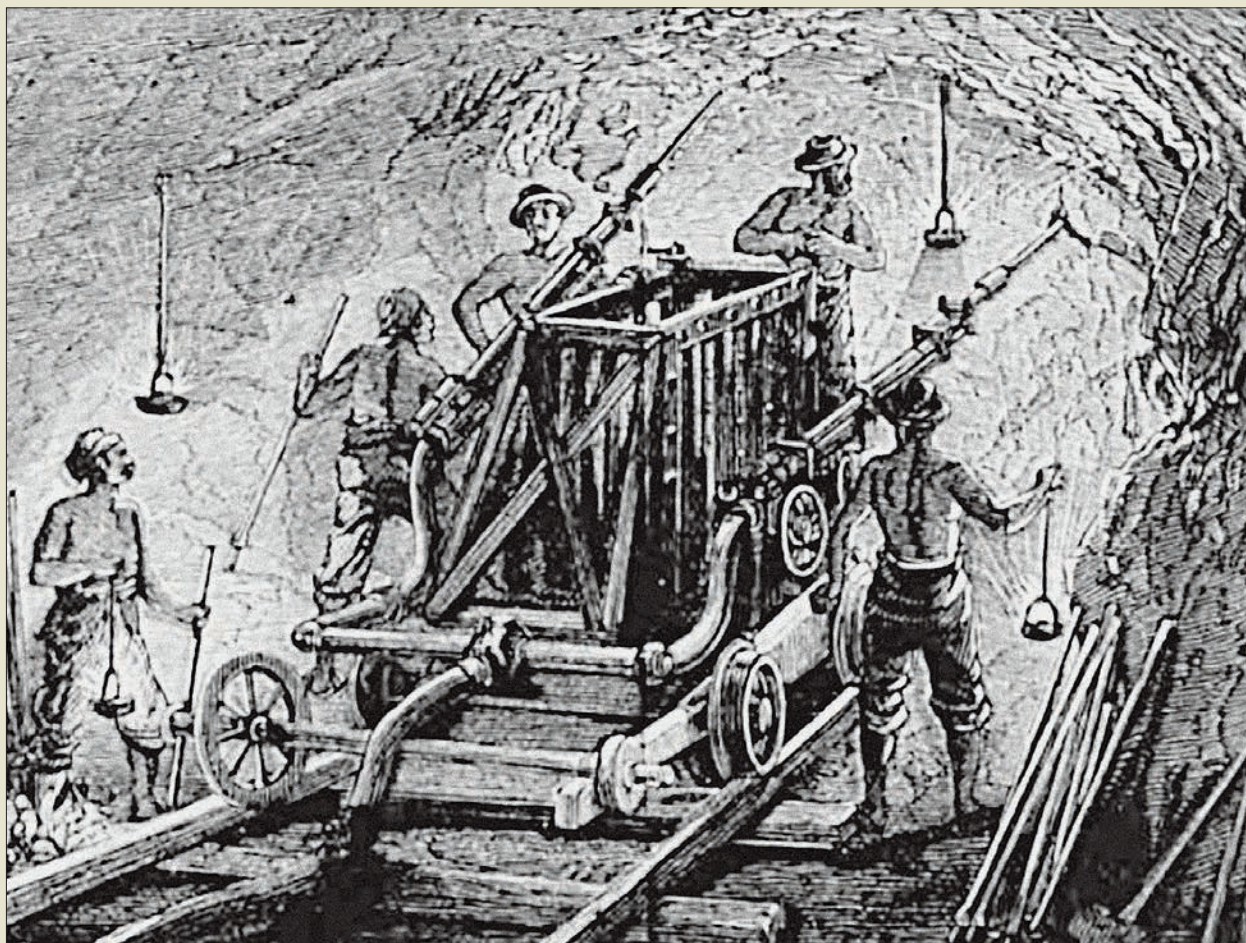
Příklepným vrtáním bylo dosaženo zvýšení výkonů z počátečních 0,46 m za den v roce 1861 na konečných 2,27 m za den v roce 1870. Původní odhad byl tedy snížen na méně než polovinu doby. Na 9 funkčních vrtacích kladiv (každé o váze 280 kg) ovšem připadalo dalších 54 kusů v souběžné opravě. Celkem jich muselo být nasazeno 200. To předznamenávalo, jak mimořádně citlivá je příklepná technologie na kvalitu používaných ocelí.

Na stavbě tunelu Fréjus byl rovněž sestaven první skutečně výkonný **kompresor**. Princip stlačeného vzduchu byl znám již 3000 let př. n. l. a využíván pro provoz tavicích pecí na bronz, tehdy s pomocí měchových dmychadel. Ale až v novověku byla sestrojena první pístová nízkotlaká dmychadla, na jejichž návrzích se podílel například již Leonardo da Vinci. Větší impulz pro vývoj kompresorů pro vyšší tlaky však přinesl až nástup průmyslové revoluce na počátku

18. století s požadavky hutnického průmyslu. První prototyp dvoustupňového kompresoru si patentoval v roce 1829 Francouz Adrien-Jean-Pierre Thilorier, který též vynalezl suchý led ze stlačeného CO_2 . Využil přitom dávného vynálezu vzduchové pumpy z roku 1650 německého inženýra Otto von Guericka a o sto let mladšího návrhu mechanického kompresoru Angličana Johna Wilkinsona z roku 1757. K dalšímu velmi podstatnému vylepšení principu kompresoru pak došlo až po vynálezu axiálního kompresoru v roce 1926 Angličanem A. A. Griffithem. Je to ukázka dějinných myšlenkových přeskoků mezi vynálezci z různých zemí.

Pneumatická technika se nejvýrazněji uplatnila v dolech a na podzemních stavbách. Umožňovala rozvádět potrubím relativně stabilní energii na dlouhé vzdálenosti k vrtačkám na čelbách tunelů a zároveň zajišťovala důležité odvětrávání. Na stavbě Fréjus byly nasazeny velké stacionární kompresory se vzduchovými válci poháněnými tlakem vody, přiváděné z vysoko položených bystrin. Tato tlaková voda se rovněž přiváděla na čelbu k výplachu vrtů. Stlačený vzduch se zde podařilo rozvádět až do vzdálenosti 7 km. V následujících desetiletích se již používaly i mobilní parní kompresory (obr. IV. 13).

V roce 1851 se na druhé straně Atlantiku začal v americkém Massachusetts razit jiný historicky důležitý tunel Hoosac o délce 7,6 km. Při jeho stavbě se uplatnily další inovace pneumatického vrtání a v jejím závěru se poprvé průmyslově použila výkonnější trhavina **nitroglycerin**. To umožnilo prodloužit vrty v tvrdé ruce a žilném křemenu na více než 1 m. Zpočátku se práce komplikovaly a nesmírně prodražovaly, takže nakonec rozhodla v roce 1862 vládní komise převzít zkušenosti z evropského tunelu Fréjus. Americký vynálezce Charles Burleigh potom podstatně zdokonalil příklepové kladivo a tunel byl úspěšně otevřen v roce 1875. Pracovalo zde 40 vrtaček o váze 120 kg při stále ještě poměrně vysoké poruchovosti.

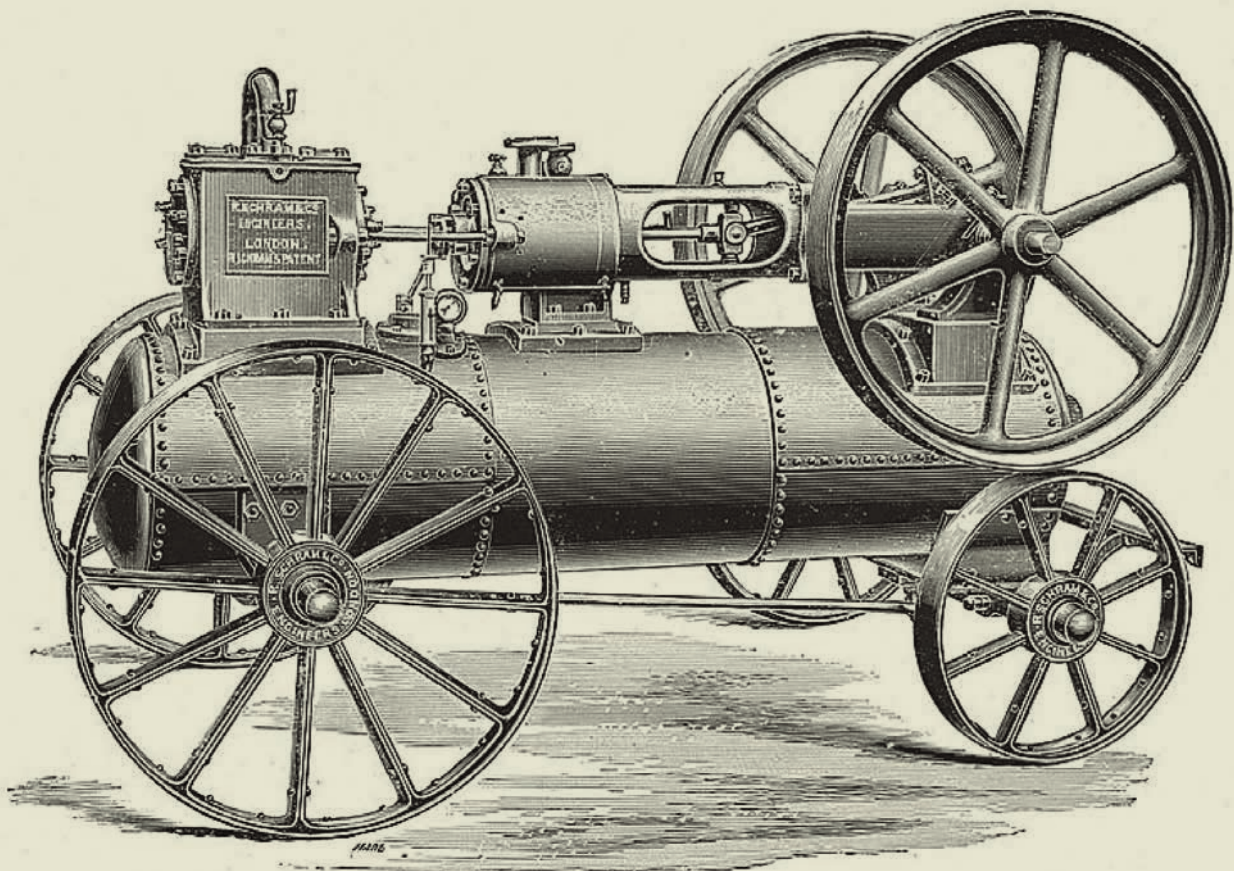


Obr. IV. 12: Vrtací vůz s prvními pneumatickými kladivy, zavedený na stavbě tunelu Fréjus mezi Itálií a Francií v roce 1861

Katalyzátorem dalšího vývoje byl i vynález **dynamitu**, který si nechal patentovat Alfred Nobel v roce 1867. Dynamit umožnil zcela bezpečné nabíjení podstatně hlubších vrtů. Důležitý mezník pak představoval roku 1871 patent amerického inženýra **Simona Ingersolla**. Ten byl nejen vynálezcem, ale i skvělým průmyslovým organizátorem, jenž se dovedl obklopit správnými lidmi. Jím navržená přiklepová vrtačka na stabilní trojnožce byla výrazně lehčí a umožňovala vrtat prakticky pod jakýmkoli úhlem (obr. IV. 14).

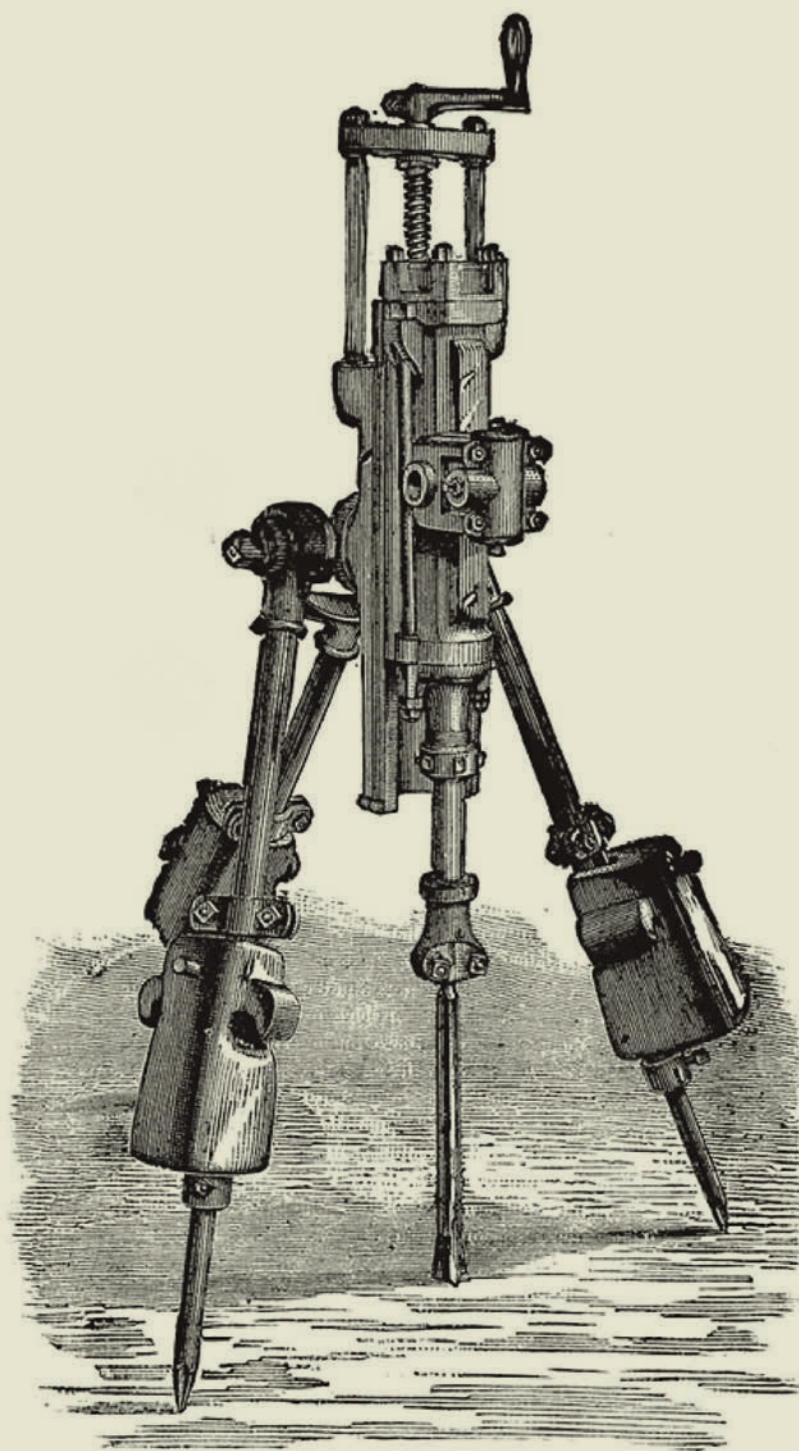
Ingersolovy vynálezy nejen otevřely přechod k hlubším vrtům, ale jejich úspěch postupně vedl ke vzniku slavné firmy **Ingersoll-Rand**, která v pneumatickém vrtání později zazářila jako klíčový subdodavatel například na stavbě Panamského průplavu v roce 1904. Ingersoll skupoval další firmy s důležitými vynálezy, jež zaváděl do široké praxe, jako například vrtací kladivo inženýra C. H. Shawa z roku 1880 s již odděleným pístem od tyče dřeva. To vedlo jak k vyšší frekvenci úderů a zvýšeným výkonům, tak k snadnější výměně tyče dřeva. Tyče bylo možné prodloužit a experimentovat se sestavou soutyčů. Ingersolovou nejdůležitější akvizicí byla roku 1912 firma vynálezce **George Leynera**, který roku 1896 zásadně vyřešil **vzduchový výplach vrtu vnitřkem** přiklepového soutyčů, takže bylo možno průběžně vyplachovat i dolů směřující vrty. Ovšem zpočátku s tímto zařízením nechtěl nikdo pracovat kvůli množství vyfoukaného prachu a Leyner tak musel prvních 75 vrtaček odkoupit zpět. Vše vyřešilo teprve pomocné skrápění vodou. Rozvoj zpočátku rovněž brzdila chronicky vysoká poruchovost dutých vrtných tyčí z nedostatečně kvalitního materiálu. Proto se toto řešení efektivně uplatnilo až poté, co Angličan Harry Brearley vynalezl roku 1912 vysokopevnostní ocel, a obzvláště pak po zahájení hromadné výroby speciálních válcovaných dutých tyčí.

Na začátku 20. století byla konečně zavedena **automatická rotace** přiklepového dřeva a vývoj pak již rychle směřoval k rotačnímu vrtání, jak je známe dnes. Vylepsil s ní svá vrtací kladiva v roce 1897 Leyner. Do doby, než jeho patent v roce 1914 vypršel, soutěžilo na trhu pět systémů pneumatického vrtání a tuto rotaci měl jen Leynerův, roku 1913



Obr. IV. 13: Pojízdný parní kompresor americké firmy Schramm – typický stavební mechanismus z konce 19. století

Obr. IV. 14: Lehká pneumatická vrtačka s vrchním přiklepem podle patentu S. Ingersolla z roku 1871



patentovaný pod názvem **Jackhammer**. Ostatní systémy stále měly jen ruční pootáčení dosud přímočarého přiklepu. Následně proto všechny přešly na tento typ výrazně lehčího, více než dvojnásobně výkonnějšího a méně poruchového kladiva. Právě **snížená poruchovost** měla obrovský význam, neboť při pneumatickém vrtání nastává největší namáhání materiálu – během jedné minuty dochází ve vrtacím kladivu v průměru k 2000 nárazům kovu na kov.

V roce 1938 firma Ingersoll-Rand opět zásadně nasměrovala trh. Zavedla do výroby lehkou pneumatickou mobilní vrtačku posuvnou po **saňové lafetě** pod názvem **Wagondrill**, která se stala všeobecně napodobovaným typem, oblíbeným až do druhé poloviny 20. století (obr. IV. 15). Později se z ní vyvinuly samohybné střední pásové soupravy do lomu jen s pneumatickým pohonem a tzv. **vrchním přiklepem**. Jejich vzorovým typem byl **Tracdriill ROC 600** firmy AtlasCopco, u nás používaný ve verzi firmy Böhler.



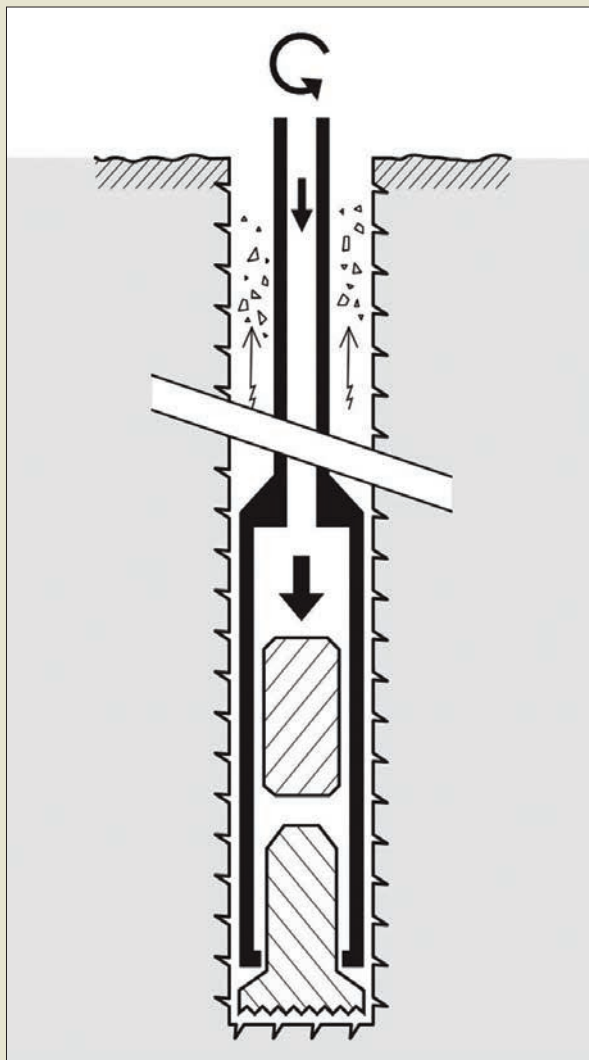
Obr. IV. 15: Příklad velmi úspěšné lehké mobilní pneumatické soupravy typu Wagondrill pro vrtání s rotačním vrchním příklepem, používané zejména v lomech (výrobek americké firmy Gardner-Denver z roku 1939)

Obr. IV. 16: Vrtání původním Ingersollovým kladivem na trojnožce s improvizovaným parním pohonem z drážní lokomotivky při rozrušování úpek ve dně výkopu pro plavební komoru v Nymburce roku 1919 (Z. Bauer)



Obr. IV. 17: Schematické znázornění principu funkce ponorného kladiva. Píst naráží přímo na vrtnou korunku na dně vrtu. Přepouštěcí ani výfukové kanálky, které zprostředkují výplach vrtu, zde nejsou znázorněny. Rotace je přenášena na celé soutyči vrtnou hlavou soupravy.

Dlouhodobou bolestí přiklepného vrtání bylo otupování břitu dláta s následným zpomalením vrtného postupu, zdržením s výměnou soutyčí dláta a s jeho pracovním ostřením. Výrazné zlepšení produktivity vrtání proto přinesl v roce 1918 vynález **výměnných vrtných korunek**, který zavedl A. L. Hawkesworth, mistr v měděných dolech Anaconda v americké Montaně. Poslední velkou změnou vrtných korunek bylo poté zavedení břitů ze **slinutých karbidů**. Tento materiál byl sice vynalezen již v roce 1926 v Německu, ale průmyslově se uplatnil až po dlouhém zkoušení a zlepšování po roce 1945. Tyto břity zvýšily výkonnost vrtání zejména v tvrdých horninách. Jejich největším dodavatelem se stala švédská firma **Sandvik**, založená v roce 1862, ovšem tehdy zaměřená jen na speciální legované oceli. Roku 1942 se přeorientovala na výrobu slinutých karbidů, což jí přineslo obrovský obchodní úspěch a vedlo k rychlému rozšíření poboček do celého světa.



U nás bylo přiklepné pneumatické vrtání známo již za Rakouska-Uherska a hojně se využívalo též i za první republiky (obr. IV. 16). Pneumatická vrtací kladiva byla zhruba od roku 1870 zaváděna nejprve v dolech a později i na stavbách.

Roku 1922 byly touto technologií zhotoveny údajně první vrtané piloty na našem území při sanaci věže kostela sv. Jakuba v Jihlavě. Dnes bychom je ovšem vzhledem k průměru 33 cm označili za **mikropiloty**.

PONORNÉ Kladivo

Po téměř jedno století si musela přiklepná technologie vrtání vystačit s vrchním přiklepem na vrtné soutyči tak, jak bylo popsáno výše. Procházela sice tucty vylepšení a modifikací, ale ta všechna byla jen relativně malá, takže efektivnosti se dosahovalo spíše u lehkých mobilních souprav. Zásadní problémy nastávaly u hlubších vrtů, kdy docházelo jednak ke ztrátě účinnosti přiklepu, jednak i k velkým odchylkám vrtů v důsledku zakřivení soutyčí. Někdy dokonce zcela zahnutý vrt prorazil zpět na povrch poblíž vrtné soupravy. Od Nobelova vynálezu dynamitu, který mimo jiné výrazně usnadnil trhací práce v hloubce pod hladinou vody, se naléhavost těchto problémů po dlouhá desetiletí ještě stupňovala. Dříve se totiž při zakládání pod vodní hladinou musela skála rozbít těžkými dláty. Jejich váha dosahovala například v roce 1860 na stavbě Suezského průplavu až 19 tun, což přinášelo nesmírné mechanizační obtíže. Problémy s vrtáním mohly být odstraněny jedině zásadní změnou v principu přenášení účinku energie přiklepu, a sice přenosem přímo na vrtnou korunku na dně vrtu (obr. IV. 17).



Obr. IV. 18: Lehká vrtná souprava firmy Stenuick typu Record HS Universelle, na jejímž prototypu André Stenuick zkoušel v roce 1950 nový způsob vrtání ponorným kladivem.

Vynález ponorného vrtacího kladiva vedl k typickému technologickému skoku. Teoreticky se tak stalo již ve třicátých letech minulého století, kdy byla tato koncepce vyvinuta souběžně v USA a Belgii. Avšak protože tyto první typy ponorných kladiv používaly běžný nízký tlak 4 bar, byla jejich výkonnost při obvyklých velkých ztrátách v tlakovém systému poměrně malá. V té době také stále ještě nebyly k dispozici ocelové materiály vyšší kvality pro nejvíce namáhané choulostivé součásti, které by účinky vyšších tlaků dlouhodobě vydržely. Proto ještě po další desetiletí nedošlo k praktickému využití tohoto záměru.

První úspěšný typ ponorného kladiva vyvinul až na konci čtyřicátých let belgický inženýr **André Stenuick**, a to po usilovných pokusech s neobvykle vysokým tlakem 7 bar, které prováděl ve vápencovém lomu vedle své továrničky. Založil firmu Stenuick Freres, která se pokoušela s vynálezem univerzálně vhodným pro prakticky jakoukoli vrtnou soupravu prorazit na trhu (obr. IV. 18).

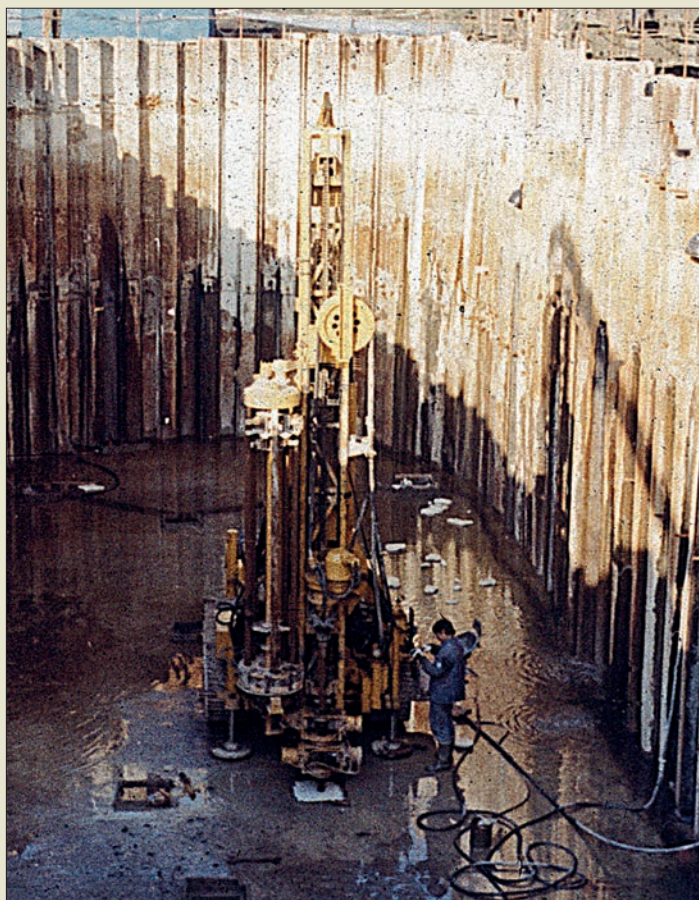
Zpočátku se mu ale příliš nedařilo, a tak opravdový zvrat nastal až v roce 1951, když se spojil se silnější britskou firmou Halco, která úspěchu napomohla brity ze slinutých karbidů. To umožnilo vrtat podstatně přesněji, s vysokými výkony a průměry vrtů až 100 mm. Nové výkonnější kompresory později přispěly k tomu, že se přešlo na ještě **vyšší tlaky** od 12 bar postupně na 24 bar a nakonec až na 30 bar. Kompresory poskytly také dostatečnou kapacitu dodávky stlačeného vzduchu pro výplach vrtů o větších průměrech. Ve vývoji ponorných kladiv tím nastal prudký, téměř hyperbolický rozvoj a tato kladiva se rychle stala nejpoužívanějším a nenahraditelným nástrojem pro vrtání v tvrdých horninách nebo ve zdivu. Trh brzy zaplavily rozličné modely kladiv a typy vrtných korunek (obr. IV. 19).

Obr. IV. 19: Různé druhy ponorných kladiv a vrtných korunek na začátku 21. století



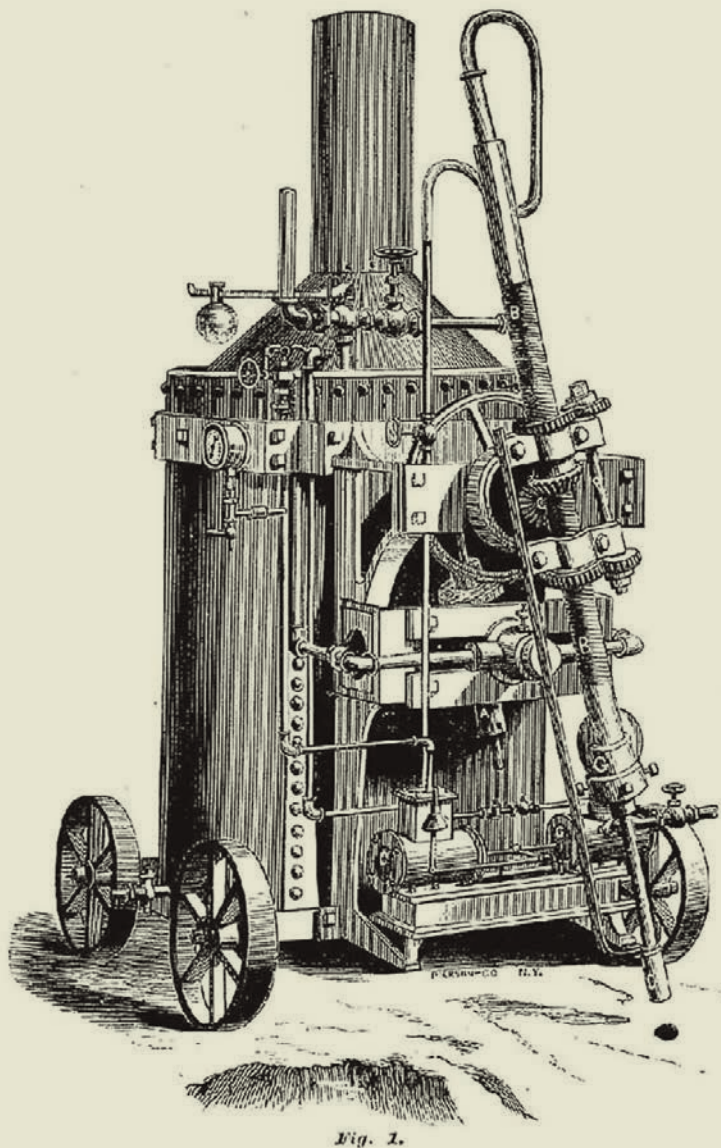
Nejúspěšněji zachytila tento trend výše uvedená americká firma Ingersoll-Rand, která prodávala již od roku 1955 kladiva pro vrty až do průměru 165 mm. V Evropě zase nabízela v šedesátých letech nejlepší ponorná kladiva a kompresory pro tlaky 10–11 bar britská firma Holman Brothers Ltd. Nejprve sice okopírovala na lomech v Derbyshire ponorná kladiva Stenuick/Halco, ale pak získala licenci, vylepšila je a stala se vzorem pro mnohé další výrobce.

Během let získala v této oblasti vůdčí postavení společnost **AtlasCopco**, která roku 2004 převzala vrtnou divizi Ingersoll-Rand a následně řadu dalších firem. Ingersoll-Rand tak po letech dominance stavební oblast zcela opustila.



K další výrazné inovaci v oblasti ponorných kladiv došlo až v roce 1988, když švédská firma LKAB Wassara nahradila pohonné médium stlačeného vzduchu **vysokotlakou vodou** s tlaky 180 bar i více. Protože voda je nestlačitelná, jsou v této technologické verzi podstatně nižší ztráty a vrtání je efektivnější. Výhodou je nejen kvalitnější, čistěji vypláchnutý vrt, ale také podstatně čistší pracovní prostředí, což je zejména významné pro použití v podzemí a v městském prostředí.

Obr. IV. 20: Vrtání ponorným kladivem většího průměru v ČSSR roku 1978 na stavbě Barrandovského mostu v Praze. Pro vrty armokošových mikropilot o průměru 360 mm a délek 10 až 14 m bylo v tvrdém vápencovém podzákladí použito ponorné kladivo Stenuick a kompresor Holman (Zakládání staveb, a. s.).



Obr. IV. 21: Jedna z prvních vrtných jádrových souprav v USA postavená podle patentu R. Leschota newyorskou firmou Severance & Hol v roce 1869. Pohon byl parní, zřetelný je mechanický převod otáček průchozím vřetenem, použití vodního výplachu a osazení břitu.

V tuzemsku bylo používání ponorných kladiv ovlivněno naším poválečným postavením v RVHP. V SSSR pokusy s vývojem kladiv pro vyšší tlaky vzdali v roce 1955 především z důvodu nedostatku vysoce kvalitních ocelí. ČSSR v té době závisela na sovětském zaostávajícím mechanizačním zázemí. První ponorná kladiva typu PT 35 ze sovětského podniku Komunist tak byla přednostně dodávána pro uranový průmysl a jen pomalu se rozšířila i do ostatních resortů. Ještě na konci šedesátých let se používala sovětská kladiva MP 3 o průměru 105 mm i pro speciální zakládání. Byla sice poruchová, ale fungovala i pod hladinou podzemní vody. Také korunky se rychle opotřebovávaly, proto se podniky snažily získat kvalitnější švédské značky Sandvik. V roce 1968 byla zahájena v podniku Permon Křivoklát výroba ponorného kladiva typu HK 85 a o rok později HK 105. Jejich konstrukce vycházela z kladiva Holman pro tlaky do 6 bar, ale nebyla uzpůsobena pro práci pod hladinou podzemní vody. Vzhledem k trvalým problémům s životností dostupných kladiv usilovaly prováděcí podniky o získání zahraničních výrobků a občas se jim podařilo vybojovat povolení k nákupu kvalitnějších značek, jako byly Stenuick, Mission nebo později nejrozšířenější AtlasCopco (obr. IV. 20).

ROTAČNÍ JÁDROVÉ VRTÁNÍ

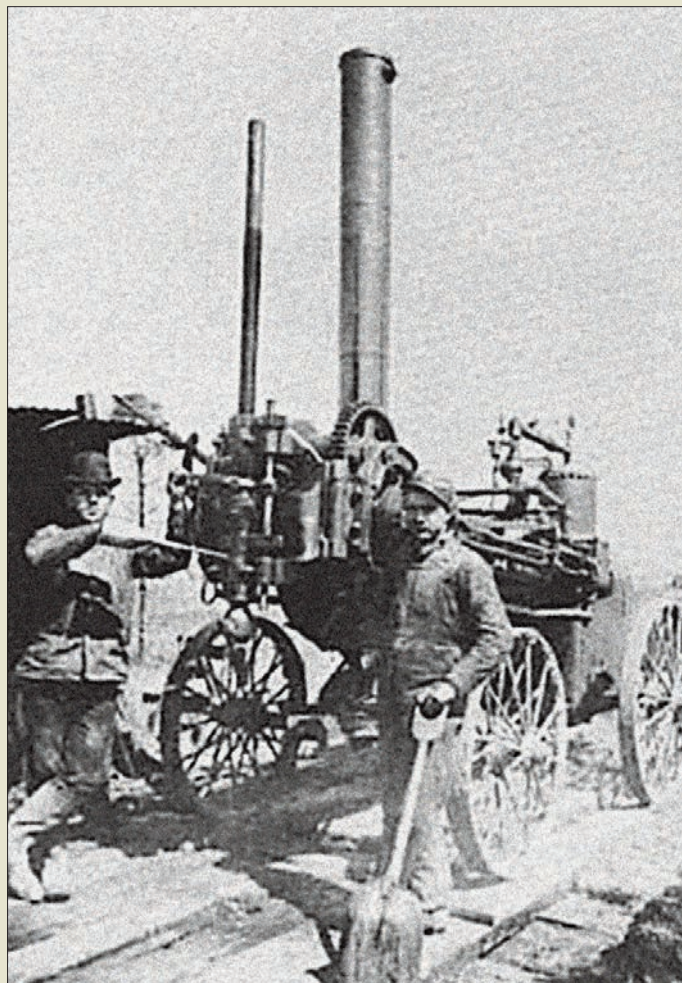
Jádrové vrtání má v paletě maloprofilového vrtání velmi významné místo. První doklad o použití této technologie, nazývané **abrazivní vrtání**, pochází z kamenolomů starého Egypta před asi 5000 lety. Tehdy se ovšem jednalo o velmi mělké vrty. Původní dutou dřevěnou tyč, na spodním konci vytvrzenou opálením, postupně nahradila kovová trubka,

s níž se otáčelo volně rukama nebo těživou luku. Vrtaný povrch byl pod břitem trubky posypáván zrny tvrdých minerálů, například krystaly rubínů nebo safírů; unášení zrn vrtnou trubkou pak zanechávalo ve vrtaném materiálu vrypy. Také se již začal používat pro tuto technologii typický **vodní výplach**. V tvrdých žulách se tak prováděly vrty o hloubce obvykle jen asi 15 cm, ale v měkkých horninách až do 6 m. Takové mělké vrtání se mimo jiné často využívalo rovněž pro výrobu uměleckých kamenných nádob z velmi tvrdých hornin. Jelikož toto řemeslo bylo vázáno především na mimořádné požadavky velkých projektů té doby, jako byly pyramidy a chrámy, technologie se po zániku teokratické říše dále nevyvíjela.

Uvedený princip vrtání v zásadě stále odpovídal i o několik tisíc let později užívané technologii tzv. **jádrového vrtání na šrot**. Jádrovnice unášela v ozubech na břitu svrchu dávkovanou drť tvrdých kovů. To byla poměrně dlouhou dobu jediná účinná metoda u hlubších vrtů ve velmi tvrdých horninách. Každopádně náročné experimenty s jádrovým vrtáním stanovovaly odborné parametry, jež vedly k teorii rotačního vrtání. Jedním z nich bylo, že efektivní postup jádrového vrtání vyžaduje vyšší vrtné otáčky. Vodní výplach bylo neúčinnější přivádět středem soutyčí přímo k břitu vrtné korunky kolem odvrátaného jádra. Odvrtná jámna měl se vyplachovala mezerou mezi vnějším pláštěm jádrovnice a stěnou vrtu, proto musel mít vlastní břit korunky poněkud větší průměr nežli plášť jádrovnice. Odvrtné horninové jádro bylo odlamováno a vynášeno různě zkoušenými způsoby především se snahou o jeho minimální porušení, aby bylo možno horninu následně posoudit. Z těchto technologických požadavků vyplýval i odlišný vývoj konstrukce k tomu potřebných vrtných nástrojů a prostředků.

K velmi podstatnému pokroku došlo roku 1863. Při experimentování s vrty pro odstřel v již zmiňovaném tunelu Fréjus francouzský inženýr **Rodolphe Leschot** vynalezl vrtání s břitem osazeným **diamanty**. Vynález si v témže roce patentoval i v USA (obr. IV. 21).

Ačkoli již v roce 1865 údajně probíhaly zkoušky s tímto způsobem vrtání na naftových vrtech v Pensylvánii, není pravděpodobné, že zde existovala přímá souvislost s evropským vynálezem. Leschot přivezl svou vrtnou soupravu do USA až v roce 1869 pro lomařské práce ve Vermontu a dalších státech. Nejširšího uplatnění dosáhlo jádrové vrtání v USA při průzkumných vrtech pro rudné doly (obr. IV. 22).



Obr. IV. 22: Parou poháněná jádrová vrtačka nasazená na provádění průzkumných vrtů v dole na olověnou rudu v Missouri v dubnu roku 1869, propagovaná později firmou Ellison. Nalevo páka hřebenového ručního přitlaku; upínací svěry vřetene byly také jen mechanické.



Obr. IV. 23: Souprava Longyear 34 Coredrill – typický a populární zástupce jádrovacích vrtných souprav v druhé polovině 20. století. Přítlak i svěry vrtného vřetene jsou již hydraulické.

Významnou měrou se o další vývoj této technologie zasloužil americký důlní inženýr **Edmund J. Longyear**. V roce 1890 odvrstal na ložisku železné rudy Mesabi Range v Minnesotě první jádrový vrt s diamantovou korunkou. Během následujících dvou desetiletí se pak jeho firma stala nejznámějším dodavatelem jádrových vrtů i mimo USA. Roku 1912 již nabízela 19 typů vrtných souprav s hloubkovým dosahem až 1500 m. Reagovala též na poptávku po soupravách uzpůsobených pro vrtání ve stíněných rozměrech důlních štol a mezi prvními též zavedla pohon spalovacími a elektrickými motory. V roce 1929 dosáhl prodej jejích speciálních kompaktních souprav tehdy v branži ohromujícího objemu 1,5 milionu dolarů. Tyto soupravy se staly na dlouhou dobu modelovým vzorem pro všechny ostatní výrobce, přičemž byly neustále vylepšovány. Typickým rysem všech jádrových vrtaček zůstala **průchozí vrtná hlava** s hydraulickými svěrami na dutém unášecím vřetenu vrtného soutyčí. Původní ruční pákový přítlak také nahradily hydraulické válce (obr. IV. 23).

Jako první zahájila tato firma v roce 1930 mechanickou výrobu korunek osazovaných levnými jihoafrickými diamanty označovanými **boart** a přešla rychle i na jejich průmyslovou výrobu. Postupně také byly drahé diamanty na vrtném břitě nahrazovány roubíky ze slinutých karbidů v závislosti na druhu vrtné horniny. Další důležitou inovací byl v roce 1958 vynález tzv. **wireline systému** na vytěžení jádra vnitřkem vrtného soutyčí bez nutnosti vytěžit celé soutyčí. A roku 1974 pak firma zavedla syntetické diamanty a jimi impregnované břity. V té době se přejmenovala na **Boart Longyear**, uskutečnila celou řadu různorodých akvizic a dodnes je velmi významným výrobcem zařízení pro jádrové vrtání.

V Evropě je zavedení obdobných vrtných souprav spojeno se jménem švédského inženýra **Pera Antona Craeliuse**, který v roce 1886 po nabytí bohatých zkušeností z cest po USA navrhl první kompaktní vrtnou soupravu do štol a v roce 1895 začal používat diamantové korunky. Založil tradici švédského vrtného průmyslu, v němž mezinárodně vynikla v šedesátých letech firma Hagby Bruk (viz obr. VI. 90). Na tyto úspěchy navázala švédská společnost AtlasCopco, která je dnes v této oblasti největší mezinárodní firmou.

Obr. IV. 24: Průzkumné vrtání jádrové „na šrot“ pro výstavbu Slapské přehrady na Vltavě, prováděné firmou Belada v roce 1928. Sestavu vrtačky a výplachového čerpadla poháněla motorová lokomobila Slávia (Z. Bauer).



Obr. IV. 25: Jádrové vrtání plně hydraulickou soupravou Diamec 250 firmy AtlasCopco pro sanaci nadloží před ražbou traťového tunelu metra A pod Vltavou v roce 1973 (Zakládání staveb, a. s.)

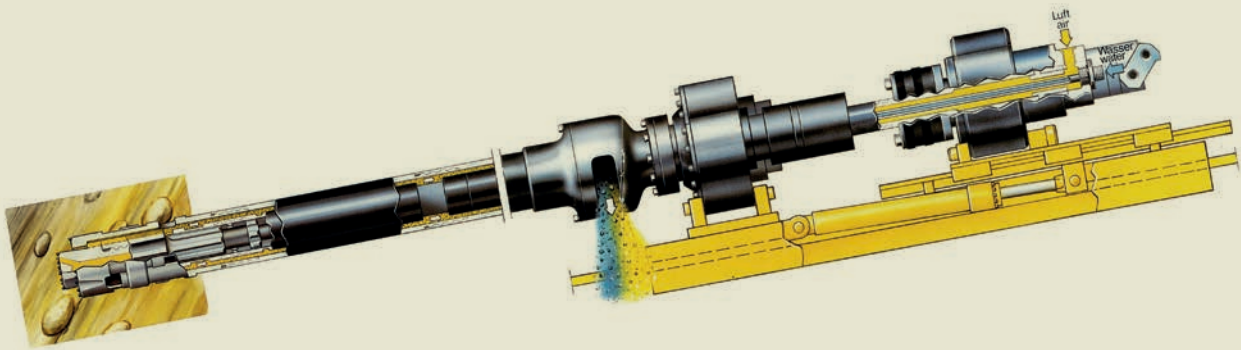


U nás držely firmy za první republiky v podstatě krok se světovým vývojem a používaly technologie vrtání odpovídající obvyklé světové úrovni (obr. IV. 24). V poválečné ČSSR se ale už ke starším západním jádrovým vrtačkám renomovaných výrobců jen doplňovaly převážně méně kvalitní sovětské soupravy typu ZIF či UKB a korunky Vokar. Výrobem obstojných korunek se v té době stal podnik Pramet Šumperk. Zájem byl pochopitelně především o kvalitnější, ale méně dostupné importované výrobky světových značek, ty však byly pořizovány jen pro výjimečné stavby (obr. IV. 25).

PAŽNICOVÉ VRTÁNÍ

Tato moderní technologie se vyvinula na základě specifických zkušeností se zavrtáváním úvodních výpažnic většího průměru (na rozdíl od maloprůměrových pažnic) při vrtání studní. S postupným shromažďováním dalších znalostí i z jiných oblastí vrtání, především z vrtání jádrového, se dospělo k systémům vrtání přímo pažnicí. Hlavní impuls přišel po 2. světové válce z Itálie, kde se při rekonstrukci zničených budov intenzivně zkoušelo vrtání s pažnicí přes jejich stávající zděné základy.

V principu šlo o jádrové vrtání se současným rozrušováním a odvrtáváním jádra na čelbě vrtnu. Při řešení prvotních problémů s častým zakliňováním nástrojů v kusovitě rozrušeném tvrdém materiálu se časem vyvinuly vysoce účinné technické systémy vrtných souprav vybavených dvěma sousými vrtnými hlavami, pro něž se vžil název **Duplex**.



Obr. IV. 26: Schéma vrtného systému Duplex firmy Klemm z roku 1991 označeného jako Super Dual Impact. Pažnici pohání spodní průchozí hlava a horní nasazená hlava pohání vnitřní soutyčí s použitím ponorného kladiva.

Princip tohoto systému spočívá v rotaci pažnice protiběžně vůči vnitřnímu vrtnému soutyčí, čímž je účinně bráněno vzájemnému zaklínění. Prvenství v zavedení metody Duplex si nárokuje firma AtlasCopco, která ji použila koncem padesátých let na stavbě průplavu Lindö v jižním Švédsku.

K tomuto logickému vývoji se dospělo přibližně ve stejné době na různých místech a obdobné systémy Duplex nabízelo v modifikacích mnoho firem, například Boart Longyear nebo Krupp. Nejznámější se stala koncem osmdesátých let vrtná souprava typu KR 806 D německé firmy Klemm s modifikací pro možnost použití vrchního nebo dolního přiklepu ponorným kladivem (obr. IV. 26).

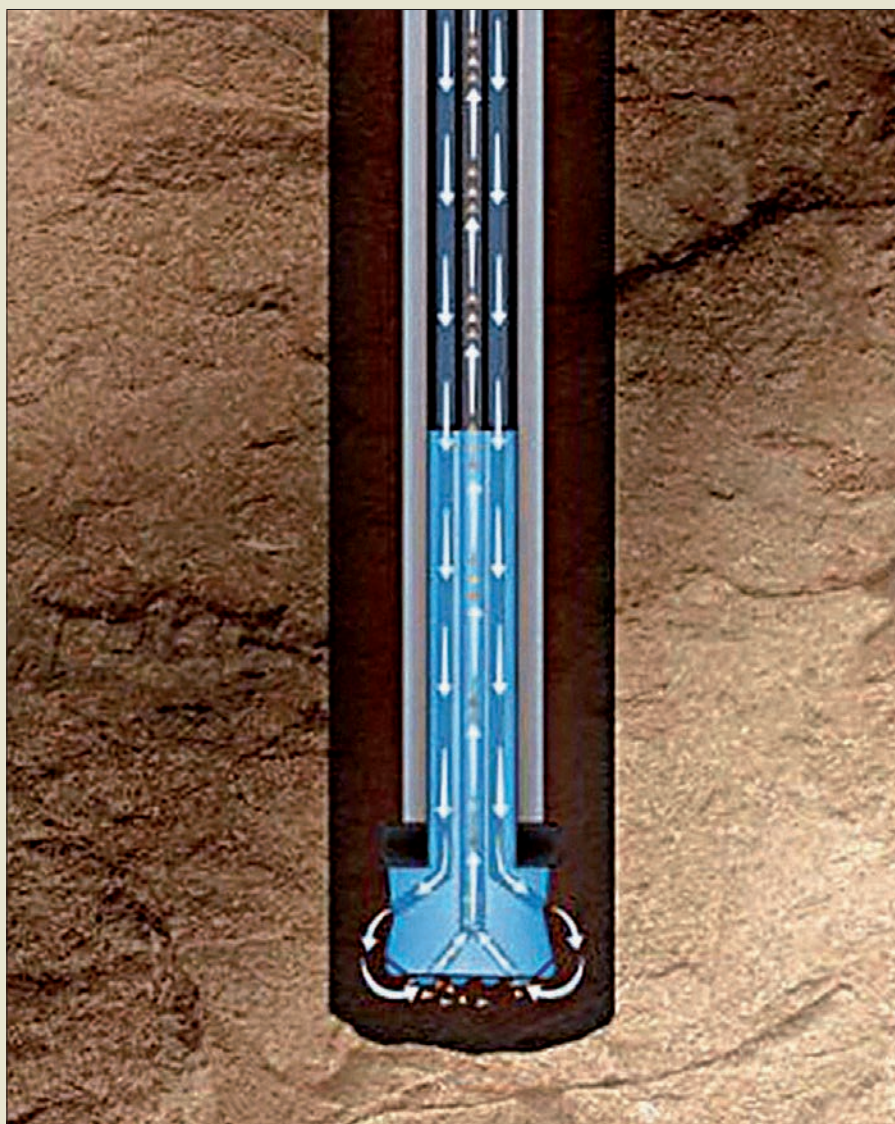
Další vysoce výkonné pažnicové systémy pak vznikly z kombinace s ponorným kladivem, vlekoucím za sebou průběžnou, ale nerotující pažnici. Příkladem je systém **Odex**, vyvinutý společně firmami AtlasCopco a Sandvik v roce 1972, a novější systém **Symmetrix** společnosti AtlasCopco v devadesátých letech při vrtání morén ve Finsku (obr. IV. 27).

Existovala i řada systémů od jiných výrobců, napodobujících tyto vzory a snažících se je dále vylepšit. Šlo o vysoce efektivní technologie do tvrdých, ale nestabilních geologických poměrů.

Obr. IV. 27: Pažnicová korunka o průměru 114,3 mm a vrtná korunka ponorného kladiva, systém zavlékané pažnice Symmetrix společnosti AtlasCopco z roku 2000



Obr. IV. 28: Princip ponorného kladiva s reverzní cirkulací prostřednictvím dvouplášťové pažnice švédské firmy Driconeq z konce 20. století



Důležitou inovací ve vývoji pažnicového vrtání bylo v polovině devadesátých let zavedení **reverzní cirkulace vzduchového výplachu** u ponorného kladiva. Princip spočívá ve využití pažnic se zdvojenou stěnou – v mezeře mezi stěnami pažnice probíhá přívod vzduchu na kladivo, umožňující kontrolovaný odvod výplachu s odvrtanou horninou vnitřkem pažnice (obr. IV. 28). Původním účelem bylo dosáhnout dokonalé čistoty odebíraných vzorků vrtné drti pro rychlý ložiskový doprůzkum. Přínosem je ale i čistota stěn vrtu, výhodná pro využití k následné injektáži. Se speciálními kompresory bylo možno zvýšit provozní tlaky vzduchového média až na 100 bar a dále tak zrychlit postup vrtání.

Právě tato výkonná technologie vrtání byla v roce 2010 klíčem k rychlému zřízení komunikačních vrtů při dramatické záchraně 33 zavalených chilských horníků. Po týdnu marných pokusů vstoupit do havarovaného dolu bylo povoláno 9 různých vrtných souprav k provedení kontaktních vrtů o průměru 136 mm do místa, kde se v hloubce asi 700 m odhadovala poloha zavalené skupiny. Situaci navíc ztěžovala skutečnost, že tvrdost místního granitu je o 20 % větší než obvykle. Irská firma Mincon proto dodala speciální nový typ kladiva MX 5053 s pažnicemi pro reverzní cirkulaci. Při nepřetržitém vrtání, během něhož několik vrtů havarovalo, se podařilo až patnáctým vrtem horníky sedmnáctý den od závalu nalézt (obr. IV. 29).

Tento důležitý vrt prováděla americká souprava Schramm T685 chilské firmy Terraservice. Byl rozhodující pro navázání spojení a nasměrování dalších vrtů, kterými se pak dostávaly k zavaleným horníkům zásoby až do jejich záchráně (viz str. 85). Podle odhadu činil průměrný výkon vrtání na jednu soupravu v těchto mimořádně kritických podmínkách zhruba 200 m za den. Dočasné špičkové výkony v rychlosti vrtání tak musely být násobné!

OBRÁZEK BYL Z REDAKČNÍCH DŮVODŮ VYŘAZEN

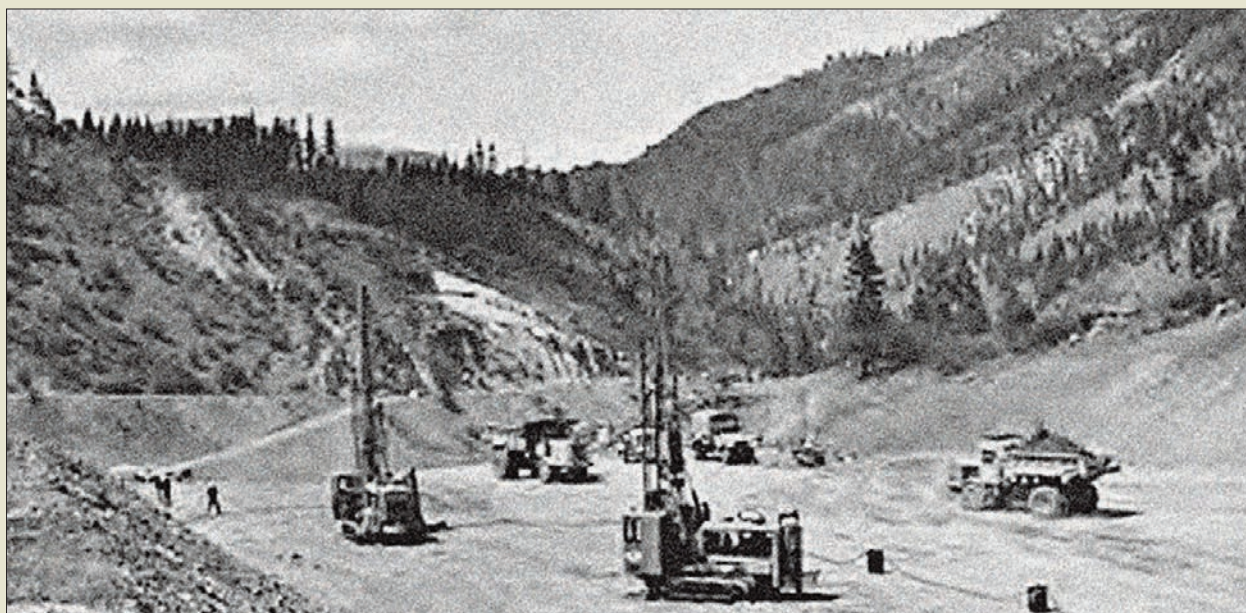
Obr. IV. 29: Vrtání komunikačních vrtů pro nalezení zavalených horníků v Chile roku 2010. K vrtání v tvrdém granitu do hloubky 700 m byly nasazeny vrtné soupravy s technologií ponorných kladiv s reverzní cirkulací.

Pažnicové vrtání se stalo v prvním desetiletí 21. století technologickým vrcholem malopřůměrového vrtání. Tím, že mimo jiné umožňuje spolehlivou instalaci základového prvku do pažnice ve vrtu, rychle prostoupilo téměř všechny metody speciálního zakládání. Výrazně také posílilo například relativně nedávnou technologii **usměrněného horizontálního vrtání**, prováděného zpočátku pod hustým výplachem. Nahrazení výplachu pažnicemi umožnilo použití i na zeminy nedostatečně stabilní.

Na začátku našeho století se také začala prosazovat specifická varianta pažnicového vrtání s jádrováním zvaná **Sonic-drilling** (viz str. 28). Jedná se o vrtání pomocí vysokofrekvenční vibrace. Její průmyslové využitelnosti bylo dosaženo teprve s pokrokem výroby mimořádně kvalitních materiálů a elektronické regulace vrtného procesu. Nesrovnatelně vysoká výkonnost tohoto investičně velmi náročného vrtání vedla od prvotního zapojení v oblasti lomařství a průzkumu nerostných surovin i do metod speciálního zakládání (obr. IV. 30).



Obr. IV. 30: Moderní souprava pro vrtání metodou Sonic-drilling vybavená obzvláště robustní lafetou s vrtnou hlavou pro vysokofrekvenční vibraci v roce 2010



Obr. IV. 31: První samohybné vrtné lomařské soupravy *Quarrymaster* firmy *Ingersoll-Rand* z roku 1948 v USA

VRTACÍ SOUPRAVY

Potřeba sjednocení více technologií vrtání do systému jedné samohybné soupravy ovlivnila další vývoj v závěru čtyřicátých let. Tehdy byl úspěšně využit stlačený vzduch jako výplachové médium i k prostému rotačnímu vrtání. Různé způsoby vrtání se tak začaly kombinovat na jednom pracovišti. Ve vhodných geologických podmínkách bylo možno nahradit dosavadní užívání vody výhodněji vzduchem, někdy bylo nezbytné oba způsoby střídat. To vedlo ke koncepci univerzální vrtné (užíváno jako synonymum k vrtací) soupravy, která se prosadila nejdříve v USA. Zde vyvinula v roce 1948 firma *Ingersoll-Rand* první lomařskou **samohybnou vrtnou soupravu *Quarrymaster*** s již typickými znaky moderních souprav, tj. s vysokou věží nahoře opatřenou rotační hlavou posuvnou na saních lafety, umožňující vyvodit potřebný přítlak na vrtný nástroj. Na pásovém podvozku pro stabilitu i pohyb v těžkém terénu. Vestavěný kompresor navýšil celkovou hmotnost soupravy na 20 t a přispěl ke kapacitě přítlaku. Souprava byla schopna vrtat přiklepem nebo rotačně valivými dlaty o průměru až 20 cm (obr. IV. 31).



Obr. IV. 32: První univerzální vrtná souprava *E9* firmy *Hausherr* z roku 1959 se shora nasazenou vrtnou hlavou na soutyči



Obr. IV. 33: Vrtání těžkou zásobníkovou soupravou Hausherr HBM 150 s dlouhým průběžným šnekovým vrtákem o průměru 140 mm do hloubky 120 m v jílech hnědouhelného revíru pro sanaci dolu na přeložce trati ČSD Ústí nad Labem – Teplice v roce 1979 (Zakládání staveb, a. s.)

V roce 1953 pak následovala první plně **hydraulická souprava Drillmaster**, která sloužila jako vzor pro všechny ostatní univerzální soupravy ve světě, například i pro první stroje tehdejší západoněmecké firmy Hausherr. Tato známá společnost je rovněž typickým příkladem historických proměn, ke kterým často v tomto druhu podnikání docházelo. Vznikla roku 1917 jako továrna na mechanismy pro povrchové doly. V roce 1959 vyvinula první těžší univerzální vrtnou soupravu E9 na pásovém podvozku s lafetou (obr. IV. 32).

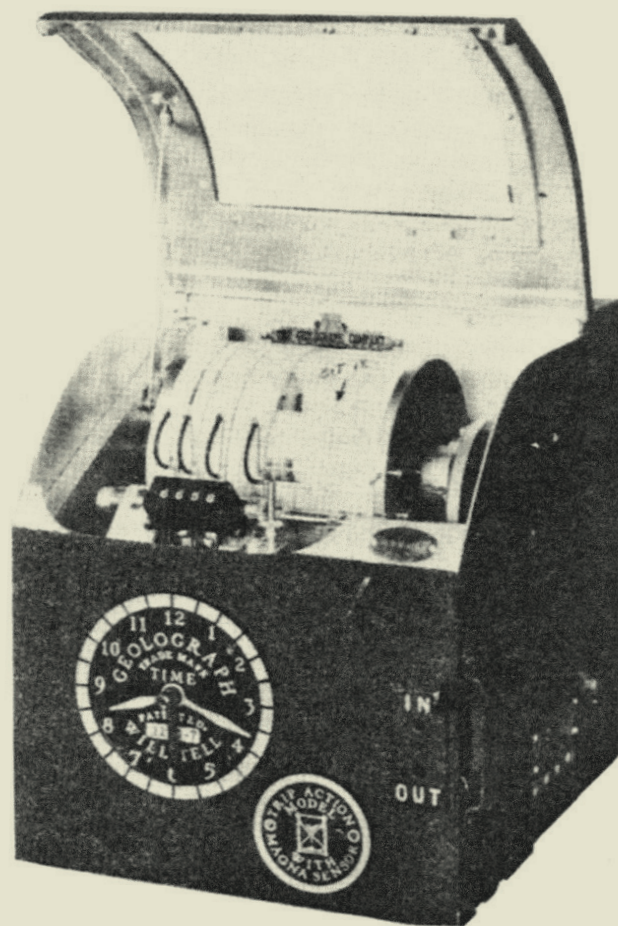
Roku 1988 expandovala a převzala vrtnou divizi firmy Demag, k čemuž v roce 1992 připojila akvizici vrtné divize společnosti Salzgitter. Ji samotnou nakonec v roce 2009 převzala firma Bauer. Stovkami podobně se křížících firem bylo na celém světě v průběhu jednoho sta let rozvoje technologií maloprofilového vrtání vyvinuto a vyrobeno na tisíce různých vrtných souprav. Mnohé byly uzpůsobeny pro užití všech systémů vrtání nebo i k jejich kombinaci jak pomocí průchozí hlavy, původně typické pro jádrové vrtání, tak i nahoře nasazené vrtné hlavy, původně typické jen pro přiklepné vrtání.

V tuzemsku se používání moderních vrtných souprav omezovalo na výjimečné importy pro zvláště důležité projekty. Na těch pak bylo dosahováno srovnatelných technických výkonů. Příkladem je provádění sanací starých hlubinných dolů pro výstavbu nové dopravní infrastruktury v severočeském hnědouhelném revíru v sedmdesátých letech (obr. IV. 33). Díky silné vrtné soupravě bylo možné dobře manipulovat s dlouhým soutyčím i při jeho celkovém naplnění vývrtem.

Monitoring procesu

Důležitou podmínkou pro zdokonalování vrtných technologií byla možnost sledovat, měřit a vyhodnocovat parametry vrtných procesů v jejich průběhu. Nejprve byla zavedena mechanická, pak elektrická a nakonec **elektronická instrumentace**. Ta umožnila přesně sledovat zejména hloubku vrtu, otáčky, přítlak, průtok výplachu a dokonce je zaznamenávat. Veškeré parametry se daly od osmdesátých let okamžitě počítačově vyhodnocovat. Tento trend se zprvu uplatnil v naftovém průmyslu (obr. IV. 34), ale některé firmy speciálního zakládání ho zachytily již v jeho počátku.

Obr. IV. 34: Mechanické zařízení Geograph pro záznam vrtného postupu na naftovém vrtu používané v sedmdesátých letech v USA



Například na začátku osmdesátých let zavedla francouzská firma Soletanche, která měla v té době i divizi na naftové vrtání, komplexní systém Enpasol pro automatické vyhodnocování geotechnických podmínek prostředí z výsledků **monitoringu vrtání**. To vedlo ke vzniku mnoha dodavatelů obdobné specializované techniky. Jedním z největších se stala francouzská firma Jean Lutz, založená v roce 1975.

Dokladem toho, že lze i v konkurenci s takto etablovanou firmou uspět, ovšem jen při mimořádné technické kompetenci a pracovitosti, je česká firma Partner, založená v devadesátých letech inženýrem **Michalem Březinou** (obr. IV. 35).



Mikrotechnika a komputelizace postupně našly v technologiích vrtání své široké uplatnění. V posledních desetiletích dokonce začala počítačová kontrola procesu nahrazovat zkušenost starých vrtmistrů. Dřívější upřené pozorování kolotajícího výplachu na ústí vrtu v nepřehledném terénu tak je vytlačováno občasným pohledem na grafy sdruženého displeje monitorovacího systému.

Obr. IV. 35: Počítačová kontrola procesu vrtání kotev přes displayové ovládání zařízení firmy Partner na stavbě speciálního zakládání v roce 2013

Č Á S T B

VELKOPRŮMĚROVÉ VRTÁNÍ

Historické počátky

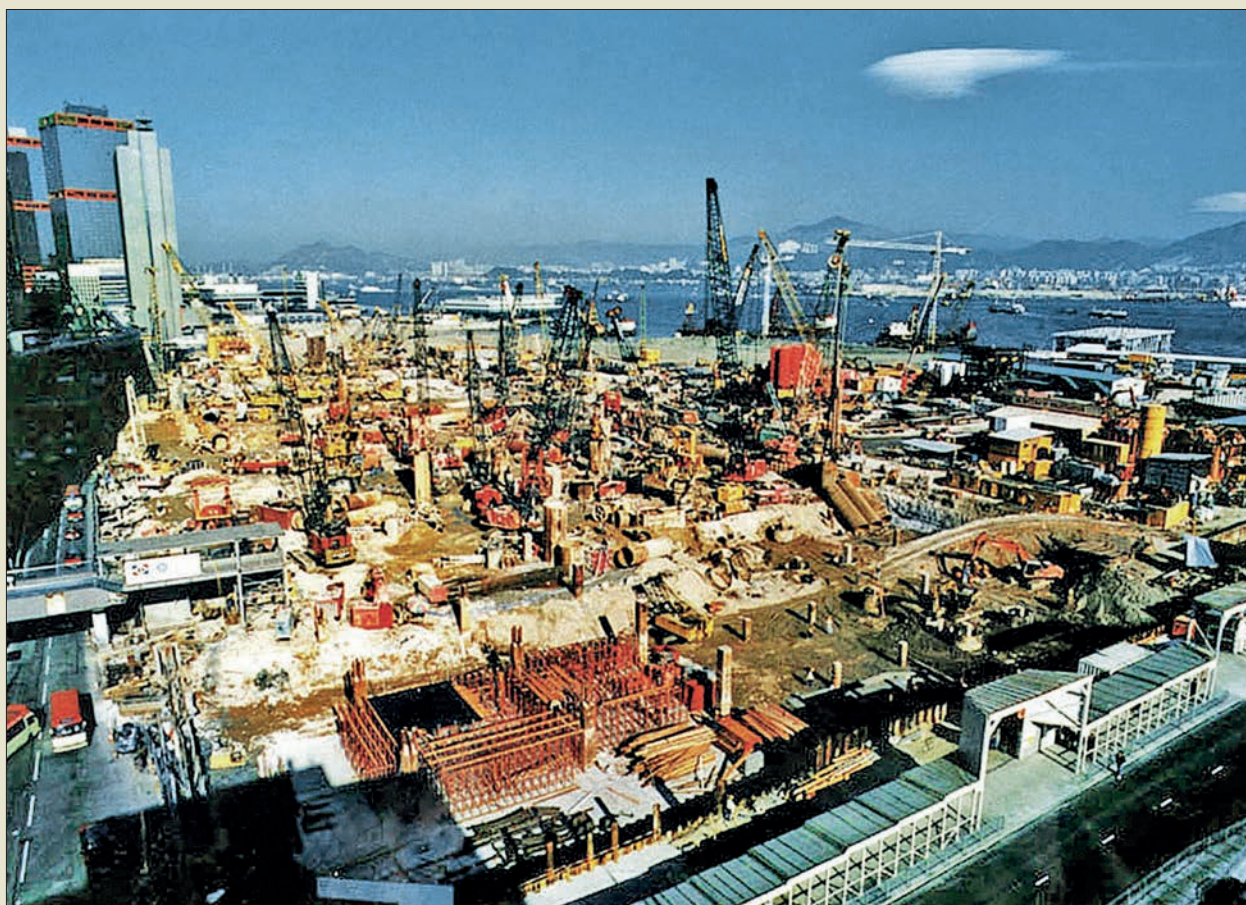
V předchozí části kapitoly jsme se zmínili o archaickém způsobu vrtání nárazovým jádrováním bambusovou trubicou pro použití ve vhodné zemině. Dokonce ještě dnes se tak leckde v Asii hloubí i velkopřůměrové otvory pro piloty, které pak stačí jen vybetonovat. Provádí se to postupným překrývaným jádrováním na větší ploše. Uplynula pak velmi dlouhá doba, kdy se vrtalo jen nárazově na lano malými průměry, než se v 19. století objevila verze velkopřůměrového nárazového vrtání. Až teprve tehdy to umožnila silná mechanizace.

Velkopřůměrové vrtání se vyvíjelo nejprve pro potřeby budování kapacitních studní pro vodu a později také pro alternativní způsoby zřizování důlních šachet. Znalosti a zkušenosti maloprofilového vrtání poskytly základnu pro experimenty se zvětšováním průměru vrtu a pro postupný přechod k vrtání velkopřůměrovému. Proto jsou téměř všechny jeho způsoby ekvivalentem vrtání maloprofilového.

Různé vrtné technologie se postupně zapojovaly v souvislosti s vývojem mechanismů hlavně pro zřizování vrtaných pilot. Ty se obvykle až na výjimky zařazují v moderním světovém názvosloví podle anglického obecného názvu mezi metody **replacement**. Znamená to, že při instalaci základových prvků dochází k odtěžení původní základové půdy a jejímu nahrazení jiným materiálem.

Jelikož se nejprve jednalo v podstatě o technologii obdobnou hloubení, vysvětluje to, proč se pro ni dlouhodobě užívalo označení „hloubení vrtů pro piloty“, dnes již zastaralé. Existují ovšem názvoslovné výjimky, jak dokládá například stavba stanice metra v Hongkongu, kde se uplatnily nejen vrtané piloty obvyklého kruhového průřezu, ale také **pilotové elementy** obdélníkového průřezu, skutečně hloubené drapáky a hydrofrézami (obr. IV. 36). Využily se tak mechanismy nasazené při budování obvodových podzemních stěn. Vlastní okruh činnosti hloubení ale pojednává podrobněji až kapitola V., toto je pouze ukázka, jak pestře se tato technologie rozvinula.

K úzkému technologickému spojení velkopřůměrového vrtání s pilotováním došlo po zavedení **železobetonu**. Při zřizování prvních velkopřůměrových pilot, jimž se zpočátku říkalo šachtové pilíře, nevyužila náhradní výplň vytvořeného otvoru zcela dané možnosti. Prvním typem takových ojedinělých základů byly ručně kopané studny neboli hloubené šachty, které se od roku 1887 obzvláště rozšířily v americkém Chicagu. Tehdy se ještě plnily zdivem nebo prostým betonem. Podařilo se však rychle překonat počáteční nedůvěru k funkci hlubinných základů, když se prokázala možnost



Obr. IV. 36: Stavenišťe s velkým podílem pilotovacích souprav mezi mechanismy různých technologií – stanice metra Central Station Hongkong v roce 1996

přenést velká koncentrovaná zatížení z horní konstrukce hluboko do kompetentních únosných vrstev základové půdy. Obzvláštní zásluhu na tom měl místní inženýr **William SooySmith**. Prudké tempo výstavby konkurujících si výškových budov u hlubinných základů ukázalo výhodu malého sedání, proto se od roku 1905 všeobecně užívaly a rychle se šířily do jiných míst i do světa. Betonová a poté železobetonová výplň tomu svou vysokou únosností nesmírně napomohly. Připomeňme, že přírodní cement sice znali již ve starém Římě, ale jeho užití upadlo na dlouhá staletí v zapomnění. Nově vynalezl výrobu cementu teprve v roce 1824 Angličan Joseph Aspdin. A tzv. portlandský, hydraulický cement se začal ve stavebnictví běžně používat až kolem roku 1850. Největší zásluhy na zavedení železobetonu se přičítají experimentování francouzských inženýrů v letech 1860 až 1870, z nichž François Hennebique položil v roce 1879 vědecké základy jeho navrhování.

Nástup moderní geotechnické vědy

Na příkladu vrtaných pilot lze ukázat úspěšné zrození nové moderní vědy počátkem 20. století, odpovídající požadavkům doby. Potřebu geotechniky si sice vynutily především nové grandiózní projekty železnic, mořských průplavů, přehrad, mostů přes mořské úžiny a podobně, ale své naléhavé potřeby měl i městský urbanismus. Jejich řešení nalézal právě ve vrtaných pilotách. S tím byla spojena i poptávka po jejich spolehlivém navrhování, které vyžadovalo patřičnou odbornost, podloženou nezbytně i teoretickou vědou. Již nešlo, tak jako tomu bylo u beraněných pilot, využít praktickou zkušenost z odezvy instalace piloty. U ražených pilot se tak pro návrh dlouho používaly jen vylepšované empirické vzorce s jednoduchým výpočtem podle sledování vniku piloty při závěrečných úderech.



Obr. IV. 37: Stavba s vrtáním pilot několika soupravami trojnožek klasickým nárazovým způsobem pomocí elektrického lanového vrátku, jímž byly také osazovány armokoše staveniště Bone Centrale firmy Soletanche, Francie, 1950.

U vrtaných pilot ale bylo nutno vymyslet **návrhové metody nové**. Na základě tehdy čerstvých poznatků o mechanice zemin a hornin, získaných obzvláště ze zkušeností s plošnými základy, se na začátku 20. století nejprve začaly používat statické vzorce pro svislou únosnost paty piloty a později také pro únosnost jejího pláště. Vycházelo se zejména z prací průkopníků nové vědy, jako byl původem rakouský profesor **Karl Terzaghi** (viz str. 290).

Stále narůstající poptávka po vrtaných pilotách si ovšem naléhavě vyžádala další vylepšování návrhových postupů. Výběr metody vrtaných pilot nezáležel jen na umění vybrat vhodný typ a technologii instalace do daných podmínek, ale také na předpovědi chování piloty ve spolupůsobení zatížení a základové půdy při uvažování technologických vlivů provádění. Proto se závěrem 20. století přešlo k výstižnějším pružně plastickým formulacím přenosových funkcí zatížení do základové půdy. Mohlo se tak ale stát až poté, co se po nějaký čas zkoumalo komplexní chování pilot. Svými výzkumy v šedesátých letech tento posun inicioval zejména význačný francouzský inženýr **Jean L. Kérisel** a americký profesor **A. S. Vesic**, a to i pro vodorovné či skupinové zatížení. Důležitý byl hlavně Vesicův přínos, který přišel s myšlenkou, že hlavním činitelem návrhu je deformace konstrukce. Na konci století patrně největším dílem podnítil propracování teorie australský profesor **H. G. Poulos**. Je třeba uvést, že v posledních desetiletích došlo na tomto poli k zajímavému vývoji. Nové mechanismy a technologie se v praxi objevovaly tak rychle, že předháněly schopnost teoreticky porozumět jejich vlivu na chování pilot a dostatečně účinně je navrhovat.

U nás přispěla k širokému úspěchu metody vrtaných pilot zdejší dobrá úroveň jejich navrhování v závěru 20. století. Vzešla zejména z odborných prací Prof. Ing. **Zdeňka J. Bažanta**, DrSc., ze Stavební fakulty ČVUT. K tomu napomohla i teoretická práce Doc. Ing. **Jaroslava Fedy**, DrSc., z Ústavu teoretické a aplikované mechaniky ČSAV, který rozebíral důležitý vliv technologických účinků. Profesor Bažant vypracoval v roce 1980 spolu se svým žákem, pozdějším Doc. Ing. **Janem Masopustem**, CSc., novou návrhovou metodu, založenou na pragmaticky inženýrském vyhodnocení zatěžovacích zkoušek vrtaných pilot. Tento originální přístup k lokální databázi s více než 220 případy byl tehdy základem metody nejvyšších evropských i světových kvalit.

NÁRAZOVÉ VRTÁNÍ

Pro skutečně velkopřůměrové vrtání pilot se od poloviny 19. století nejprve využívala technologie nárazového vrtání na laně. Přejít k velkým průměrům zde byl nejsnazší, protože stačilo zvětšit průměry jednoduchých nástrojů dřeva a kalovky. Vrtnou soupravu přitom nadále tvořily jen silnější trojnožka a vrátek, tentokrát poháněný silným zdrojem parní, pneumatické či později elektrické energie. Tímto způsobem se ve své době realizovaly i velké projekty při obdobné hustotě pilotovacích souprav na staveništi jako při beranění (obr. IV. 37).

Ještě dnes se tento jednoduchý, ale pomalý způsob dosud využívá v odlehlých oblastech v rozvojových zemích (tzv. tripod drilling) nebo v obzvláště nepřístupných místech, kde zarážena a vytloukaná krátká výpažnice vyhovuje nárokům (obr. IV. 38).

Postupně však byly k tomuto principu vyvinuty **jednolanové** i **dvoulanové nárazové drapáky** pro těžbu z výložníku jeřábového nosiče. K tomu se pak přidaly pomocné **hydraulické oscilátory**, sloužící pro zatlačování i vytahování robustních, snadno nastavovatelných **dvouplášťových výpažnic**. Jedním z počátečních typů těchto vrtných souprav byly koncem třicátých let modely firmy Benoto (obr. IV. 39).

Po několik desetiletí na trhu převládaly podobné soupravy od různých výrobců, jako například německý Bade nebo obdobné stroje německého systému Hochstrasser-Weise pro speciální instalaci výpažnice vibračním zarážením příčnými rázy. Udržely se bez podstatných změn s dosahem maximálně do hloubky 30–40 m až dodnes. Ačkoli byla výkonnost drapákové technologie vrtání malá, v určitých podmínkách, jako jsou například hrubé šterky, bylo její použití někdy nenahraditelné (obr. IV. 40).



Obr. IV. 38: Provádění pilot firmou Stent Foundation ve stísněných podmínkách s vrtáním pomocí nízké trojnožky – přestavba dálničního mostu ve Velké Británii roku 1991



Obr. IV. 39: Nárazová drapáková souprava Benoto EDF s hydraulicky zatlačovanými výpažnicemi, firma Soletanche, Francie, 1940

Obr. IV. 40: Drapáková souprava firmy Rodio s výpažnicemi zatlačovanými hydraulickým oscilátorem při práci v hrubých štěrcích roku 1979



Obr. IV. 41: Zapažovací rotátor firmy Leffer RDM-M 3000 pro výpažnice o průměru 3 m do hloubek 85 m



Až teprve koncem 20. století se objevila kvalitnější a těžší mechanizace pro dosažení větších hloubek nejen zatlačováním, ale skutečným zavrtáváním výpažnic pomocí hydraulických **rotátorů**. Ty byly postupně schopné pažit svrchní nestabilní souvrství až do hloubky 85 m mnohem většími průměry, dosahujícími dokonce 3 m (obr. IV. 41). Tím si drapáková technologie udržela v metodách vrtání svou zvláštní nezastupitelnou pozici pro nejobtížnější geologické podmínky.

U nás nasadil první drapákovou soupravu Benoto EDF 55 na kráčivém podvozku podnik Stavby silnic a železnic roku 1958 pro založení mostu u obce Petrohrad na silnici Praha – Karlovy Vary. Používala se pak převážně pro zakládání mostů. Podnik Geindustria podle ní vyrobil několik kusů podobných modelů osazených na podvozku nákladního vozu. Modernější typ tohoto technologického systému zakoupil podnik Vodní stavby až v roce 1970 od firmy Bade přednostně pro zakládání pražského metra, ale také dálničních mostů ve zvláště obtížných podmínkách.

ROTAČNÍ CYKlickÉ NÁBĚROVÉ VRTÁNÍ

Nejširšího uplatnění pro vrtání velkopřůměrových vrtů dosáhla metoda odborně nazývaná **řezné náběrové vrtání**. Provádí se nejčastěji pomocí vrtných šneků nebo hrnců. Obdobně jako u nárazového vrtání jde o cyklický postup s přerušením pro vyprázdnění nástroje, ale podstatným rozdílem je zde potřeba přítlaku k rotačnímu naplnění nástroje. Tuto sílu lze přenášet jedině pevným vrtacím dřikem.

Toto bylo známo už od počátků vrtání a traduje se, že lžicový spirálový vrták k vrtání bambusovým soutyčím znali již ve starověké Číně, odkud se rozšířil do světa. Již byla zmínka (viz str. 46) o prvním hlubším evropském maloprofilovém vrtu provedeném kartuziánskými mnichy ve francouzském Lillers roku 1126. Leonardo da Vinci zřejmě kolem roku 1500 převzal pro svůj návrh vrtáku zemin princip Archimedova šroubu pro čerpání vody. Ten však údajně nebyl nikdy použit. Chyběla totiž síla potřebná k vyššímu krouticímu momentu i odolný ocelový materiál. Odtud ale patrně vedla cesta



Obr. IV. 42: Jedna z prvních vrtných souprav pro vrtání pilot s nástavbou na parním bagrjeřábu ve třicátých letech 20. století v USA

k prvnímu dokumentovanému vrtání při pilotování, ač vlastně ještě maloprůměrovému. Uskutečnilo se pro předvrtávání beraněných pilot mostních pilířů v ulehklých siltech na říčním dně ve Francii. Provádělo se, jak dokládají archeologické nálezy, na konci 16. století v Toulouse spirálovým vrtákem ze železa.

V maloprůměrovém vrtání hlubších vrtů se tato technologie dříve příliš nevyužívala pro zdlouhavost postupu kvůli nutnému a pracnému vyprazdňování nástroje. Při zvětšování průměru vrtu se však naopak ukázala jako efektivní, jakmile se pomocí silné mechanizace podařilo vyřešit cyklickou manipulaci s většími, a tedy i těžšími objemy odvrtu v nástroji. Došlo k tomu ve třicátých letech díky dostupnosti dostatečně robustních samohybných nosičů, které umožňovaly sestavení vrtné soupravy. Ta musela mít jak uspokojivou zdvihací sílu pro vytěžení plného nástroje z vrtu, tak robustní otoč pro vyprázdnění nástroje mimo vrt. Zkušenosti pak postupně přispěly k získání a zvyšování potřebného krouticího momentu i přítlaku pro účinný náběh zavrtání.

Zkoušky s novou technologií se nejprve prováděly ve Spojených státech, které v té době nebyly ochromeny hospodářským útlumem po 1. světové válce jako Evropa. Tato technologie vrtání se objevovala již na konci třicátých let zejména v Chicagu při zakládání výškových budov. Obrovská poptávka určovala jasný úkol – dostat se rychle skrze měkkou zeminu na spodní únosnou horninu. K jeho řešení se soustředilo veškeré úsilí. **Pevný rotační stůl**, převzatý z naftového vrtání, byl vyzdvižen na konzolu nosiče, aby bylo možno nástroj vytáhnout až nad hranu úvodní výpažnice a pak se s ním otočit k vyprázdnění. Úvodní výpažnice pro zajištění stability vrchní části vrtu byla od počátku součástí technologického postupu. **Vrtné nástavby** byly obvykle zavěšeny na šikmém výložníku běžného bagrjeřábu (obr. IV. 42).

Původně jen jednoduchá **kelly tyč** nejprve přenášela přítlak vlastní vahou, později tlakem hydraulických válců na principu tření ve vodicích lištách vrtacího stolu. V krátké době byla pak vyvinuta teleskopická verze složené kelly tyče, umožňující vrtat do větších hloubek. V padesátých letech získaly ve výrobě těchto strojů rozhodující převahu americké firmy Hughes, Case Foundation, Calweld a jiné. Důležitým impulzem pro další rozvoj mechanismů bylo široké **zavedení hydrauliky** v šedesátých letech. S touto technologií rovněž přišly různé druhy **vrtných nástrojů** včetně specifických vrtných hrnců do šterku či do skály, jádrováků, skalních šneků apod.

Souběžně probíhal i vývoj vrtných souprav na těžkých automobilových podvozcích se sklupnými vertikálními věžemi. Nejúspěšnější v tom byla americká firma McKinney Drilling, založená v roce 1937, která se spojila s výrobcem Hugh B. Williamsem a od roku 1941 se začala prosazovat na velké části amerického trhu (obr. IV. 43).

To vše se dostalo do Evropy až po 2. světové válce. Největší obchod patrně uskutečnila texaská firma **Watson**, která roku 1965 dodala svému evropskému prodejci celkem 5000 vrtných nástaveb. I jen z tohoto čísla je možno si udělat představu o rozsahu technologického transferu z USA, který v té době za účelem poválečné výstavby Evropy probíhal. Pilotovací rotační vrtné nástavby se na kontinentě začaly vyrábět až poté, co britská společnost **BSP** zahájila v roce 1962 spolupráci s firmou **Calweld**. Roku 1969 pak uvedla na trh svou verzi pod názvem Terradrill.

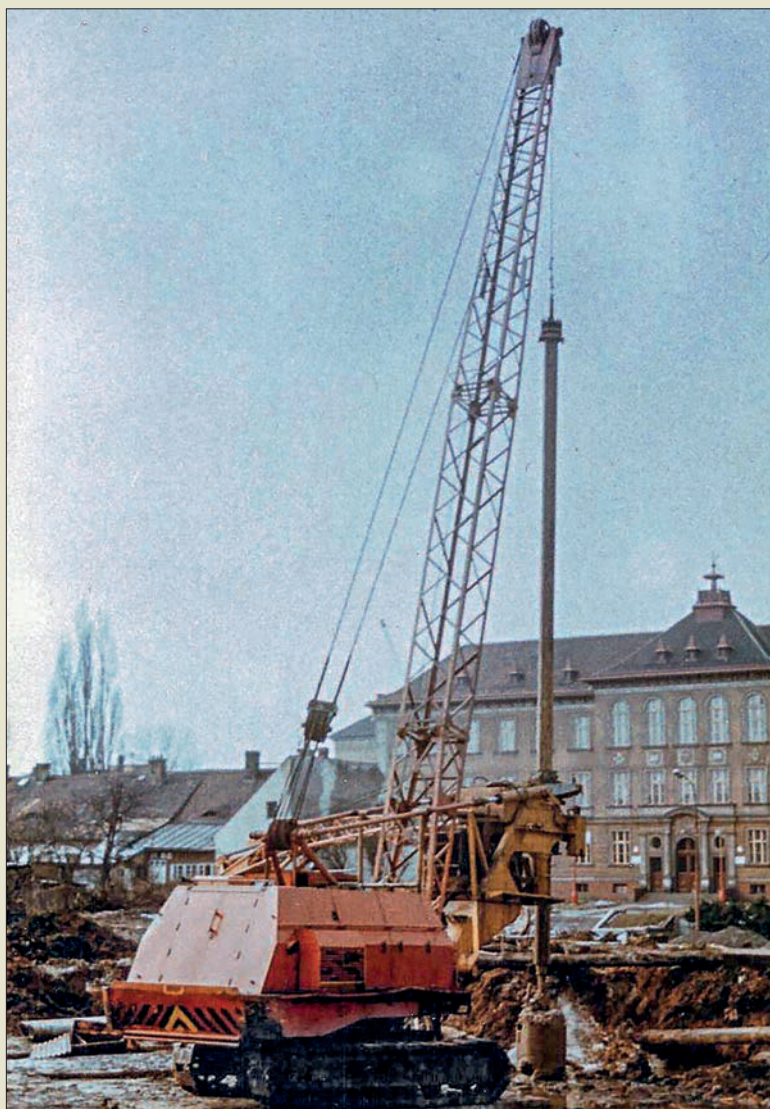
Pažení bentonitovou suspenzí

Po vzoru naftových vrtů se začalo od roku 1929 v USA experimentovat pro zapažení nedostatečně stabilních pilotových vrtů s použitím jílové suspenze. Nešlo však zprvu o výplachové cirkulační vrtání, ale pouze o využití silného pažícího efektu **bentonitové suspenze**. Klíčová pro úspěšné pilotování byla proto schopnost řemeslného odhadu, do kdy je ještě možno vrtat na sucho, než se objeví kavernování stěn a bude nutno vrt napustit pažící suspenzí.

Přinášelo to však nepříznivé druhotné komplikace. Kromě nasazení řady dalších mechanismů – výroby suspenze, čerpadel a čističky – šlo hlavně o mokrý a špinavý proces. Velmi obtížná byla také zpočátku betonáž vrtu pod hladinou suspenze, kde se dlouho experimentovalo s ponorným košem, později i s čerpadlem malty, než se definitivně přešlo na **betonářskou licí kolonu**. Podrobněji pojednává o problémech výplachové technologie kapitola V. (viz str. 135–149).



Obr. IV. 43: Vrtná souprava americké firmy McKinney Drilling na automobilovém podvozku roku 1960



Obr. IV. 44: Vrtání pilot s pažicí bentonitovou suspenzí soupravou Terradrill 1000 na nosiči DH 141 na stavbě sídliště v České Lípě roku 1978

Obr. IV. 45: Vrtání pilot kombinací technologie drapákové těžby se samostatně zavibrovanou výpažnicí a rotační bentonitové technologie v řece Tigris pro založení mostu Jadiriah Bridge v iráckém Bagdádu roku 1982 firmou Rodio



Obr. IV. 46:
 Typická pilotovací
 souprava Bauer BG 25
 se svislou lafetou nesenou
 paralelogramem a s posuvnou
 vrtnou hlavou zavrtávající
 výpažnici roku 2003
 (Zakládání staveb, a. s.)



Přesto se tento nový postup rychle zaběhl, takže již počátkem šedesátých let se v USA prováděly piloty pažené bentonitem o průměrech až 3 m a do hloubek 25 m; koncem sedmdesátých let dokonce až do 60 m. Po několik poválečných desetiletí se technologie vrtání pod ochranou bentonitové pažící suspenze zabydlela i na evropském trhu, zejména v Anglii, Francii a Itálii. A po nějakou dobu také u nás (obr. IV. 44).

V Evropě se udržela jen ve výjimečně výhodných geologických podmínkách, jako jsou například mocné jemnozrné sedimentární formace v Maďarsku. Většinou se přešlo k používání zavrtávaných výpažnic. Od osmdesátých let byla snaha používat pro pažení snadněji odstranitelné polymerové suspenze, dávno známé z naftového vrtání. Jejich použití má ovšem i určité nevýhody, které mohou vést ke zhoršení funkce piloty, proto se prosazovaly pomalu (viz kapitola V., str. 137).

Vrtání se speciálními výpažnicemi

Potřebu dalších inovací vrtání si vynutily chronické technické obtíže s pažením suspenzí v oblastech s hrubými, valounovitými štěrky a při vysoké hladině podzemní vody. V těchto podmínkách přetlak suspenze pro udržení stability vrtu nepostačoval. Jediným řešením problému byly výpažnice. Někdy se tak těžkopádně kombinovaly dvě až tři technologie: samostatná instalace a vytahování výpažnic, oddělené rotační vrtání pomocí pažicí suspenze ve větší hloubce a často i drapáková těžba vrstev štěrků (obr. IV. 45).

Časem se také stupňovala omezení s manipulací, čištěním a likvidací bentonitové suspenze. Později se k tomu připojily i problémy s jejím úplným zákazem v důsledku vyšších požadavků na čistotu prostředí. Ani pažení dočasnými jednoduchými výpažnicemi, instalovanými pomocí samostatného vibrátoru, nebylo mnohdy možné či vhodné.

Uvedené problémy se nejvíce kumulovaly v geotechnických podmínkách Bavorska, a tak nebylo divu, že se očekávaný technický průlom objevil koncem sedmdesátých let právě tam. Šlo o vynález mechanicky **uzamykatelné kelly tyče v posuvné rotační hlavě** na svislé lafetě soupravy, podobně jako tomu bylo u maloprofilových vrtaček. Větší zdvih vrtné hlavy umožnil používat dočasné výpažnice i pro zavrtávání a odpažování vlastním připojeným hydraulickým oscilátorem. Ten do té doby sloužil jen jako přídavné zařízení a převažoval u drapákových souprav. Uplatnily se též dvouplášťové výpažnice, spojované speciálními rychlozámkami. Mezi prvními tuto technologii zavedla v roce 1975 u své soupravy typu B5 západoněmecká firma **Wirth**.

Krátce potom ovšem dotáhla firma Bauer vývoj nové generace silných souprav až k zavrtávání dočasných pažnic samotnou vrtačí hlavou soupravy. Důležitým prvkem zde bylo zavedení nového **paralelogramu** pro spojení vrtné věže a nosiče. To umožnilo vodorovné posuny vrtné věže podle polohy vrtu. Počátkem osmdesátých let tato technologie v německy mluvících zemích zdomácněla. Velmi rychle ji pak přejaly i všechny další světové společnosti, avšak evropské firmy si v této nejmodernější technologii vrtání pilot dlouho udržely primát (obr. IV. 46).



Obr. IV. 47: Doklad o mocnosti krouticího momentu pilotovacích souprav používaných v roce 2010 – čerstvě instalovaný zkroucený I-nosník záporný, zaklíněný při odpažování vrtu

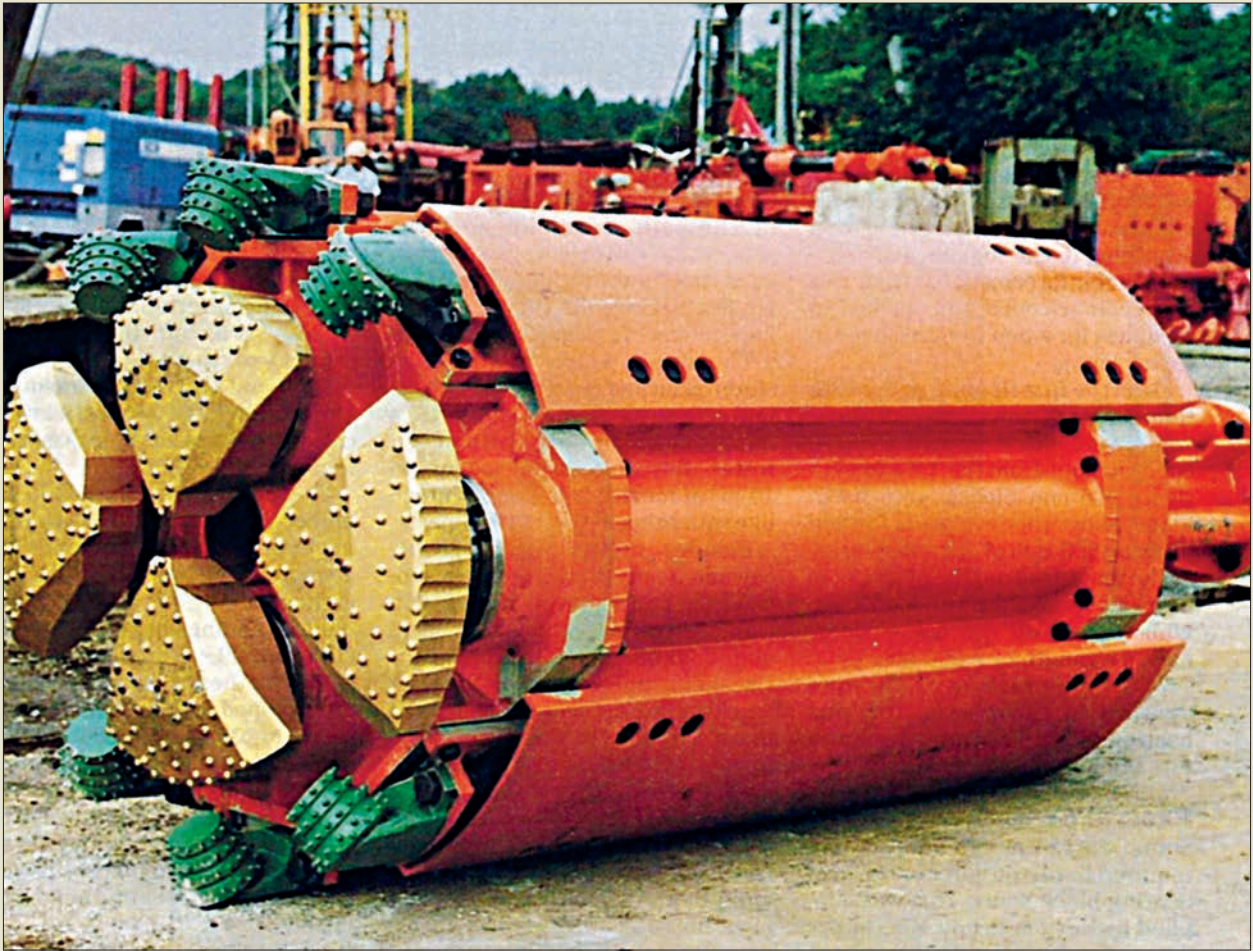


Obr. IV. 48: Zařízení pro zatěžovací zkoušku piloty o kapacitě 25 000 kN na stavbě Sinak Bridge v iráckém Bagdádu roku 1983

Za sto let dospěl rozvoj konvenčního velkopřůměrového vrtání pro piloty do stadia, v němž se v posledním dvacetiletí téměř ustálil na většinovém využívání technologie cyklického náběrového vrtání s pomocnou výpažnicí při dostatečně naddimenzovaném krouticím momentu. Podařilo se při tom dosáhnout zásadního technologického obratu spočívajícího ve výrazném omezení nepříznivých vlivů většiny faktorů vrtatelnosti základové půdy. Tato technologie se tak stala jednou z nejsnazších a nejspolehlivějších ve speciálním zakládání. Obr. IV. 47 ironicky dokládá, jak velké síly začaly být k dispozici i pro zcela běžné práce.

V tuzemsku byla technologie rotačního náběrového vrtání zavedena koncem šedesátých let v době „oblevy“ politického režimu v souvislosti s naléhavou potřebou rychlého zakládání panelových sídlišť. Byl proto uvolněn import západní techniky. Jako první byla do tehdejší ČSSR dovezena vrtná nástavba značky Terradrill pro podnik Geoindustria. Na počátku sedmdesátých let se poměrně rychle rozšířil dovoz i od dalších zahraničních výrobců a tento technologický systém se stal hlavním nosným programem pilotování. Později došlo opět k omezení dovozu s občasnými výjimkami pro zvláště důležité projekty. Roku 1975 tak byla například dovezena pro závod SZS, Vodní stavby, souprava Wirth B5 s oscilátorem k výstavbě strategické cementárny v Práchevích nebo silná vrtná nástavba Calweld 155 CH pro stavby stranického hotelu Praha a Kongresového paláce.

Postupně se tak u nás vytvořilo profesionální zázemí srovnatelné s vyspělými zeměmi. V osmdesátých letech mohly proto některé naše podniky vstoupit i na zahraniční trhy, například v roce 1981 podnik Vodní stavby významně spolupracoval při pilotovém zakládání mostu Jadiriah Bridge v iráckém Bagdádu. Naši odborníci tehdy dosáhli světové



Obr. IV. 49: Vrtný nástroj Mach R100 firmy Tone Boring s průměrem 1 m pro rotační vrtání sružením čtyř vzduchových ponorných kladiv k vrtání ve zvětralé železe roku 1988

úrovně v provádění **zatěžovacích zkoušek** realizovaných vrtných pilot. Podstatně se o to zasloužil Ing. **Petr Bareš**, CSc., výborný statik a inovátor v oboru instrumentace a měření stavebních deformací s bohatými zkušenostmi z přesunu kostela Nanebevzetí Panny Marie v Mostu roku 1974. Podnik Vodní stavby vyrobil unikátní zatěžovací most a nakoupil špičkový elektronický měřicí systém deformací. Tato vysoce odborně připravená akce závodu SZS sklídila mezinárodní uznání. Pracovní skupina pro zatěžovací zkoušky se pak zasloužila o řadu dalších podobných úspěchů (obr. IV. 48).

PONORNÉ Kladivo s CYKlickým VYPRAZDŇOVÁNÍM

Pro vrtání v tvrdých horninách byla snaha odvodit velkopřůměrovou verzi analogicky k vysoce výkonné rotační technologii ponorného kladiva. Vývoj však od počátku narážel na dva zásadní problémy, které prudce narůstaly se zvětšováním průměru vrtu. Bylo to jednak mimořádné namáhání součástí kladiva a vrtného soustavy při zvětšeném rozměru, ale především kritická nedostatečnost vyplachování vrtné drti vzduchem z prostoru velkopřůměrového vrtu. V roce 1988 přišla japonská firma **Tone Boring** s nástrojem Mach R100 (obr. IV. 49), který znamenal obrat v řešení těchto problémů.

U tohoto **spřažení čtyř malých ponorných kladiv**, doplněných valivými dláty do jednoho většího celku vrtného nástroje, bylo pro odstraňování odvrtné původně navrženo cyklické vyprazdňování na povrch pomocí sběrného kalichu pro drt, umístěného hned nad kladivy. Při prvním použití pro stavbu v Hongkongu byl ale nástroj adaptován, jak to někdy

chodívá, k jinému použití – k vrtání velmi hlubokých pilot o průměru 1 m až do velké hloubky 75 m ve spodní zvětralé žule, kde by cyklické vyprazdňování bylo neproveditelné. K výnosu vrtné drti se úspěšně použila průběžná reverzní cirkulace pažicího bentonitového výplachu.

Teprve po letech, roku 2000, navázala na japonský průkopnický návrh americká firma Center Rock z Pensylvánie, specializující se na ponorná kladiva. Vyráběla obdobně sdružená vrtací kladiva pro velké rozměry vrtu, dokonce až do průměru 2140 mm. Nástroj byl osazen skupinou spřažených kladiv o průměrech korunek 200 mm, jichž bylo pro uvedený největší průměr 19. Vrtná drť z kladiv přepadala do sběrného kalichu, takže nástroj musel být cyklicky vyprazdňován na povrch. V praxi se tyto nástroje i přes nepříliš časté užití ukázaly jako velice efektivní.

Právě tato nevšední technologie podstatně přispěla k záchraně chilských horníků zavalených v roce 2010 v měděném dole v hloubce 670 m (viz str. 67–68). V extrémně tvrdé žule byly pro definitivní záchranné velkopřůměrové vrty nasazeny tři odlišné americké technologie. Jednou z nich byla speciální rotační souprava pro vrtání důlních šachet a druhou obří souprava pro naftové vrty. Obě ale pracovaly časově velmi náročnou technologií s valivými rotačními dláty pod kapalinovým výplachem. Třetí řešení firmy Layne Christensen z Kansasu s ponornými kladivy Center Rock bylo neúspěšnější a nejrychlejší. Využilo jeden z komunikačních vrtů předtím provedených také kladivem Center Rock. K jeho rozšíření na průměr 660 mm, nezbytný pro zapuštění únikového zařízení, byl nasazen velkopřůměrový nástroj LP26 se spřaženými kladivy. Základem úspěchu byla možnost vrtat téměř bez přerušování průběžně na vzduch. Vrtná drť byla totiž souvisle odstraňována vyfukováním spodem, propadem dolů skrz úvodní vrt do prostoru dolu. Díky nesouměřitelné rychlosti této technologie bylo dosaženo toho, že za 33 dní vrtání mohlo započít konečné vyprošťování všech 33 horníků.

PRŮBĚŽNÉ VRTÁNÍ S PŘÍMÝM VÝPLACHEM

Za „archivní“ metodu kontinuálního vrtání pilot s výplachem je možno označit postup s přímou cirkulací bentonitového výplachu. Tedy s jeho **zacerpáváním vnitřkem soutyčí na břít** vrtného nástroje a s odváděním výplachu, který vynáší vrtnou drť vzhůru mezikružím vrtu až k přepadu v jeho ústí. Jedná se o modifikaci běžného naftového vrtání na poněkud větší průměr. K rozšiřování průměru největší měrou napomohlo zavedení bentonitové suspenze v roce 1929 v USA. Ta sice prokázala vynikající schopnosti i pro pažení stěn vrtu o větším průměru, ale při jeho rozšiřování narazilo fungování přímého výplachu na jistou fyzikální mez. Podstatou je obecný princip gravitační sedimentace pevných částic v kapalině, který odhalil anglický vědec **George Stokes** již v roce 1851. Zjednodušeně lze tento princip popsat tak, že reálná schopnost dosáhnout potřebné **vzestupné unášecí rychlosti** výplachu k výnosu částic zeminy prudce klesá v závislosti na zvětšujícím se průměru vrtu. Velký průtok výplachu, který by pro potřebnou rychlost vyžadoval skutečně velkopřůměrový vrt, by vyvolal nezvladatelné technické problémy. V optimálních podmínkách tak dosahuje maximální průměr vrtu, kdy lze ještě reálně vynášet drť výplachem nahoru, pouze 80 cm. Obvykle se však používá jen průměr 60 cm. Přesto se tato technologie stala nesmírně užitečnou a ze zkušeností, získaných při její letité aplikaci, vzešly cenné podněty i pro jiné metody speciálního zakládání (viz kapitola V.).

Zpočátku se po dlouhé období užívaly vrtné soupravy s jednoduchou nárazovou technikou **dlátování trubním soutyčím na laně**. Bylo tak možné nejen vrtat do hloubek několika desítek metrů bez průběžné výpažnice, ale především proniknout i balvanitou zeminou nebo tvrdší horninou, kde ještě po desítky let neměla rotační technologie naději na úspěch. Speciální zakládání tím reagovalo na potřebu vetknutí pilot do vysoce únosného podloží. Nejvíce se tato metoda ujala v relativně chudé předválečné a poválečné Evropě. Mezi čtyřicátými a šedesátými lety se zde jejím častým využíváním vytvořila podstatná důvěra k bentonitovému pažení pro piloty, z níž pak vzešla i technologie podzemních stěn. Hlavním průkopníkem byla v tomto ohledu italská firma **I.C.O.S.** z Milána. Používala typické vyvýšení zhlaví úvodní výpažnice, jednak pro vhodný přímý přepad na čističku suspenze, jednak pro spolehlivé udržování prospěšného přetlaku výplachu ve vrtu (obr. IV. 50).



Obr. IV. 50: Vrtání pilot o průměru 60 cm typickou nárazovou soupravou s přímým bentonitovým výplachem na stavbě pilířové přehrady Beaufort ve Francii roku 1958 firmou I.C.O.S.

Podobné jednoduché soupravy se ještě dlouho po válce široce využívaly v SSSR, potažmo v zemích RVHP, a stále fungují v některých rozvojových zemích. Svého vrcholu ale tato technologie dosáhla již v šedesátých letech při zavedení rotačního vrtání s kelly soutyčím na stavbě milánského metra.

Příkladem pozdějšího dokonalého využití jejích výhod je příběh z oblasti Blízkého východu v poslední čtvrtině 20. století. Svědčí zároveň o tehdejší prvotřídní technologické i obchodní vyspělosti firmy Swissboring ze skupiny Rodio. Přesně totiž vyhodnotila, co je v tamních podmínkách výhodné a nejlevnější. Nasadila v pobřežních jemnozrnných pískách s přílivovým kolísáním vysoké úrovně podzemní vody tehdy již výběhové pilotovací nástavby značky Watson s pevným rotačním stolem, původně určené pro cyklické náběrové vrtání. Vybavila je však dlouhou jednodílnou dutou kelly tyčí s prostým křížovým břitem k začerpávání přímého bentonitového výplachu na dno vrtu. V ústí vrtu pak už jen stačilo odvádět vytlačovanou zapískovanou suspenzi postranní rýhou do mělké sedimentační jámky, kde na prudkém slunci sediment rychle vysychal a dal se snadno odtěžit nakladačem. Šlo o triviální a spolehlivý „kafemlejnek“ na vrtání, byť pomalý. V kombinaci s levnou pákistánskou obsluhou ovládla firma Swissboring touto nízkonákladovou technologií celý regionální trh pilotování na dvě desetiletí. Postupně ovšem začala odběratelům vadit pro projekty stále vyšších budov relativně nižší únosnost těchto pilot. Na to pohotově zareagovala začátkem osmdesátých let firma Bauer se svým výpažnicovým vrtáním i sortimentem podstatně větších průměrů pilot a postupně Swissboring vytlačila. V menších průměrech pilot se pak prosadily piloty CFA jiných dodavatelů díky rychlosti jejich provádění. Od této významné epizody se již vrtání s přímým výplachem pro piloty uplatňuje jen zřídka.

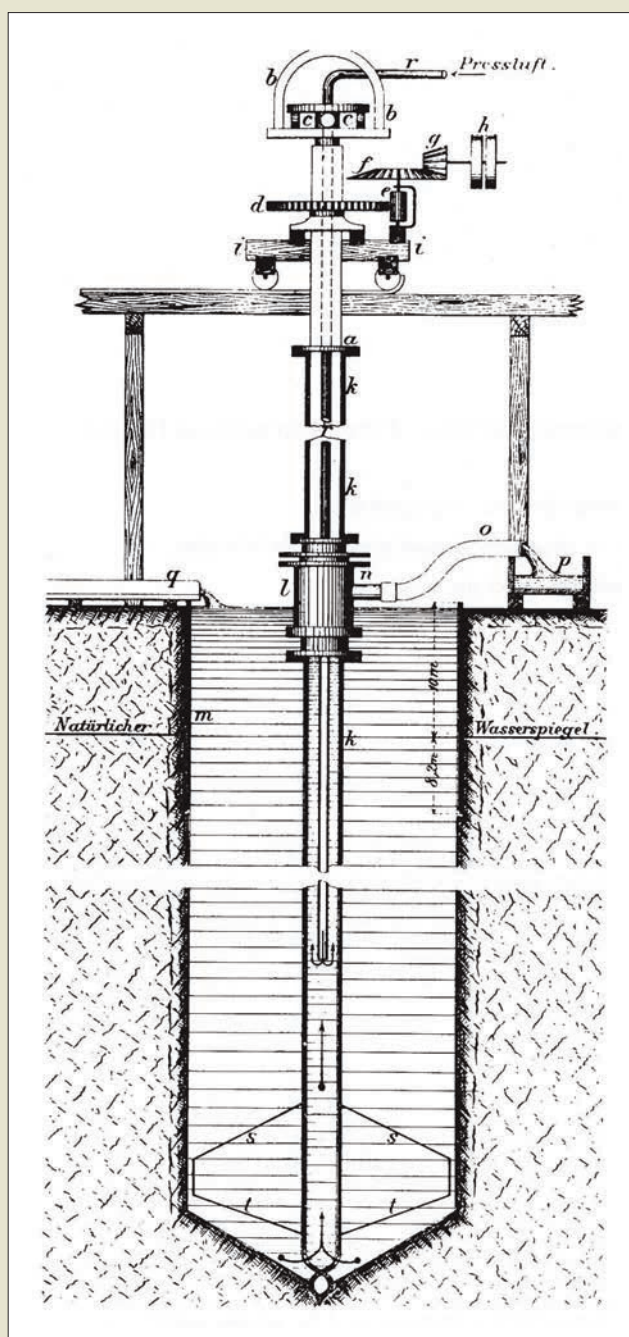
VRTÁNÍ S NEPŘÍMÝM VÝPLACHEM (REVERZNÍ CÍRKULACE)

Postupně se hlavní výplachovou technologií velkopřůměrového vrtání staly systémy s reverzní cirkulací, tedy s odčerpáváním výplachu znečištěného odvrtím **vnitřkem soutyčí** vrtných trubek. V tomto soutyčí, o obvyklém vnitřním průměru 25–30 cm, lze účinně dosáhnout optimální vzestupné rychlosti proudění výplachu potřebné pro efektivní výnos vrtné drti. Vnější průměr vrtu přitom naopak není v zásadě omezen a nasávacím efektem spodem odčerpávaného výplachu je také usnadněna dokonalá **očista dna** vrtu. Dlouho ovšem trvalo, než byla k dispozici vhodná sací kalová čerpadla.

Zpočátku se proto vývoj zaměřil na dávno známý efekt čerpání kapaliny vzduchovým výnosem, tzv. **airliftem**. Ten objevil již v roce 1797 německý důlní inženýr Carl E. Löscher. Několik dalších vynálezců s tímto principem různě experimentovalo. Například v roce 1846 se takto čerpala ropa z některých vrtů v americké Pensylvánii. Roku 1885 použil Werner Siemens airliftovou pumpu pro odvodnění velkopřůměrové důlní šachty v Berlíně a v téže době se podobné pokusy uskutečnily ve Francii i na jiných místech.

V Evropě se zatím vyvrtalo zhruba od poloviny 19. století na stovky důlních šachet klasickou nárazovou technologií s těžbou na laně, tedy omezenou na poměrně malé průměry 1,5–2 m. Úspěch airliftu inspiroval německého inženýra **Friedricha Hönigmanna**. Nechal si patentovat průlomový vylepšený vrtací systém založený na rotačním vrtání s jílovým výplachem doplňovaným v ústí vrtu a se zpětným „vzduchotěžným“ výnosem vrtné drti ve výplachu vnitřkem soutyčí při použití jednoduchého břitového nástroje (obr. IV. 51).

Hönigmann takto zdárně provedl v nizozemském uhelném revíru Oranje-Nassau několik více než stometrových vrtů o žádaných průměrech 2,70 až 4,05 m. K jejich dosažení bylo ale nutno vrty postupně převrtávat a úvodní menší průměry rozšiřovat. Vrtná rychlost byla zhruba 10 cm za hodinu, a zřízení celé vystrojené šachty proto trvalo několik měsíců. Metoda se však v měkkých zeminách a horninách velmi osvědčila, takže se jí pak v první polovině 20. století běžně dosahovalo průměrů 7 m a hloubek přes 500 m. Často se již používaly různě vylepšené vrtné nástroje a speciální soupravy, například od firmy Salzgitter. Ty byly známy později i u nás v preferovaném uranovém průmyslu.



Obr. IV. 51: Nákres metody vrtání s reverzní cirkulací výplachu vnitřkem vrtného soutyčí pomocí airliftu podle patentu Friedricha Hönigmanna z roku 1894



Obr. IV. 52: Vrtná souprava Rodio-Marconi CIS 61 firmy Soletanche pro nárazové vrtání s reverzní cirkulací výplachu výkonným odstředivým čerpadlem na elektrický pohon z roku 1950

Nevýhodou airliftu je ztráta výtlačku nad úrovní hladiny ve vrtu při styku s atmosférou. Velkou vývojovou roli proto sehrálo zavedení **odstředivých výplachových čerpadel** na počátku padesátých let minulého století. Princip odstředivého čerpadla objevil sice již roku 1475 slavný Ital Francesco di Giorgio Martini, trvalo však ještě stovky let, než přišla na svět funkční čerpadla pro podmínky vrtání s reverzní cirkulací. Začaly se pak ihned vyvíjet modifikace souprav s robustnějším nárazovým vrtáním a účinnějším odsáváním výplachu pro větší průměry. K prvním patřila tehdy například italská souprava Rodio-Marconi (obr. IV. 52).

Na konci 20. století se pak již tímto výplachovým systémem **rotačně** vrtaly piloty o průměrech 2 až 3 m s hloubkami až 90 m, a to i v nejobtížnější geologii balvanitého skalního podloží – například v Hongkongu (obr. IV. 53). Používaly se nejčastěji soupravy Wirth, vystrojené vrtnými hlavami se soustavou valivých dlát osazených tvrdokovovými roubíky. Metoda reverzní cirkulace se v tomto provedení stala jedním z technologických vrcholů speciálního zakládání.

VRTÁNÍ S PRŮBĚŽNÝM VZDUCHOVÝM VÝPLACHEM

U vrtání se vzduchovým výplachem platí ještě výrazněji již dříve zmíněná omezení Stokesovým zákonem (viz str. 85). Pro vrtání ponorným kladivem se ovšem používá přímý výplach, který kladivo pohání. Proto se pro průběžné vyplachování dna vrtu pod velkopřůměrovým ponorným kladivem našlo koncem 20. století řešení spočívající v nahrazení vrtných tyčí pažnicemi o velkém průměru, aby se ve zmenšeném mezikruží ke stěně vrtu udržela vysoká výnosová rychlost vzduchu.

Pro hlubší vrty větších průměrů však toto řešení kladlo extrémní nároky na kvalitu použitých ocelových materiálů, na vysokou manipulační kapacitu soupravy vzhledem k váze pažnic a na obrovský přísun objemu stlačeného vzduchu. Většinou se proto vrtaly efektivně jen průměry do 700 mm, takže i na počátku 21. století se podařilo posunout technické hranice tohoto systému jen o málo; výjimečně dosáhl pažnicový systém Symmetrix od firmy AtlasCopco maximálního průměru 1220 mm. To potvrzuje, že tento systém vrtání může být efektivní ve zvláštních podmínkách.

Krajní obtížnost tohoto technologického systému si u nás mohla vyzkoušet firma Zakládání staveb, a. s., v roce 1997 na stavbě Omya Vápenná (obr. IV. 54).

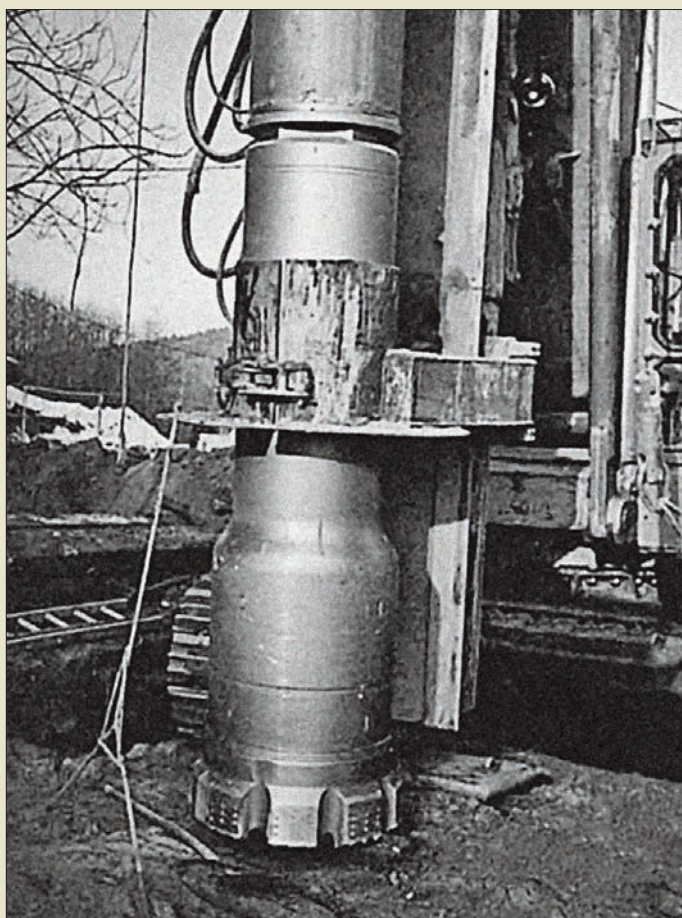
PILOTY OZNAČENÉ CFA, CAP

Celá řada modernějších technologií vrtaných pilot se vyvinula od základního systému vrtání pomocí **průběžného spirálového** vrtáku. Hlavním a výrazným zástupcem podskupiny těchto specifických metod ale zůstávají tzv. piloty **CFA** (Continuous Flight Auger, tj. průběžný šnekový vrták). Jejich princip spočívá v úplném zaplnění křídel průběžného spirálového vrtáku odvrtaanou zeminou po dobu zavrtání, takže stěny vrtu jsou trvale zapaženy. Proto se pro tento typ pilot někdy uvádí výhoda částečného roztlačení okolní zeminy, což zvyšuje jejich únosnost. Záleží ovšem na okolnostech provádění, aby nedošlo naopak k nakypření. Další specialitou je betonování vrtu tlakově, začerpáváním betonové směsi dutým sutyčím vrtákem na břit současně při jeho vytahování. Přetlak výplně má rovněž přispět k funkci piloty. A výztužný armokoš se zasouvá až následně, do již vybetonovaného vrtu.

Tato výrazně rychlá metoda se mohla zrodit až s příchodem výkonného čerpadla na beton. První patent čerpadla na **betonovou maltu** byl podán v USA již roku 1913, ale dlouho nebyl prakticky využit. Až v roce 1927 postavil v Kielu německý inženýr Fritz Hell první funkční prototyp takového mechanismu. A od té doby se po celém světě firmy předháněly ve snaze navrhnout a vyrobit ten správný stroj. Prvním průmyslově vyráběným čerpadlem, ale stále ještě jen na maltu, byl ve třicátých letech stabilní model Pumpcrete americké firmy Rexnord (obr. VI. 30). S nejlepším řešením čerpadla na beton přišel nakonec v roce 1957 německý inženýr **Friedrich Wilhelm Schwing**. Pod jeho jménem jsou obvykle širší veřejnosti tyto pumpy na skutečnou betonovou směs známy.



Obr. IV. 53: Vrtání velkopřůměrových pilot soupravou Wirth s reverzní cirkulací výplachu na stavbě metra v Hongkongu firmou Soletanche roku 1996



Obr. IV. 54: Vrtání pilot o průměru 900 mm ponorným kladivem Sandvik XL24 na soupravě Soilmec R12 a s třemi kompresory AtlasCopco v amfibolitech s křemennými žilami na stavbě Omya Vápenná roku 1997 (Zakládání staveb, a. s.)

Obr. IV. 55: Jedno z prvních provádění pilot ACIP americkou firmou Intrusion Prepakt roku 1950



Obr. IV. 56: Souprava firmy Soletanche pro vrtání pilot CFA typu Starsol s teleskopickým vnitřním soutyčím, spodní vrtnou korunkou a odstraňovačem odvrtné ve Francii roku 1978



Na inovační podnět využít již čerpadla na maltu k podstatnému zvýšení produktivity pilot nejrychleji zareagovala americká firma **Intrusion Prepakt**. Koncem čtyřicátých let je zavedla pod názvem piloty ACIP (Augered Cast-in-Place), tedy jako šnekem vrtané a na místě betonované (obr. IV. 55).

Vynález na provádění pilot novou technologií dvakrát až třikrát rychleji zaznamenali pohotově také Japonci, kteří později ustanovili mezinárodní název CFA. Nejprve zakoupili od Američanů licenci a záhy se stali největšími producenty těchto pilot na světě. Metodu bylo možné zpočátku využít jen v měkké zemi či hornině malými průměry do 50 cm a do malých hloubek. To podnítilo vývoj potřebných silných hydraulických vrtných souprav s mohutným kroticím momentem. Japonci je tehdy vyvinuli a vyrobili takřka přes noc. Stejně rychle zareagovali na úskalí této metody spočívající v používání ztracené zátky na dně dutého soutyčí, což mohlo vést v patě piloty k poruchám betonáže při jejím zahájení. Proto bylo velmi důležité zajistit kontrolu souvislosti, nepřerušeni tvaru betonovaného dířku. Japonci tudíž zavedli elektronickou instrumentaci a monitoring průběhu výrobního procesu piloty. To se potom stalo pro tuto metodu nezbytnou podmínkou.



Obr. IV. 57: Provádění pilot CAP výpažnicovou technologií těsně u stěny stávajícího objektu roku 2013

Stále však zůstávalo několik nedořešených technologických problémů. Zátka pro betonáž na hrotu soutyčí brzdila průniku vrtáku do tvrdší základové půdy. Neexistoval způsob efektivního odstraňování výkopku z vytaženého vrtáku ani účinného dodatečného osazování výztuže do betonu. Principiálně se tyto problémy podařilo dořešit až poté, co se piloty CFA začaly koncem šedesátých let používat i v Evropě. Komplexní řešení přinesl roku 1978 patent firmy Soletanche pro systém Starsol (obr. IV. 56).

Hlavní inovací bylo teleskopické prodloužení vnitřního soutyčí, na jehož spodek se ve středu břitu umístila trvalá vrtná korunka. Při zahájení betonáže se teleskopická trubka hydraulicky vysunula a betonáž probíhala jejími bočními otvory podobně jako ponořenou betonářskou kolonou. Firma zavedla rovněž bezpečné mechanické odstraňování výkopku vynášeného vrtákem a vyřešila i problém dodatečného vibračního osazování armokoše do již vybetonovaného dřívku piloty. Zpochybňování řádné funkce výztuže vedlo totiž dlouho k odmítání těchto pilot například v Německu. V roce 2000 však firma Soletanche prokázala, že lze dodatečně osadit armokoš i do piloty CFA hluboké 34 m. V té době se již do těchto hloubek prováděly piloty CFA o průměru až 1,5 m.

Zatím k poslednímu velkému zdokonalení tohoto typu pilot došlo koncem devadesátých let s výslednou výpažnicovou technologií, obvykle označovanou **CAP** (Cased Augered Piles, tj. pažené, šnekem vrtané piloty). Bylo zavedeno zdvojení vrtné hlavy s možností současné protisměrné rotace výpažnice a vrtného šnekového nástroje, obdobně jako u systému Duplex v maloprofilovém vrtání. Zmenšily se tak problémy při zahájení betonáže i s případným nakypřením v okolí vrtu v nesoudržných zeminách. To pomohlo zejména pro provádění pažicích převrtávaných pilot (obr. IV. 57).

PILOTY OZNAČENÉ BDP/FDP atp.

Na začátku 21. století, kdy již byly běžně k dispozici mechanismy s vysokým krouticím momentem o hodnotách zhruba 25 tm, vznikl odvozením z pilot CFA podstatně nový druh nazvaný **BDP** (Bored Displacement Piles, tj. piloty vrtané s bočním roztláčením zeminy). Šlo tedy již o typ vrtaných pilot jen s částečným odtěžením základové půdy. Byly vývojovým důsledkem úspěšné aplikace vrtaných šroubovitých, na místě betonovaných, avšak jen malopříměrových pilot typu **Atlas** a podobných. Ty se začaly od šedesátých let osvědčovat v přímořských náplavech Belgie a Nizozemska. Logicky byly určeny pro velmi měkké či kypré zeminy. Výsledný tvar jejich pilotového dřívku obnažený po odkopání přímo nadchl geotechnické inženýry svou geometrií a jasně prokázal zvýšenou únosnost pláště piloty (obr. IV. 58).

Obr. IV. 58: Tvar obnaženého šroubovitého
dříku piloty typu Atlas o průměru 46/56 cm
v Německu roku 1987

Takové piloty však byly dlouho proveditelné jen malými průměry ve variacích od 36 do max. 61 cm. Při vrtání pilot typu BDP se potom používaly obdobně odvozené robustní hruškovité nástroje se spirálovými křídly. Zavrtávaly se však s výrazně mohutnější krouticí i přítlačovou silou, takže podobným způsobem roztláčovaly i méně kyprou zeminu do stran, čímž se zlepšovala její schopnost pro přenos zatížení (obr. IV. 59). Velkou výhodou této technologie též bylo podstatné snížení množství výkopku vynášeného z vrtu, který se tak nemusel odstraňovat.



U pilot typu **FDP** (Full Displacement Piles, tj. plně roztláčené piloty) se vylepšením nástroje a technologie dosáhlo toho, že nebyl na povrch vynášen žádný výkopek. To se ukázalo jako obzvláště potřebné pro nově se rozmáhající práce na kontaminovaných územích, tzv. brownfieldech.

Obr. IV. 59: Vrtací nástroj firmy Soilmec pro BDP se zřetelnou boční klapkou pro betonáž na špici

Betonáž a instalace armokoše byla u těchto typů pilot obdobná jako u pilot CFA. Následně se ve světě uplatnily i jejich další modifikace s rozličně tvarovanými a vybavenými nástroji, například se ztraceným hrotem apod.

Na závěr je třeba upozornit, že ačkoli piloty typu CFA a z něho odvozené druhy tvořily na počátku 21. století v globálním měřítku polovinu objemu všech vrtaných pilot, stále nedošlo k plnému teoretickému porozumění jejich interakce v různém prostředí a tím zaostávala i efektivita navrhování jejich kapacity v porovnání s vysokou efektivitou jejich výroby. To však patří k obvyklým paradoxům rychlého rozvoje speciálního zakládání.

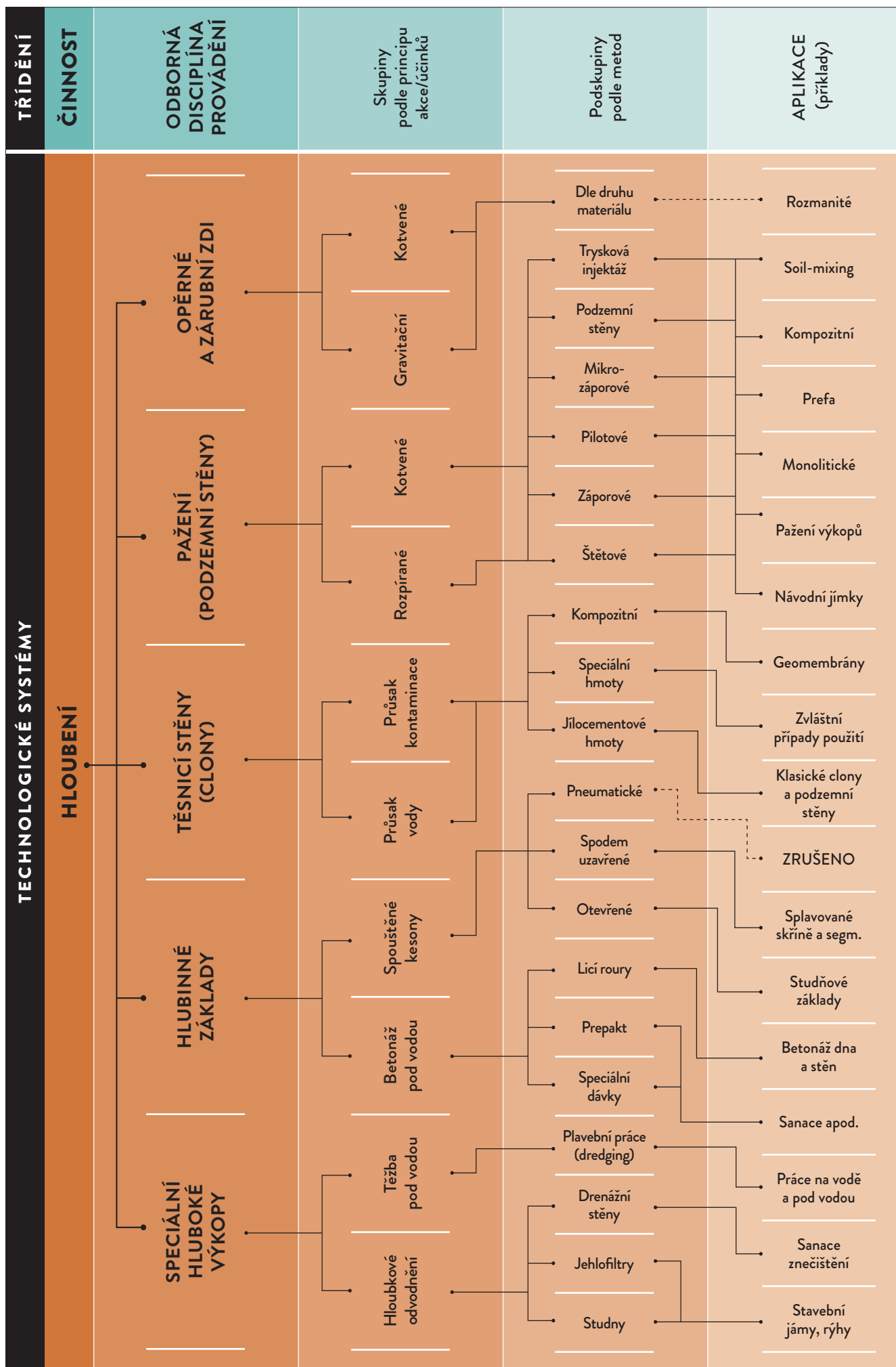
KAPITOLA V.

HLOUBENÍ

VŠEOBECNĚ

Okruh činností spočívajících převážně v hloubení je při zakládání staveb obecně nejčastější. Má mnoho specifických tváří. Necháme ovšem stranou běžné výkopy otevřených jam a svahování zářezů či násypů, které náleží do odlišného oboru zemních prací. Ačkoli se zaměřujeme na zřizování hlubinných základů metodami speciálního zakládání, zaznamenáme částečné prolínání oborů zemařiny a zakládání u metod prací pod vodní hladinou ve vodotečích nebo pod vlivem podzemní vody a rovněž u metod zřizování opěrných zdí a pažení stavebních jam.

Technologie a metody tohoto okruhu činností vyrůstaly ze značně různorodého podhoubí. Povšechné utřídění jeho hlavních technologických systémů je uvedeno v tabulce na obr. V. 1.



Obr. V. 1: Utrídění hlavních technologických systémů v okruhu činnosti HLOUBENÍ

Obr. V. 2: Čtvercová neolitická studna v Ostrově u Vysokého Mýta s roubením z rohových dubových kůlů, do nichž byla kamennými nástroji vysekána drážka pro dubové fošny. Rozměr 0,8 x 0,8 m, hloubka cca 1 m.



Přehledná klasifikace uvádí sice technické souvislosti, neznázorňuje však vazby historické geneze. Z tohoto pohledu probíhal vývoj jednotlivých technologických systémů hloubení dosti odlišně, především v závislosti na rozvoji technických prostředků. Jako prvotní se dá vyčlenit odborná disciplína speciálních hlubokých výkopů a na ni navazující zřizování hlubinných základů. Hloubení a roubení šlo mnohdy ruku v ruce. Roubení hlubokých jam se ostatně stalo jedním z nejnáročnějších výkonů speciálního zakládání.

Z potřeby zřizování opěrných zdí, návodních jímek a pažení výkopů se odvinula odborná disciplína těsnicích clon a podzemních stěn. Veškeré technologie hloubení se tak jako i v jiných okruzích činností rozmanitě propojovaly a křížily.

Počátky hloubení ve stavitelství

Již v dávném pravěku si při hloubení skrýší a úkrytů člověk povšiml, že v příznivých podmínkách přírodního materiálu lze stabilitu výkopů snáze udržet s využitím přirozeného klenbového účinku základové půdy. Mohlo jít jak o stěny vertikální jámy, tak o horizontální výkopy štol pro jeskyně a podobné účely. Při hloubení studní k získání pitné vody však tento efekt nepůsobil a bylo nutno stěny **trvale zapažit roubením**. Název roubení má svůj historický původ v podobnosti se stavbou dřevěných roubených staveb, kdy byly trámové prvky roubení pokládány vodorovně a souvisle na sebe. Za nejstarší doloženou roubenou studnu z neolitu byl nedávno prohlášen nález z roku 2019 na staveništi u Vysokého Mýta s přesnou datací 5256 př. n. l. (obr. V. 2). Ve střední Evropě byly kopané studny z doby 5200 př. n. l. roubené dřevem nacházeny i v Rakousku.

Studnařské řemeslo se předávalo v rodinách z generace na generaci a časem bylo využíváno nejen pro zdroje vody a závlahové systémy. Další významnou oblastí pro jeho uplatnění se stalo vyhledávání nerostných surovin. Zpočátku šlo o hloubení bočních štol do povrchových výchozů žil. Nejstarším příkladem je cínový důl v turecké Anatólii z doby asi 3000 let př. n. l. Časem se hloubily i svislé důlní šachty, z nichž se štolý rozrážely do stran. Zkušenosti z takové báňské činnosti pak velmi často doplňovaly znalosti stavitelské.

Č Á S T A

SPECIÁLNÍ HLUBOKÉ VÝKOPY

HLUBKOVÉ ODVODŇOVÁNÍ ZÁKLADOVÉ PŮDY

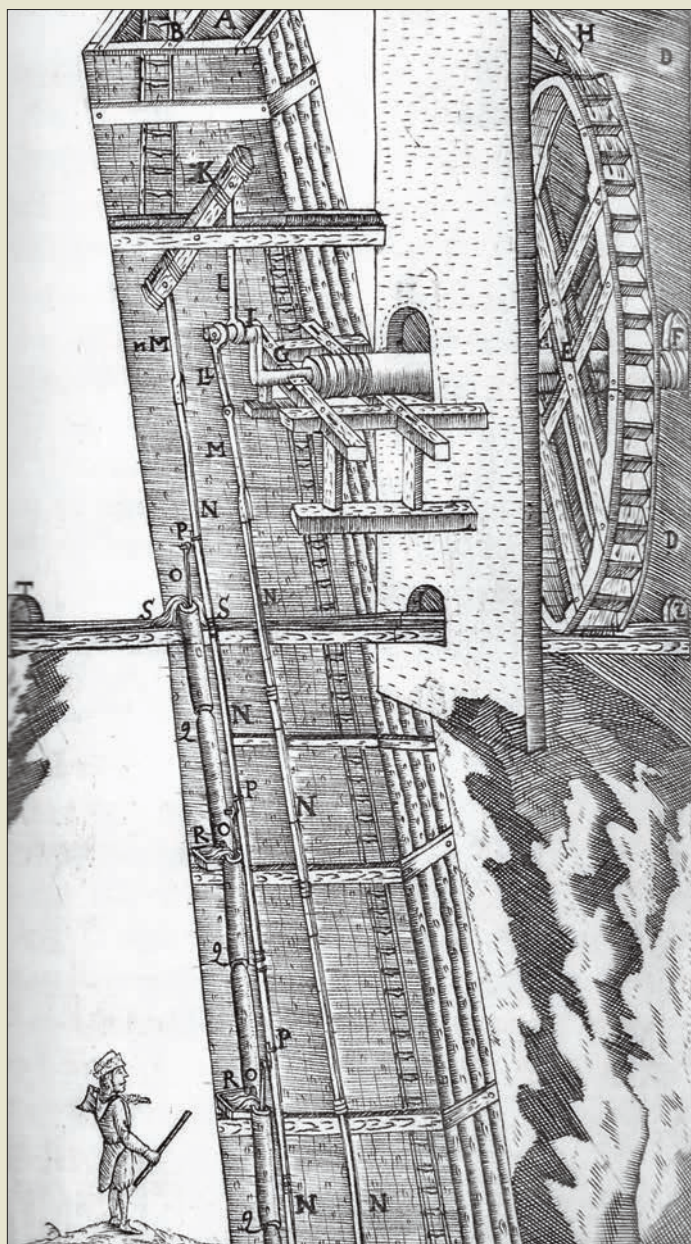
Starověcí stavitelé zahroubených konstrukcí neměli obvykle při dostatečném přísunu otrocké pracovní síly problém vyrovnat se v případě potřeby i s objemově rozsáhlými výkopy. Obtížně však řešili potíže s přítomností vody v základové jámě a s jejím působením na stabilitu stěn výkopu. A to jak vlivem vody povrchové, tak i hlubší podzemní. Velký rozdíl mezi chováním vodou nasycené a nenasycené zeminy vedl k ranému uplatnění jednoduchých metod odvodňování stavenišť. Pro odvodnění se používaly kopané drenážní rýhy a sběrné jímky, případně hloubené studny. I když šlo většinou o krátkodobé snížení hladiny při poměrně malé hloubce výkopu, vždy záleželo zásadní rozhodnutí na odhadu množství přitékající vody, a tedy na možné efektivitě čerpání. Čerpání sice obvykle prováděli otroci jednoduchým vybíráním vody džberem, ale i tak musel být výsledek této práce znatelný. Nejistota odhadu zůstávala při odvodňování základové půdy po staletí základním faktorem omezujícím jakékoli plánování. A to i přes zlepšení výkonu, když byla časem vynalezena nová čerpadla a zavedeny účinnější pohony – nejprve zvířecí silou a pak i energií vody či větru.

Většího pokroku se v průběhu posledního dvoutisíciletého období dosahovalo pouze u hloubkového odvodňování v důlním průmyslu, kde bylo trvalé odvodňování často naprosto kritickým faktorem pro pokračování báňské práce. Vytvářely se tam proto velmi důmyslné a složité kombinace z dostupných jednoduchých možností. Obvykle se jednalo o kaskády vodních kol nebo pístových pump, různě vylepšované až do 19. století (obr. V. 3). Velkým technologickým průlomem bylo teprve podstatné zlepšení v čerpací technice od poloviny 19. století.

Faktory čerpací techniky

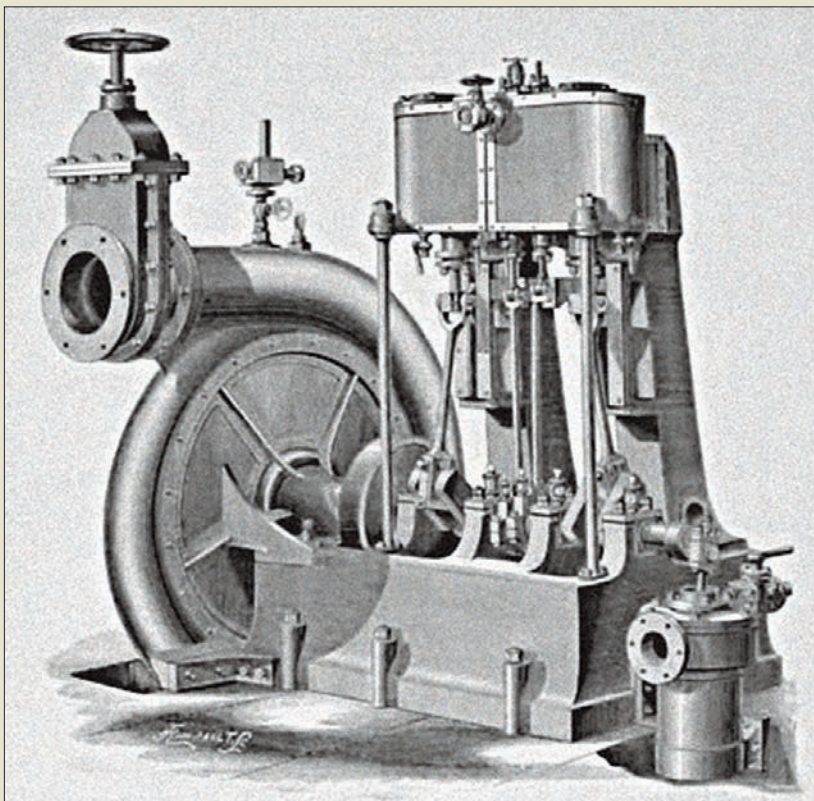
Vývoj čerpadel a čerpací techniky velmi těsně koresponduje s rozvojem civilizace. Zatímco v raném starověku bylo zpočátku možné uspokojit poptávku po pitné vodě ze studny pomocí klasického vědra na šňůře, potřebám větší dodávky závlahy na polnosti v teplých úrodných oblastech tato primitivní technika již většinou nedostačovala. Jen v ideálních poměrech krajiny Egypta postačilo rozvést povodňové záplavy Nilu gravitačně do stružek, záchytných příkopů a akumulacních nádrží. V odlehlých lokalitách a při nepříznivém klimatickém období bylo nutno vodu na závlahy čerpat, což vedlo zhruba od roku 3000 př. n. l. k širokému používání čerpání pomocí usnadňujícího **vahadla**. Závlahové stavby ve starověkém Egyptě a Mezopotámii se tak staly prvními středisky vývoje čerpání.

Obr. V. 3: Vodotěžné důlní zařízení používané v kutnohorských dolech v 17. století



Nouze o závlahovou vodu přinesla první vynálezy **čerpacích kol** nebo **pásů s nádobami** na lidský nebo zvířecí pohon přibližně 500 let př. n. l. v Persii a 200 let př. n. l. v Číně. Z toho se zhruba 200 let př. n. l. vyvinulo skutečné **vodní kolo** poháněné proudem vody. Ještě v pozdním starověku byla vynalezena i další čerpadla. Jedním z nich je známý **Archimedův šroub**, schopný dokonce čerpat kaly. Archimedes ho sice nevyalezl, ale zřejmě ho jako první popsal kolem roku 250 př. n. l. Tento mechanismus se stal předchůdcem pozdějších rotačních čerpadel. Jiný řecký učenec Ctesius vynalezl v egyptské Alexandrii přibližně v té době **pístovou dvoučinnou pumpu**, která opět byla předchůdcem pozdějších přímočinných čerpadel. Tyto jen mírně vylepšované první typy čerpadel sloužily i pro odvodňování stavebních nebo báňských děl po mnohá další staletí, přičemž jejich hlavním pohonem byla vodní kola.

Dějiny čerpadel se začaly rychleji odvíjet až od 15. století, kdy byl objeven **princip odstředivého čerpadla** (viz str. 88). Četnost dalších vynálezů začala prudce narůstat na prahu průmyslové revoluce v 18. století. V moderní technice nyní existují na tisíce různých druhů čerpadel. Uvažme jen jejich význam u hydraulických pohonů a ovládání strojů. Pro speciální zakládání se stala univerzálním tahounem inovací při čerpání všech kapalin, suspenzí i kalů právě odstředivá čerpadla. Angličan John Gwynne začal na základě svého patentu z roku 1851 prodávat první průmyslově úspěšné typy na parní pohon. Obvykle horizontálně uspořádaná odstředivá čerpadla se pak stala ve svých různých verzích a modelech všeobecně nejužívanějším prostředkem odvodňování ve stavebnictví (obr. V. 4).



Obr. V. 4: Typické odstředivé čerpadlo modelu *Invincible* firmy Gwynne pro stavební účely z roku 1875

Vynálezcem jejich důležité vertikální modifikace jako **elektrického ponorného čerpadla** byl v roce 1916 arménský inženýr **Arměj Sergejevič Arutomov**. Emigroval po bolševické revoluci do USA a vložil svůj objev do firmy Reda Pump. Ta se stala vzorem pro ostatní a dosáhla mimořádného významu pro naftařský průmysl. Nakonec ji v roce 1998 převzala obří ropná korporace Schlumberger. V Evropě shrnul a vylepšil předchozí vynálezy ponorných čerpadel v roce 1946 švédský inženýr Sixten Englesson ve firmě **Flygt**. Začala vyrábět světově neznámější typ pro stavební účely a její jméno se dlouho používalo ve stavebním žargonu pro označení tohoto typu čerpadel.

Metody hloubkového odvodňování

Na začátku průmyslové revoluce v 18. století prudce vzrostly požadavky na výstavbu dopravní infrastruktury, která měla spojit nová průmyslová centra co nejkratší spojnici bez ohledu na překážky, kvůli nimž byly dříve transportní cesty klikaté a zdlouhavé. Stavební inženýrství se začalo potýkat i s větší potřebou hloubkového odvodnění staveb. Tehdy již sice byla k dispozici technologie pro zhotovení hlubokých vrtaných studní (viz str. 47–48) i výkonnější čerpačská technika, avšak stále chybělo potřebné návrhové zázemí pro efektivní uplatnění těchto technologických prostředků. Zásadního posunu v teorii proudění podzemní vody dosáhl až v roce 1856 francouzský technik **Henry Darcy**. Po většinu života pracoval jako hlavní inženýr města Dijonu a zavedl tam unikátní gravitační systém rozvodu vody. Na sklonku své profesní dráhy se soustředil na výzkum a experimentálně odvodil klíčovou rovnici pro **filtrační zákon**. Ta udávala jednoduchý lineární vztah pro rychlost proudění vody, avšak jen v nasyceném písčitém prostředí. Postupným vývojem byla dalšími vědci upravena a zobecněna i pro podmínky platící mimo její původní úzký rozsah a stala se výchozím vztahem pro řešení průsaků v základové půdě. Teoretické modelování těchto jevů využívalo pak zejména princip **proudových sítí**. Hlavním tématem poslední doby se ovšem v této oblasti staly **preferenční cesty průsaku**, o nichž se začalo uvažovat až zhruba v šedesátých letech minulého století.

Hloubkové odvodňování se časem stalo specifickou geotechnickou disciplínou inženýrského stavitelství. A to obzvláště ve složitých podmínkách a v kombinaci se zapojením různých těsnících konstrukcí omezujících průsak nebo přítok podzemní vody. V určitých lokálních podmínkách byla metoda hloubkového odvodňování pro zajištění stavebních prací naprosto dominantní, například při výstavbě berlínského metra v hlubokých otevřených jámách ve zvodnělých

mocných píscích od dvacátých let 20. století. Velkým technologickým impulzem bylo zavedení ponorných čerpadel. Zde získané podrobné zkušenosti se **systémy hlubokých čerpacích studní** sloužily pak jako učebnice pro ostatní svět. V praxi šlo velmi často o aplikace dočasného snížení hladiny podzemní vody na dně stavební jámy jen po dobu budování objektu. Rozsáhlejší jámy pak byly budovány zejména pro hydrotechnická díla, kde se často uplatnily studňové systémy v řadách po obvodu odvodňovaného díla a v případě potřeby v několika výškových etážích.

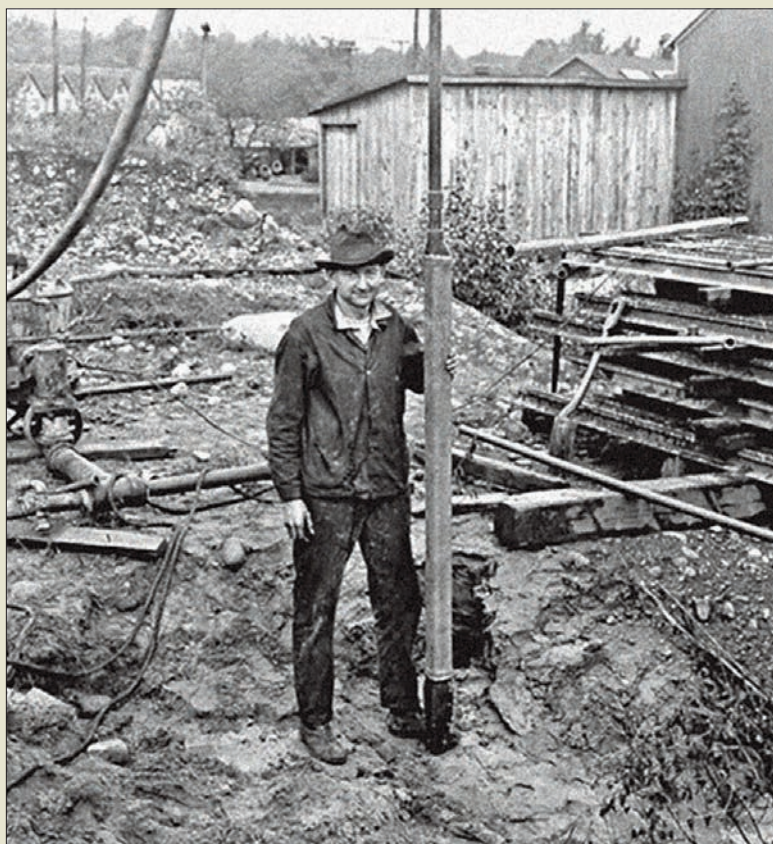
V našich podmínkách bylo hlubkové odvodňování zpočátku nevyhnutelnou složkou zakládacích prací u poříčních staveb. První nasazení strojních čerpadel bylo zaznamenáno v roce 1846 u stavby Negrelliho viaduktu v Praze, prováděné firmou **Lanna**. Tam se také poprvé přešlo od dosavadního šlapacího pohonu lidskou silou k síle parního stroje. Tato metoda se rychle stala rutiní součástí stavebních aktivit (obr. V. 5). Postupně se využívala zejména u hlubokých stavebních jam a podzemních staveb.

V hlubkovém odvodnění se vyvinula řada dalších odvozených technologických systémů. Na začátku dvacátých let experimentoval americký stavitel Thomas F. Moore pro odvodňování písků s čerpáním z ražených **jehlofiltrů** (obr. V. 6). V roce 1924 patentoval své vplachované jehlofiltry a roku 1930 zavedl i vakuové čerpání. To bylo účinnější v jemnozrnějších zeminách.

Typickou aplikací byly řady jehlofiltrů po obvodu odvodňovaných objektů spojené čerpacím potrubím. Jehlofiltrové odvodňování se rychle rozšířilo jako účinná metoda do světa. Bylo například velmi efektivní při hloubení kanalizace v oblasti německého Hamburku. U nás se vhodně využívalo na jižní Moravě.



Obr. V. 5: Obvyklé uspořádání čerpání z jímky pro zřízení nábrežní zdi na stavbě zimního přístavu u děčínských Podmokel, prováděné v roce 1857 firmou Lanna. Vpravo je odstředivé čerpadlo poháněné parní lokomobílou a vlevo přímočinné parní čerpadlo pro napájení lokomobily. (Z. Bauer)



Obr. V. 6: Vynálezce T. F. Moore z firmy Moretrench se svým prototypem vplachovaného jehlofiltru v roce 1924

Mezi další, ale zřídka užívané metody odvodňování patří například **elektroosmóza**, poprvé aplikovaná v roce 1940, anebo výjimečně **termické vysoušení**. Specifickou metodou jsou podzemní drenážní stěny (viz str. 155).

HLOUBENÍ POD VODOU A PRÁCE NA VODĚ

Stavební práce na vodě jsou trvalou součástí speciálního zakládání. V posledních padesáti letech se z nich však vydělil samostatný obor podvodní těžby pomocí plovoucích bagrů. Jde zejména o práce pro úpravu dna a břehů pod vodou či instalace základových prvků z vodní hladiny. Takové práce se prováděly již v raném starověku při budování závlahových kanálů a objektů. Historické doklady svědčí o vysoké úrovni vodního stavitelství té doby. V 7. století př. n. l. vznikl například kanál pro čistou vodu k zásobování asyrského města Ninive. Na příkaz krále Sennacheriba byl vybudován převážně ruční prací za pouhých 15 měsíců včetně 330 m dlouhého akvaduktu. Navíc byl vydlážděn v délce 80 km a šířce 20 m kamenem.

K dalšímu rozvoji došlo zejména v oblasti zřizování přístavů a vodních cest. Práce od počátku komplikoval vyčerpávací boj s nepříznivými sedimentačními silami přírody. Mnoho důležitých přístavů ztratilo v dějinách svou původní polohu a význam v důsledku zanesení pobřeží mocnými naplaveninami. Lidé se tomu pokoušeli čelit odstraňováním nánosů, ale po tisíciletí nebyly k dispozici jiné technické prostředky než těžká ruční práce s naběráky na bidlech. Vrhá to zvláštní pohled na dějiny, uvědomíme-li si, že běh civilizace udržovaly po dlouhou dobu v důležitých uzlových místech obyčejné šoufky. V roce 1492 se sice objevil návrh Leonarda da Vinciho na plovoucí bagr s korečkovým kolesem, ale výkon tehdejšího ručního pohonu byl zcela nedostatečný.

Až po dalších staletích tato myšlenka dospěla ke skutečnému využití, většinou již s **korečky na řetězové paternosterové smyčce**. V 18. století pracovaly v nizozemských přístavech takto vystrojené větší bárky již i s pohonem koňmi nebo větrnými mlýny. Jejich rozvoj však dostal potřebný mohutný impuls teprve s příchodem mnohem výkonnějšího parního pohonu. Silné parníky se tak staly pro vodní stavby průlomovými mechanismy, a to

poměrně brzy po prvních experimentálních plavbách různých vynálezců v posledních desetiletích 18. století. Úspěšný pokus parní loď podle patentu inženýra Williama Symingtona se uskutečnil v roce 1801 na skotské řece Carron. A již v následujícím roce byl na tamním kaledonském kanále nasazen parní korečkový bagr s řetězovým systémem na ponorné lafetě.

Během několika desetiletí se tato rypadla rozšířila po celém světě a sloužila na projektech, jako byl například Suezský průplav. Původní záměr této stavby byl zvažován již na konci 18. století, ale vycházel z chybného zaměření, takže by vyžadoval nadměrné investice do zdymadel pro vyrovnání údajného desetimetrového rozdílu hladin moří. Teprve nové zaměření v třicátých letech 19. století potvrdilo stejnou úroveň jejich hladin. Francouzská studie proveditelnosti, kterou vypracoval v roce 1847 i u nás dobře známý rakouský inženýr **Alois Negrelli**, dala projektu **Ferdinanda Lessepe** zelenou. Prvních deset let prováděla výkopové zemní práce o objemu 15 milionů m³ armáda více než 30 tisíc otroků ručně. To byl v mnoha ohledech neúnosný postup. Později nasazené parní korečkové bagry vykopaly za dva roky do otevření provozu roku 1869 60 milionů m³. Dodnes tyto stroje pracují na stejném základním principu, avšak s moderními pohonnými agregáty.

U nás byl první český kolesový parník Bohemia spuštěn na Vltavu v Praze roku 1841. A první korečkový bagr, vyrobený také v pražské Rustomce podle německého vzoru, byl použit ve firmě Lanna roku 1854 u Lovosic. Během následujících sedmdesáti let, do smrti posledního z rodiny, dr. Vojtěcha Lanny v roce 1922, jich firma provozovala celkem čtrnáct (obr. V. 7).



Obr. V. 7: Korečkový bagr č. 6 firmy Lanna v roce 1899 ještě s ručním odklizením výkopku na stavbě jezu v Troji (Z. Bauer)



Obr. V. 8: Dvouřetězový Priestmanův drapák č. 1 firmy Lanna spolu s kesonovou lodí na stavbě jezu v Troji roku 1889 (Z. Bauer)

Pro budování vodohospodářských objektů bylo ovšem zapotřebí i mnoha dalších speciálních mechanismů, kromě parníků a nákladních člunů také řetězové elevátory pro rychlou vykládku vytěžené zeminy z nákladních člunů na hráze, kesonové lodě pro odstraňování překážek pod vodou nebo drticí lodě pro výkop skalního dna. Omezený dosah i výkon těchto strojů později překonaly drapáky a lopatová rypadla.

Lanový drapák se stal důležitým mechanismem i pro veškeré stavitelství. Jeho nezbytným předstupněm byl vynález parního jeřábu (viz str. 39). První obchodně úspěšný model jeřábu využitelného pro drapák, tedy již s navijákem o obousměrném chodu, postavil skotský inženýr James Taylor v roce 1859. V nepříliš vzdáleném čase pak vynalezl roku 1876 anglický inženýr **William Dent Priestman** první lanový drapák. Výrobky jeho firmy i jejich napodobeniny se v následujících desetiletích rozšířily po celém světě. Také tuzemská firma Lanna měla od roku 1889 tento všestranně využitelný nástroj ve svém inventáři (obr. V. 8).



Obr. V. 9: Příklad velkokapacitního námořního sacího bagru s velkým zásobním lodním prostorem, z kterého může naplavovat umělé pobřeží z jinde odtěženého materiálu na konci 20. století.



Obr. V. 10: Trojramenná shybka pro kmenovou stoku K v Praze z ocelových rour o průměru 1500 mm a délce 220 m před ponořením na dno Vltavy v roce 1975 (Zakládání staveb, a. s.)

Přirozenými kroky ve vývoji mechanismů pro těžbu pod vodou byla následně lanová lopatová rypadla a po nich výkonnější hydraulická.

Zcela odlišnou a průlomovou cestou se v této oblasti vydala technologická větev **sacích bagrů**. Po vstupu do úmorného boje proti náplavovému živlu přírody tato neskonale výkonnější technologie zastínila poměrně brzy dosavadní armády korečkových bagrů. Již při prvním nasazení v roce 1876, tedy zhruba sedmdesát let po korečkovém bagru, podával první prototyp francouzského inženýra hydrauliky **Henri-Émile Bazina** s novým odstředivým čerpadlem desetkrát větší výkon než jeho těžební předchůdce. Díky rychlému rozvoji této spíše strojní a lodářské technologie byly v průběhu 20. století rozšířeny nebo postaveny nesčetné a nebývale rozsáhlé oceánské přístavy, letiště i celé městské čtvrti na umělých mořských ostrovech (obr. V. 9).

SPLAVOVÁNÍ PONORNÝCH KONSTRUKCÍ

Součástí speciálních prací zakládání v hloubce pod hladinou vody se stalo i splavování konstrukcí do míst připravených výše uvedenou podvodní těžbou. Jednalo se o rozměrné a zvláštní konstrukce, předem vyrobené v suchém doku, odtahené na místo stavby a ponořené do trvalé pozice. Tato metoda výstavby byla odvozena ze souvislosti s historicky předchozí myšlenkou splavování spodem uzavřených kesonů pro zřízení hlubinných základů, o nichž pojednáme níže v části B této kapitoly podrobněji. Modifikace splavování a ponoření celých rozsáhlých prefabrikovaných konstrukcí se odvinula od experimentálních úvah o způsobu výstavby tunelů k překročení vodního toku po jeho dně na konci 19. století. Umožnila to však teprve příprava a specifická úprava dna pro založení takových konstrukcí.



Obr. V. 11: Unikátní směrově i výškově zakřivený tubus o délce 168 m pro přechod metra pod Vltavou zbudovaný v jednom kuse v suchém doku. Dva takovéto tubusy byly postupně osazeny zatahováním a splavením v letech 2002 a 2003. (Metrostav/Zakládání staveb)

Poprvé k tomu došlo roku 1896 v americkém Bostonu při splavení ocelové shybky o průměru 1,8 m a délce 60 m pro výstavbu městské stoky. V roce 1910 byl pak vybudován první takový železniční tunel pro spojení USA a Kanady pod michiganskou řekou Detroit. Sestával ještě z ocelových rour, ale celá konstrukce byla již zpevněna betonem. V Evropě započala stavba prvního ponořeného tunelu v roce 1937 v nizozemském Rotterdamu pod řekou Nieuwe Maas. Poprvé se zde použily obdélníkové segmenty ze železobetonu, pospojované do výsledného tubusu. Od té doby se stal tento způsob výstavby běžný pro řešení podobných úkolů na dně vodotečí a moří.

U nás byla tímto způsobem předvyrobena a splavena v celku na místo připravené ve dně Vltavy velká trojramenná ocelová shybka pro stoku K v Praze roku 1975 (obr. V. 10).

Podobně byl vybudován ve dně Vltavy tunel pražského metra C IV splavením celého předvyrobeného tubusu v letech 2002 a 2003 (obr. V. 11). Podílela se na tom řada metod speciálního zakládání pro úpravu dna k založení pro výstupní a vstupní jímku jakož i k definitivnímu zakrytí tubusu.

Široké kombinace různých technologií a metod této pracovní oblasti se využily v nizozemském Deltaprojektu, postaveném v roce 1986. Při zřízení námořní protizáplavové bariéry Oosterschelde tak bylo instalováno 65 kusů obřích prefabrikovaných pilířů hráze. Pilíře z předpjatého betonu o váze 18 000 t a výšce až 38,75 m (obr. V. 12) byly splavovány a instalovány na upravené dno (viz obr. VI. 99) pomocí speciálního obřích plavidla Macoma.

Rekordů metody splavování se dosahovalo při hlubokém zakládání námořních vrtných plošin. Například konstrukce plošiny Troll A měla po dokončení betonáže v norském doku roku 1996 částečně ponořenou celkovou výšku 469 m (obr. V. 13). Usazení na místo jejím ponořením též vyžadovalo zvláštní přípravu dna v hloubce 303 m pod hladinou moře.



Obr. V. 12: Pilíře z předpjatého betonu hráze Oosterschelde v nizozemském Deltaprojektu po dokončení výroby v suchém doku roku 1984 před začátkem splavování na pozici



Obr. V. 13: Plavení vrtné plošiny Troll A, tvořené soustavou uzavřených železobetonových kesonů zhotovených postupně v mokřém doku o celkové výšce 469 m, na pozici těžby v Norsku roku 1996

Č Á S T B

SPOUŠTĚNÉ HLUBINNÉ ZÁKLADY – KESONY

Všeobecně

Historický vývoj klasických hlubinných základů vedl od prvotních kopaných jam pro pilíře a od hloubených šachet dál přes spouštěné studny a skříně až k přetlakovým kesonům. Současně s tím se ale postupně měnilo i názvosloví. Dnes se pro tyto metody, jež obvykle řeší zakládání za přítomnosti hladiny vody, používají všeobecně v mezinárodní terminologii názvy odvozené od slova keson (caisson). A pak tedy jde podle okolností o **keson otevřený**, **pneumatický** či **spodem uzavřený**. V našem historickém podání se k tomuto názvosloví přikláníme.

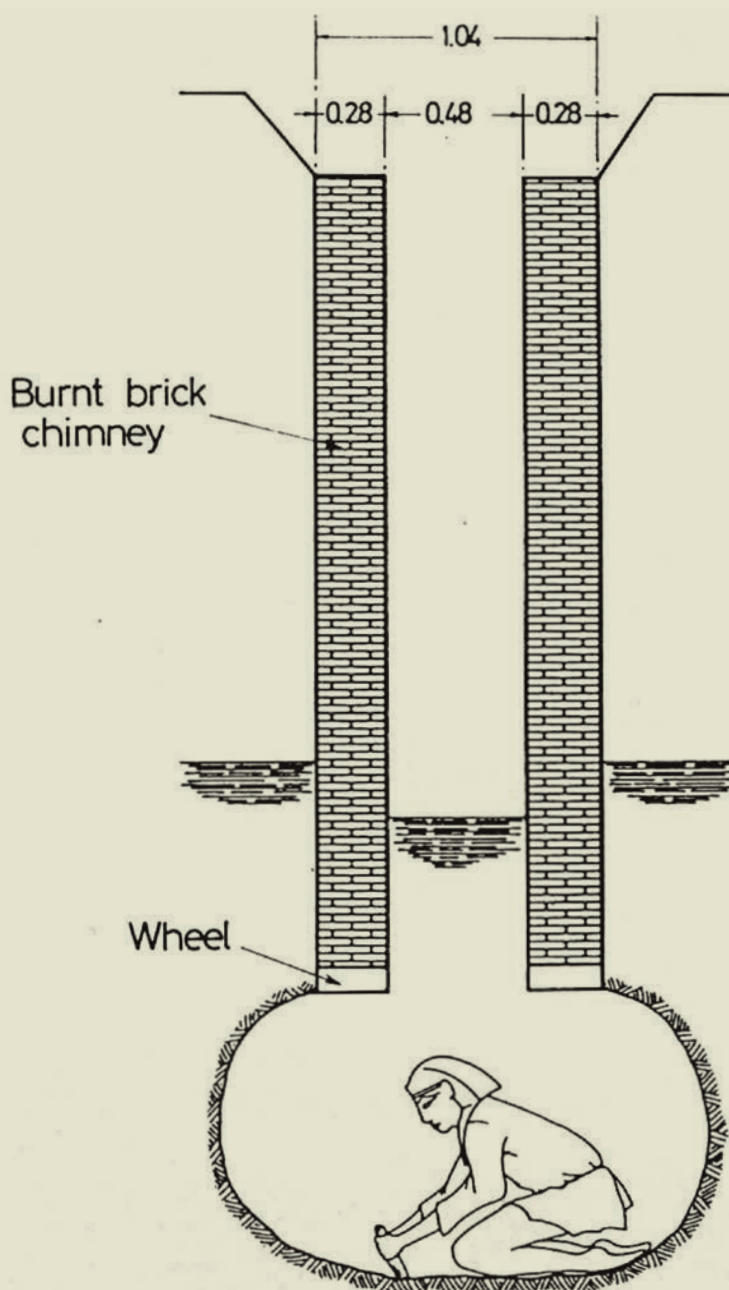
V praxi byly uvedené technologie a metody mezi sebou různě kombinovány a doplňovány jinými technologickými systémy z okruhů ražení, vrtání a zlepšování základové půdy podle okolností stavby. Pro přehled jejich historického vývoje bylo však ve zde uváděných příkladech zapotřebí poněkud odstoupit od konkrétních jednotlivostí a zdůraznit hlavní rysy technologií hloubení.

SPOUŠTĚNÉ OTEVŘENÉ KESONY / STUDNY

Počátky této technologie lze vysledovat ve způsobu hloubení velkopřůměrových kruhových studní **spouštěním**, známém ze starého Egypta před 5000 lety. Dokládají ho hluboké studny nalezené i v poušti poblíž dolů na zlato. V té době šlo o druh uměleckého řemesla, neboť v tak nepříznivých podmínkách bylo jejich zřízení opravdovým uměním. Především spočívalo na znalosti a zkušenosti proutkařů vodu pod zemí nalézt. Studny o průměru zhruba 1 m se zhotovovaly postupným ručním podkopáváním obezdívky – tedy vlastně jejím spouštěním při plynulém nadezdívání (obr. V. 14). V závěrečné fázi hloubení v dosažené podzemní vodě musel navíc studnař prokázat i potápěčské schopnosti.

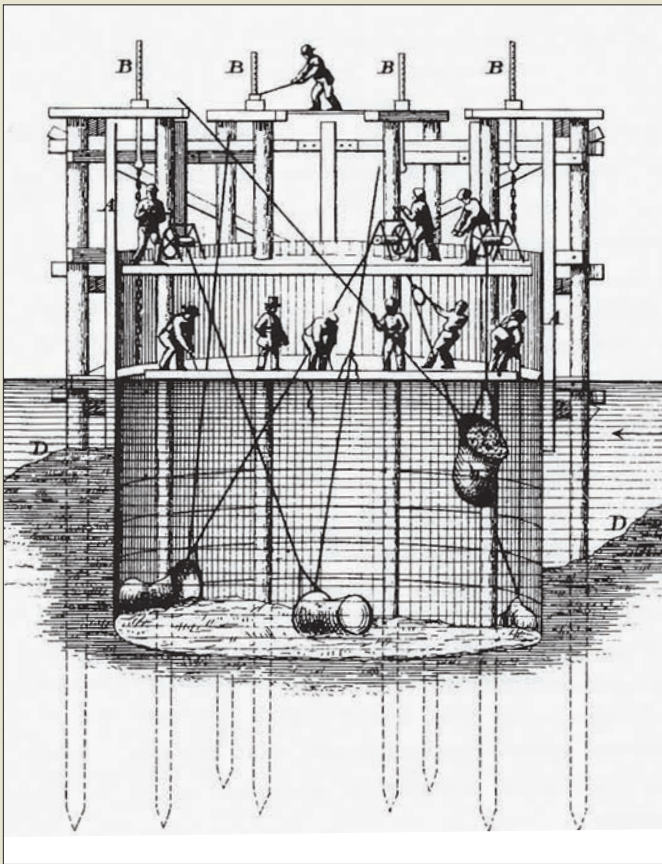
V historii se pak podobný způsob hloubené studny využíval i pro zakládání staveb přes neúnosné svrchní vrstvy a zejména pod hladinu podzemní vody. Doklady o tom pocházejí z podstatně pozdější éry mogulské říše v Indii po roce 1526. Hloubené studny vyplněné kamenem se tehdy často používaly dokonce pro zakládání mostů a masivně kolem roku 1640 pro založení slavného chrámového komplexu Tádž Mahal. Jelikož se v Indii tato technologie ukázala jako výhodná také při pozdějším budování koloniálních železnic, přenesla se i do Anglie, kde jí bylo v první polovině 19. století založeno několik mostů.

Obr. V. 14: Hloubení studny spouštěním tubusu její obezdívky s postupným podkopáváním a současným nadezdíváním ve starém Egyptě 3000 let př. n. l.



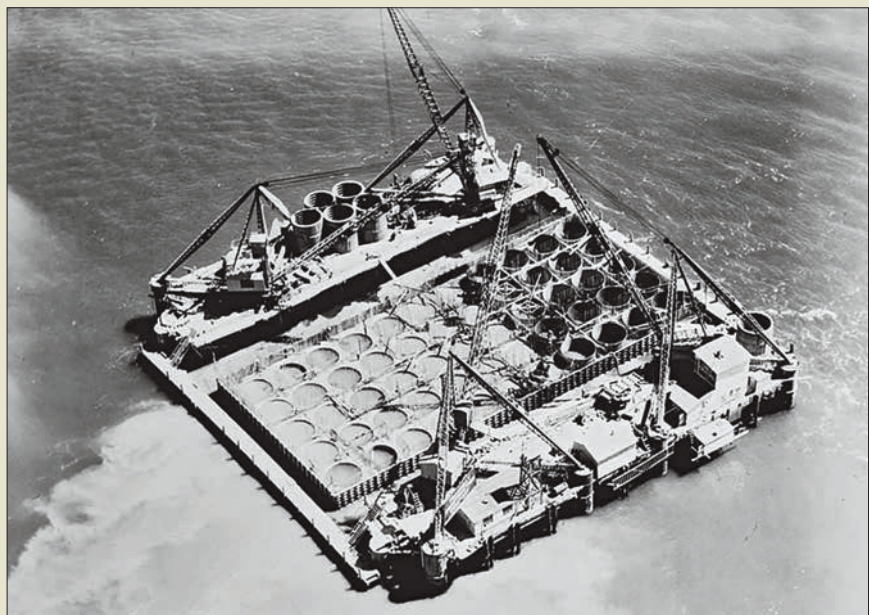
Rozměrnější skříňové kesony se nejprve sestavovaly ze dřeva a těžba uvnitř probíhala ručně. Již od poloviny 19. století se spouštěly především do říčních vodotečí (obr. V. 15). Zrychlení vývoje přineslo využití pevnějších materiálů pro konstrukci skříňů kesonů, nejprve smontovaných ze železa či oceli a nakonec ze železobetonu o příčném rozměru přes 10 m. Pozdější nástup mechanismů umožnil výkonnou strojní těžbu uvnitř spouštěných studní – od osmdesátých let 19. století pomocí parních drapáků. Podle okolností se kesony spouštěly většinou z nasypných ostrovů nebo jímek, zřídka též ze soulodí.

Touto metodou bylo postupně vybudováno množství zejména inženýrských staveb – mostů, přístavních a nábrežních zdí nebo majáků i jiných vodních děl. Například most Old Chelsea v Londýně byl roku 1858 založen na spouštěných kesonech o průměru 7 m, montovaných z litinových tybinků. Návodní pilíře řady mostů na indické řece Ganze, kde se ve zvodnělých písčích vymílá dno až do hloubky 25 m, byly zřízeny tímto způsobem od roku 1880 do hloubek přes 50 m. Poprvé byl takto založen most Malaviya u Benáresu. Spouštění kesonů se napomáhalo různými dalšími technologiemi. V SSSR se v písčité půdě od padesátých let využívalo vibrování nebo vplachování, v USA od čtyřicátých let tlakové rozplavování jílovité zeminy uvnitř kesonu tzv. **hydromonitorem** a čerpání vzniklého kalu airliftem.



Obr. V. 15: Spouštění otevřeného kesonu ručním odtěžováním kyprých sedimentů pro založení železničního mostu přes řeku IJssel v nizozemském Westervoortu roku 1850

Příkladem náročné kombinace technologií je slavný původní (v roce 2013 nahrazen novým) sanfranciský visutý most Oakland Bay Bridge z roku 1933. Byl založen na otevřených kesonech do hloubky až 74 m pod hladinu zálivu. Zvolená metoda odpovídala potřebě reagovat na proměnlivý průběh skalního podkladu. Kesonový základ pilíře byl proto členěný, sestavený z 55 samostatných ocelových rour o průměrech 4,5 m, smontovaných do jednoho celku v doku (obr. V. 16). Pro naplavení a usazení do pozice byly kesony podle originálního návrhu inženýra **Daniela E. Morana** nahoře uzavřeny a natlačovány vzduchem. Po uvolnění tlaku vzduchu na pozici pilíře se kesony zabořily do bahna na dně. Těžba uvnitř jednotlivých kesonů byla prováděna obvyklými lanovými drapáky a doplněna rozplavením jílové vrstvy na povrchu skalní horniny. Každý spuštěný keson byl proto dokonale osazen na skálu v podzákladí.



Obr. V. 16: Budování základů hlavních pilířů původního sanfranciského mostu Oakland Bay Bridge v roce 1933 ze skupiny otevřených ocelových kesonů o průměrech 4,5 m

Obr. V. 17: Spouštění otevřeného železobetonového kesonu o průměru 3,5 m a hloubce 80 m pro podzemní multireaktor ČOV pomocí vrtání na reverzní cirkulaci v Nizozemsku roku 1985 firmou Fundex

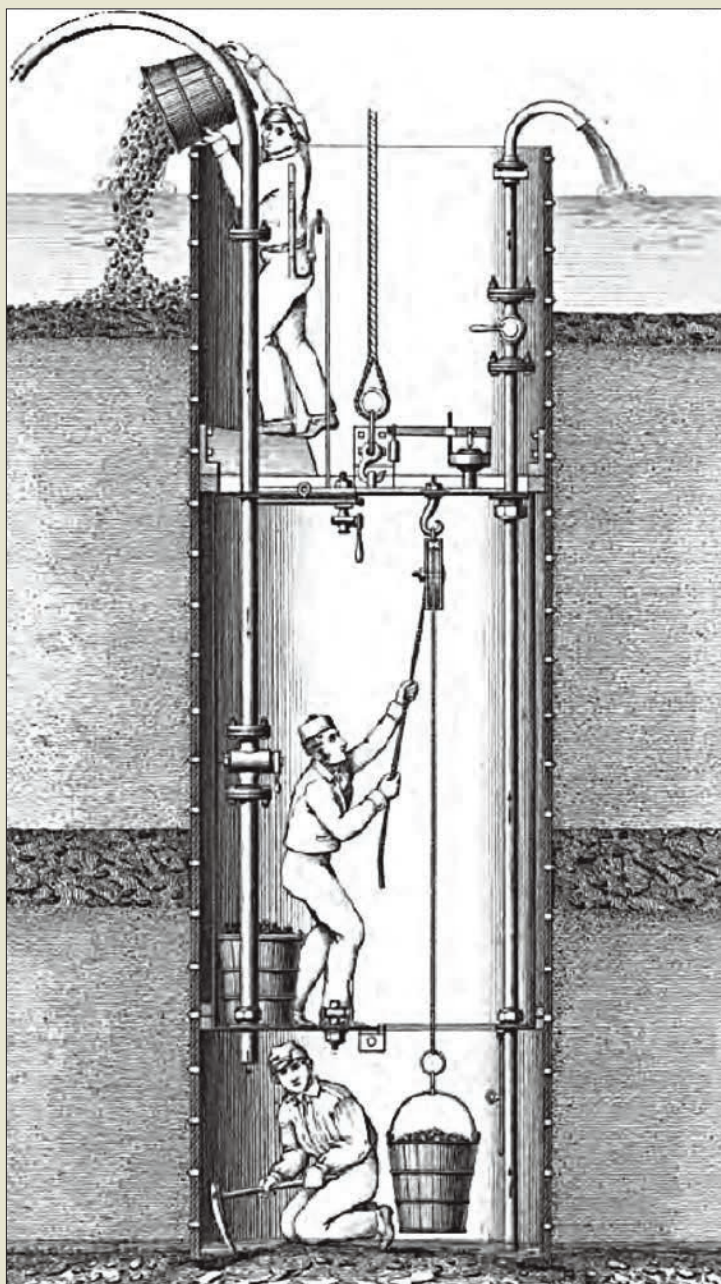
Moderním příkladem kombinace technologií je spouštění rozměrných kruhových kesonů s hloubením jednou výkonnou vrtací technologií (obr. V. 17).

V našich zemích byl poprvé založen na spouštěných otevřených železobetonových kesonech malých rozměrů železniční most přes Vltavu u Měchenic v roce 1896. Toto zakládání se u nás však příliš nevyužívalo kvůli častému výskytu balvanité vrstvy nad základovou spárou. U velké kesonově spouštěné trvalé konstrukce podzemní nádrže se to podařilo na stavbě ČOV v Neratovicích až roku 1954, ale pouze experimentálně.

PŘETLAKOVÉ KESONY

Vynález pneumatického kesonu je přičítán francouzskému geologovi **Jacquesu Trigerovi** v roce 1839. Triger se zabýval těžbou uhlí v povodí Loiry, kde bylo pro zřízení šachty potřeba překonat hloubku 20 m silně zvodnělého půdního prostředí a zabránit přítokům tlakové vody do těžebního prostoru. V té době již byla známa technologie stlačeného vzduchu, stejně jako idea tlakového kesonu od vynálezce Papina už z roku 1691. Tuto myšlenku rozpracovávali i další vynálezci. Triger však pro ni objevil rozhodující **princip vzdušnice**, přestupní komory uzavírající přetlakový prostor v kesonu od volné atmosféry (obr. V. 18). Zavedl ji do praxe a vybudoval s ní desítky důlních šachet.

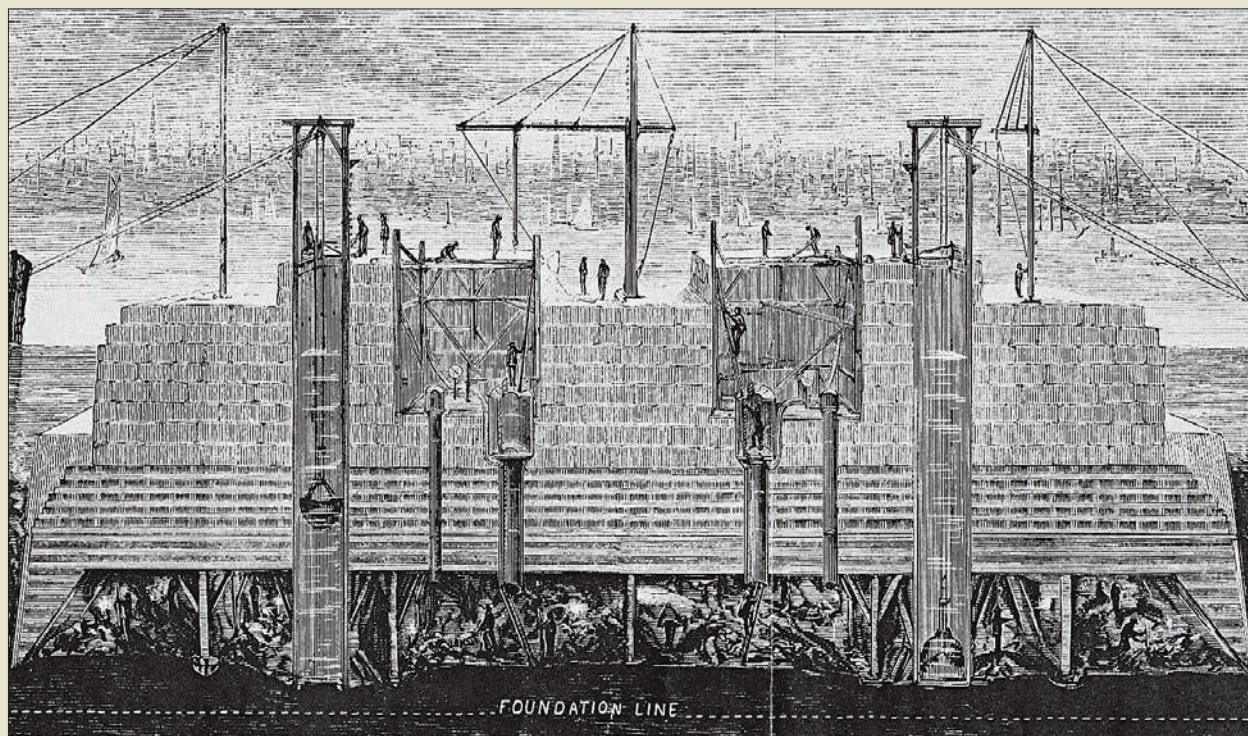




Obr. V. 18: Znárodnění principu budování uhelné šachty ve zvodnělém geologickém souvrství pomocí přetlakového kesonu podle Jacquese Trigera ve Francii roku 1839

Triger ovšem zaznamenal i prvotní projevy tzv. **kesonové nemoci**. Roku 1854 popsali lékaři v důlní oblasti francouzského Douchy trvalá postižení i úmrtí na její následky. Za příčinu označili dekompresi. Přesto se metoda šířila a pro základy stavby byla poprvé použita v roce 1851 v anglickém Rochesteru u mostu přes řeku Medway. Jako zdánlivě vysoce účinná technologie se začala uplatňovat u náročných inženýrských staveb v celém průmyslovém světě, avšak narůstaly též počty postižených dělníků. V roce 1870 tak bylo při stavbě mostu přes Mississippi v St. Louis zaregistrováno 119 trvale postižených a 14 úmrtí a podobně roku 1873 u newyorského mostu Brooklyn Bridge celkem 110 onemocnělých a 3 zemřelí (obr. V. 19). Situace se poněkud zlepšila po zavedení vynálezu již výše zmíněného D. E. Morana z roku 1898 na zdokonalení vzdušnice, umožňující lepší přestup personálu. Metoda přesto nadále zůstávala zdravotně závadnou.

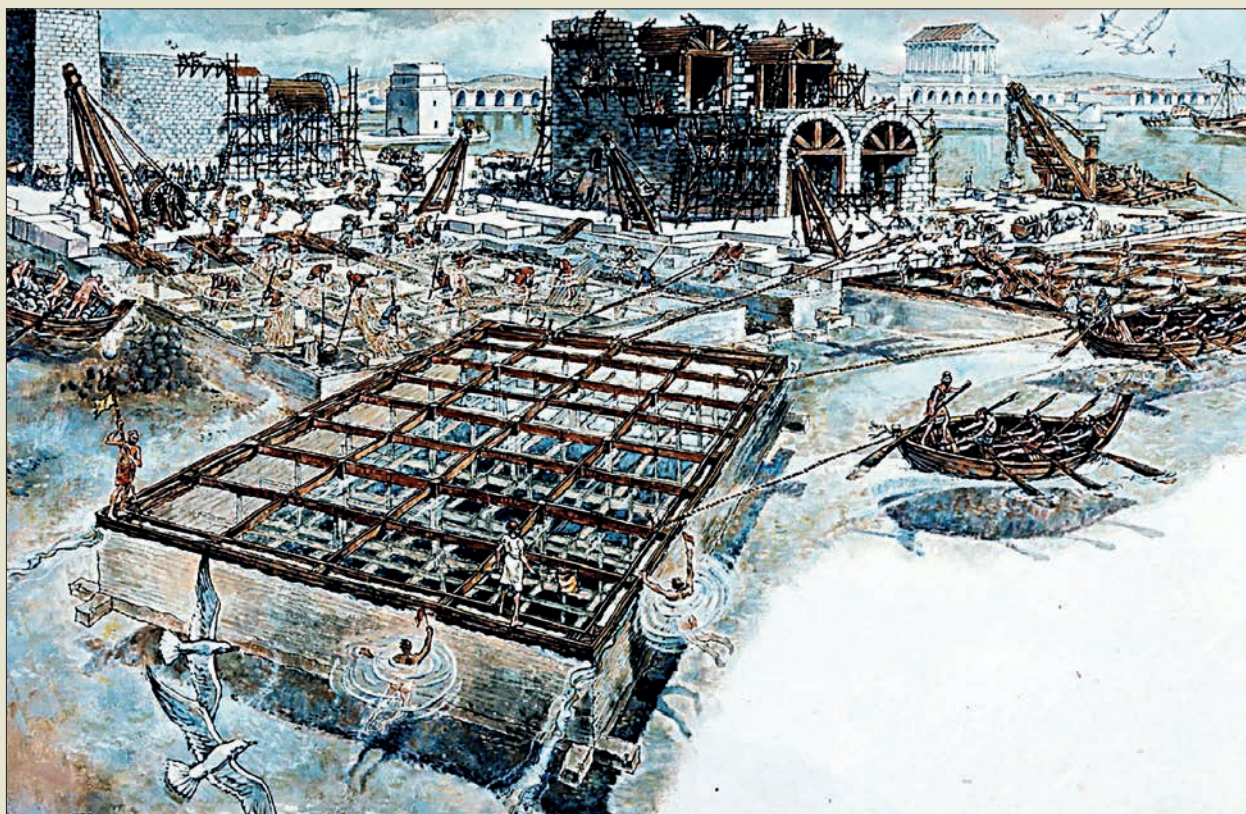
Pro snížení nebezpečí byly zavedeny postupy omezující expozici dělníků nepříznivým podmínkám, což u této výlučně ruční práce vedlo k dalšímu výraznému zvýšení nákladů. Nicméně téměř po dobu jednoho sta let tato metoda představovala nenahraditelný způsob zakládání náročných inženýrských staveb v obtížných geotechnických podmínkách, zejména ve zvodnělé balvanité základové půdě. Jednalo se především o návodní pilíře mostů, ale byla tak zakládána, například na válcových přetlakových kesonech o průměru 1,20 m, i většina newyorských mrakodrapů. Trvalo do roku 1940, než se začaly používat vrtané velkopřůměrové piloty, a pak byl rychle s touto metodou konec.



Obr. V. 19: Práce na založení mostu Brooklyn Bridge na Manhattanu v New Yorku pomocí přetlakových kesonů v roce 1873



Obr. V. 20: Vnitřek nýtovaného ocelového pneumatického kesonu č. 16 na stavbě plavební komory Štěrkov, prováděné firmou Lanna v roce 1927 (Z. Bauer)



Obr. V. 21: Znárodnění výstavby středomořského přístavu Caesarea v Judeji roku 20 př. n. l. s naplavaním skříňového základu na určené místo

V Čechách byl první železný pneumatický keson použit na stavbě mostu v Ústí nad Labem v roce 1872. Tímto způsobem pak byly založeny všechny pražské mosty i většina vodních jezových děl na hlavních řekách (obr. V. 20). Také oprava povodní pobořeného Karlova mostu byla roku 1891 zajištěna pomocí přetlakových kesonů. Po válce tak byl založen v roce 1952 i železniční most v Malé Chuchli. A úplně posledním byl v roce 1960 most přes Vltavu ve Zvíkově. V pozemním stavitelství bylo užívání této metody ukončeno roku 1958 založením budovy kina U Hradeb v pražské Mostecké ulici ve válcových přetlakových kesonech o průměru 1 m.

Odvrat od přetlakových kesonů byl u nás stejně rychlý jako jinde ve světě, jen asi o dvacet pět let zpožděný. Ještě v polovině šedesátých let se tato metoda vyučovala na pražské ČVUT jako vrcholná technologie zakládání staveb. Ale v roce 1968 se již hloubily stanice i tunely pražského metra moderními technologiemi speciálního zakládání podle západoevropské licence. Je však možné, že v budoucnosti se přetlakové kesony uplatní v robotické modifikaci bez nebezpečí ohrožení lidského zdraví.

SPODEM UZAVŘENÉ SPLAVOVANÉ KESONY / SKŘÍŇĚ

V raném starověku se obvykle využívala pro přístavy i pro přechody vodotečí přirozeně výhodná místa. Na řekách to většinou byly přírodní brody, schůdné zejména v příhodných suchých obdobích. Při časově naléhavých vojenských přesunech se z nutnosti zřizovaly provizorní plovoucí mosty ze soulodí běžných plavidel, anebo mosty založené na beraněných pilotách. Později s rozvojem velkých trvalých sídel byly pro kamenné základy mostních staveb a nábřeží používány propracovanější metody. Zachytil je ve svém ojedinelém několikasvazkovém díle z 1. století př. n. l. římský stavitel Vitruvius. Nejčastěji, pokud to umožňovaly podmínky, se budovaly návodní jímky (viz str. 122).

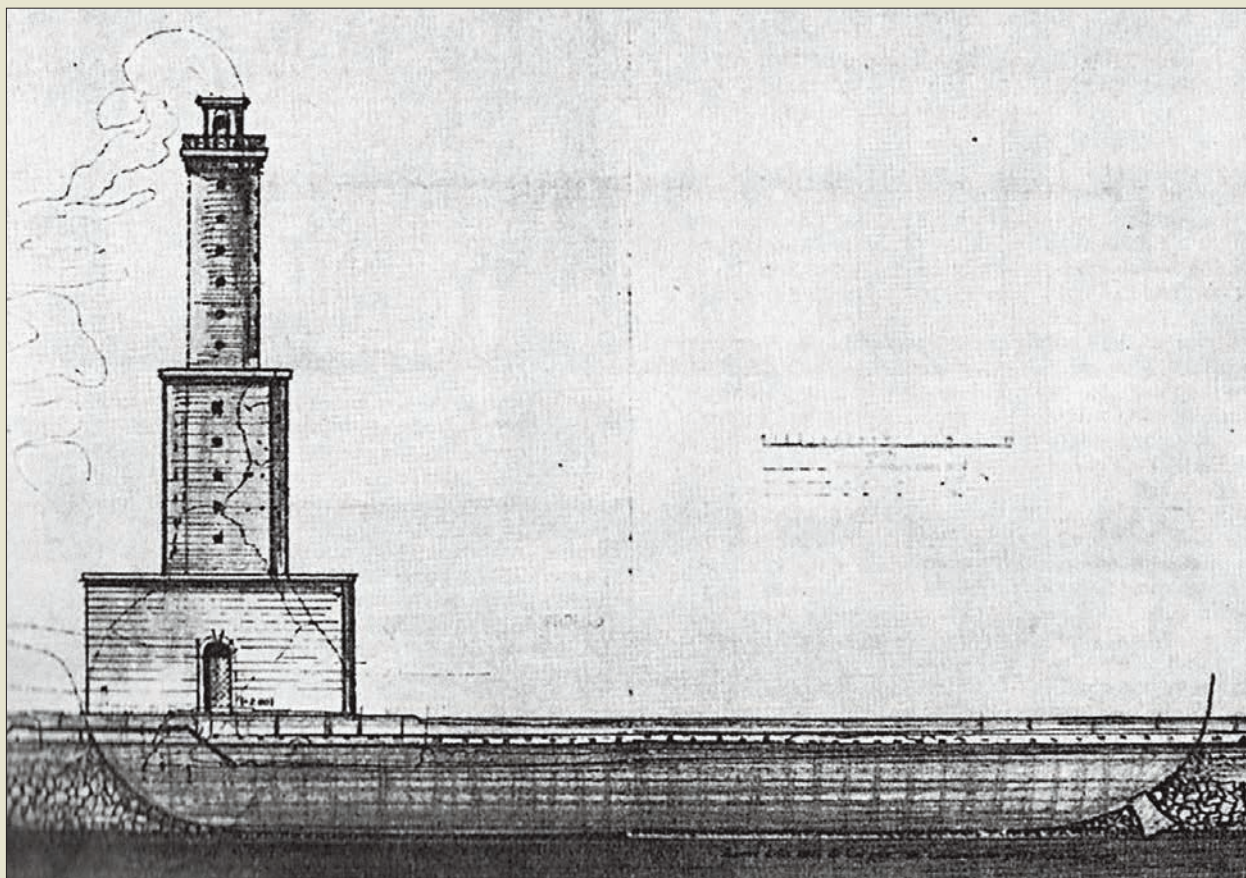
Avšak při základových podmínkách pro beranění jímký nepříznivých se používaly splavované nízké **dřevěné skříně** s podlahou z trámového roštu. Ty byly po dopravení na připravené místo za nízkého stavu vody potopeny kamennou zátěží na dno a následně nadezděny (obr. V. 21).

Takto byla zřejmě založena i většina našich středověkých mostů, pokud se do balvanitých štěrků dna nedařilo zaberanit dřevěné piloty nebo štetovnice pro jímkou, například most v Roudnici nad Labem v roce 1333 anebo pražský Karlův most roku 1357.

V hlubších a příbojových vodách bylo ovšem nutno potopit s kamennou zátěží větší plavidla. Známým příkladem patrně jedné z prvních takových staveb pozdního starověku je založení starořímského majáku v Ostii při ústí Tibery v roce 42 za císaře Claudia (obr. V. 22). Byla použita obří loď vyrobená k přepravě staroegyptských kamenných obelisků do Vatikánu.

Inovace této dávné myšlenky našla znovu uplatnění až v roce 1738 při stavbě Westminsterského kamenného mostu přes Temži v Londýně. Švýcarský inženýr **Charles Labelye** tam vyřešil problém založení pilířů v hluboké proudící vodě pomocí splavených masivních trámových skříní, spuštěných na dno tíhou nadezděných pilířů. Bylo tak poté založeno mnoho dalších mostů, zejména ve Francii.

Tyto metody zakládání předznamenávají pozdější podobné užívání obrovitých spodem uzavřených železobetonových kesonů moderní doby, postavených v docích a připlavených na místo použití. Uplatnily se zejména pro základové konstrukce přístavů a nábrežních zdí (viz obr. V. 29). Užití tohoto skříněového založení tak umožnilo svého času, ještě před nástupem hlubokých vrtaných pilot, překonat tehdy jinak neřešitelné problémy se zřízením mohutné stavby na málo únosném povrchu dna pod hladinou vodotečí.



Obr. V. 22: Nákres založení majáku v Ostii u Říma v roce 42 na potopené lodi s kamenným záhozem



Obr. V. 23: „Kyklopský“ betonážní ponorný uzavřený koš z oceli používaný v USA na začátku 20. století

BETONÁŽ POD VODOU

Pro určité obtížné staveništní podmínky, například pro zřízení betonového základu v otevřeném a vodou zatopeném kesonu, se ukázala jako nezastupitelná zvláštní technologie betonáže přímo do vodního prostředí. Naprosto principiální se potom stala pro metody zhotovování prvků speciálního zakládání pod ochranou pažicí suspenze. V dějinách je doloženo v díle stavitele Vitruvia starověké betonování pod vodou s použitím přírodních hydraulických pojiv. K prvním průmyslovým pokusům o betonáž pod vodou však údajně došlo až v první polovině 19. století v Anglii při zakládání mostů přes Temži. V souvislosti s nově objeveným portlandským cementem se tam zkoušely způsoby, jak zabetonovat pod vodou dna základových studní. Postupně se vyvinuly tři hlavní metody s odlišným přístupem k problému, jak zabránit rozplavení a odplavení cementového pojiva z ukládané betonové směsi.

Nejjednodušším způsobem bylo **spouštění oddělených dávek** betonové směsi přímo na místo uložení pod vodu, nejprve v pytlích, otevíratelných zdrhem lanového úvazku, později v různě utěsněných ocelových přepravních koších (obr. V. 23). Tento postup se rozšířil zejména v USA, kde jím byly betonovány i první velkopřůměrové piloty. Nakonec se však příliš neosvědčil a postupně se téměř přestal používat. Uplatňuje se ovšem v modifikaci pro speciální sanace betonových konstrukcí pod vodou.

Začátkem 20. století se intenzivně zkoušela v USA injektáž cementovou maltou do předem uloženého štěrku. Její princip vynalezl v druhé polovině 19. století anglický inženýr **W. R. Kinipple** při experimentech s injektováním **cementovou suspenzí** do štěrku (viz str. 175). Jeho úspěšnou aplikaci betonu in-situ převzaly pak anglické firmy pod názvem metoda **Colcrete**. Po rozšíření do Spojených států se zhruba od padesátých let označovala jako metoda oddělené betonáže **Prepect** podle jména přísady regulující tuhnutí. Ani tato technologie se však neosvědčila univerzálně a používala se dále jen pro opravy a jiné zvláštní podmínky.

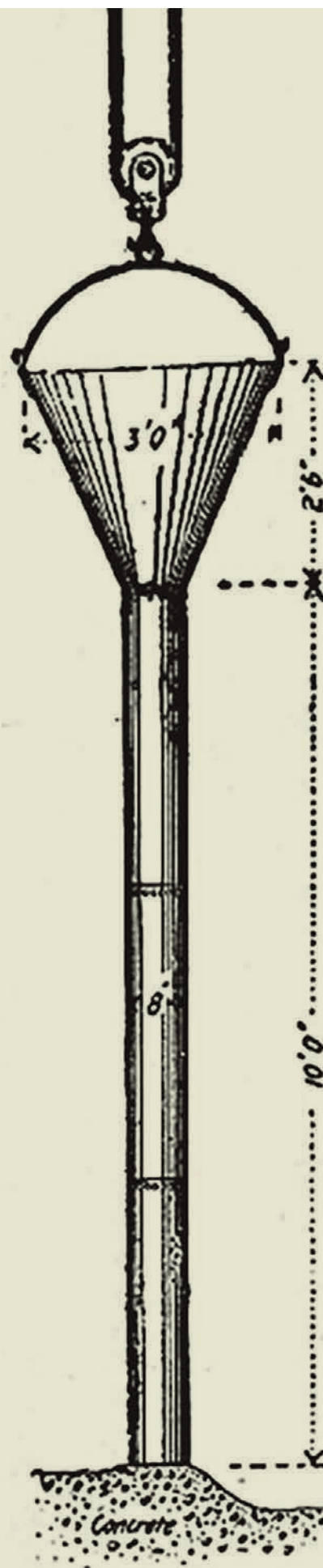
U nás se tato metoda oddělené betonáže pod názvem Prepakt používala u některých podniků v druhé polovině 20. století ke zřízení výplně vrтанých pilot. Neprokázala však dostatečnou spolehlivost vůči vniku nečistot do štěrkové výplně ještě před cementovou injektáží.

Jako nejúspěšnější se ukázala metoda betonáže pomocí **utěsněné kolony licích rour** (tremie pipe). Historickým příkladem z roku 1888 je použití dřevěné licí roury o čtvercovém průřezu s rozměrem 400 mm a spodním uzávěrem při betonáži základů mostu v návodní jímce ve Francii. Ve stejné době se podobná technologie úspěšně použila i na jiných evropských stavbách a také v USA, proto rychle nabyla všeobecné převahy (obr. V. 24). U nás se používala při výstavbě vodních děl od konce 19. století pod starým názvem „sypákové trouby“.

Počáteční nevýhoda obtížné manipulace s kolonou licích rour postupně díky rozvoji jeřábové techniky odpadla a zcela tak převážila spolehlivost dosahované kvality betonáže. Podstatnější modifikací této metody se stalo až o sto let později ukládání betonu pod vodou tlakovým čerpáním, které však nepřekonallo své určité nevýhody.

V oboru speciálního zakládání je tedy technologie betonáže licími rourami po více než sto let trvale základní a klíčovou technologií, aniž by došlo k jejím výrazným změnám. Dokládá to, jak se některá prajednoduchá technická metoda dlouhodobě osvědčí i pro řešení komplexního problému, jakým bezesporu betonáž pod vodou je. Velmi názorně je to vidět při jejím srovnání s velmi sofistikovanou technologií vrtání reverzní cirkulací u moderního provádění pilot (viz obr. IV. 53). Odborníci vždy dobře věděli, jak dokonalých výsledků lze touto zdánlivě „primitivní“ technologií dosáhnout. A naopak, jaké poruchy vzniknou těm, kdo nerespektují její pevná pravidla.

Obr. V. 24: Nákres betonářské kolony ocelových licích rour o průměru 20 cm použité roku 1887 pro zřízení základů v hloubce 6 m pod vodou na stavbě mostu přes řeku Charles v Cambridgi v Massachusetts



Č Á S T C

OPĚRNÉ A ZÁRUBNÍ ZDI

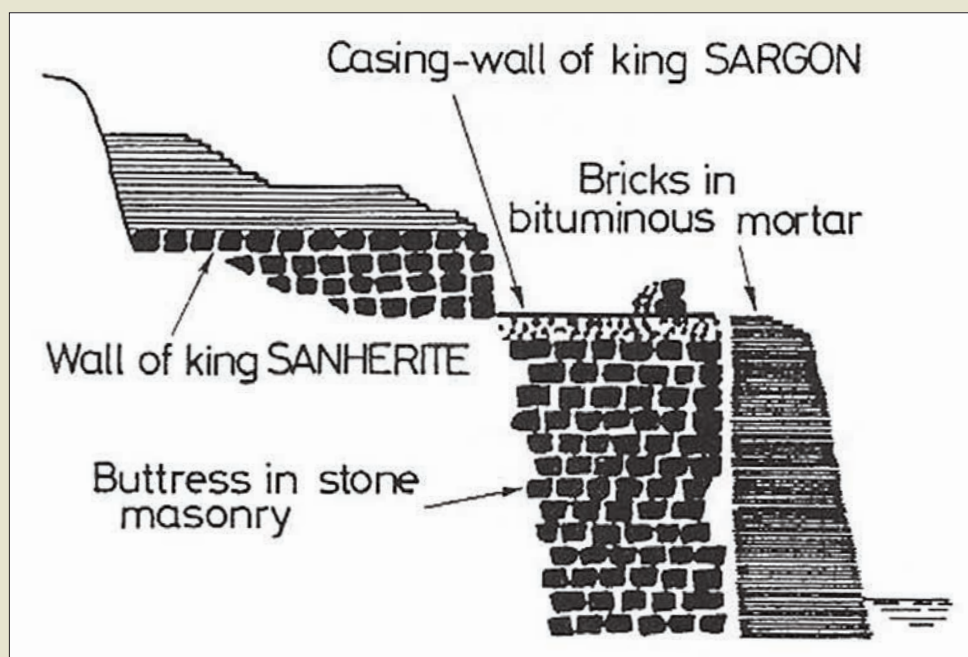
Tyto konstrukce, podírající zemní zářezy nebo násypy, se objevují již na samém začátku dějin stavebnictví. Jde obecně o geotechnické konstrukce čelící bočním tlakům základové půdy nebo působení tlaku vody. Příkladem jsou navršené zemní konstrukce pro náboženské účely známé už z 10. tisíciletí př. n. l. Zmínili jsme již také velmi rané počátky řemeslného roubení k zajištění hlubokých výkopů pro studny z 5. tisíciletí př. n. l. To vše mělo souvislost se vznikem míst trvalého osídlení při přechodu k obdělávání půdy.

Ve vrcholném období této civilizační přeměny došlo zhruba od 6. tisíciletí př. n. l. k budování ojedinělých monumentálních velechrámů, tyčících se stupňovitě do mohutné výšky, například v Mezopotámii. Byly většinou zhotoveny pomocí principiálně jednoduchých **opěrných gravitačních konstrukcí** z nepálených cihel, vyztužených rákosovými rohožemi. Jejich jednotlivé stupně dosahovaly výšky až 15 m. Trvanlivost takových staveb byla pochopitelně omezená. Archeologické výzkumy však dokládají, že jeden z nejstarších chrámů byl postaven v sumerském městě Eridu v bažinaté deltě Eufratu asi v 5. tisíciletí př. n. l. Již tehdy se podařilo zvládnout několik metrů hluboký výkop základové jámy a navršit několik desítek metrů zděných opěr pro vrcholek zikkuratu. Bohužel neznáme podrobnosti, jak to tehdejší stavitelé dokázali. Pozdější zikkurat Etemenanki v Babylonu z roku 1130 př. n. l., který možná inspiroval biblický příběh, sestával ze sedmi stupňů a byl údajně vysoký více než 75 m. Podle výzkumů činilo napětí v základové spáře 1,5 MPa, přestože byl postaven v lokalitě měkkých zemin, kde blízké stavby sedaly až o několik metrů.

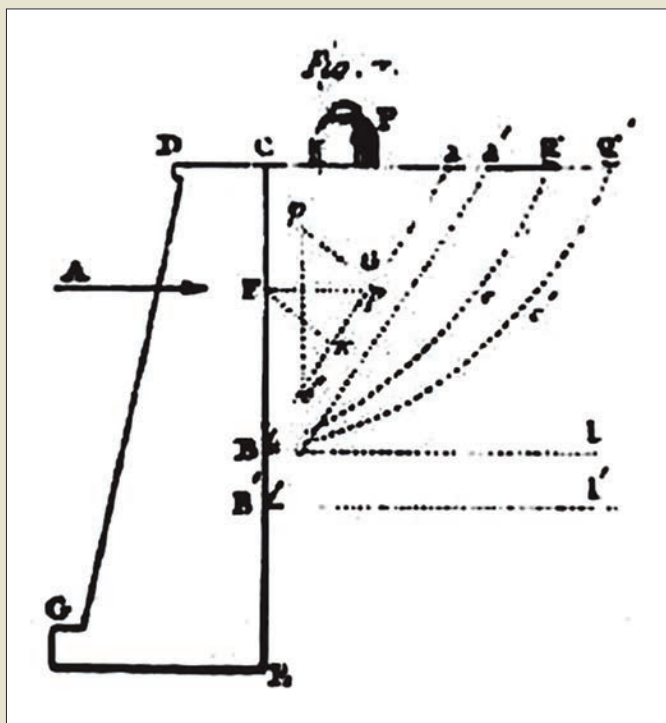
Ve stejné době se budovaly i první rozsáhlé užitkové stavební projekty v dějinách lidstva, jak to vyžadoval rozvoj trvalého hospodaření na půdě. Byly to závlahové systémy s poměrně vysokými povodňovými hrázemi, dlouhými kanály a hrázemi zadržovacích nádrží. Velké stavební problémy se vyskytovaly obzvláště v nížinné Mezopotámii s mírnějším sklonem řečiště. Projevovaly se změnami trasy toku a mocnými siltovými naplaveninami. To vyvolávalo naléhavou potřebu zpevňovat svahy toků a kanálů. Na velkolepost takových staveb i jejich technickou náročnost provedení můžeme usuzovat například z dochovaných zbytků pozdějšího městského komplexu Ašur z 13. století př. n. l., položeném výše proti proudu řeky Tigris ve skalnaté Asýrii. Stavby tam bylo možno kombinovat s místně dostupným kamenem (obr. V. 25).

V Egyptě se za tamních přírodních podmínek, poskytujících výhodně dostupný kámen, zase rozvinuly mnohé opěrné konstrukce z kamenné rovnaniny. Neuvěřitelně strmé svahy pyramid byly vytvořeny v 3. tisíciletí př. n. l. z hrubě balvanité rovnaniny, pokryté následně obezdívkou z hlazeného kamene (obr. V. 26).

Obr. V. 25:
Znázornění
nábrežní zdi
z vápencových
kvádrů s návodním
opevněním z cihel
s asfaltovým
pojivem postavené
podél řeky Tigris
v délce 1500 m
v asyrském městě
Ašur ve 13. století
př. n. l.



Obr. V. 26: Pyramida Meidum v Egyptě z období 2750 př. n. l. s poruchou líce obnažující pohled na vnitřní stavbu z kamenné rovnaniny



Obr. V. 27: Původní skica Augustina de Coulomba z roku 1773 znázorňující teorii působení tlaku klínu zeminy za opěrnou zdí

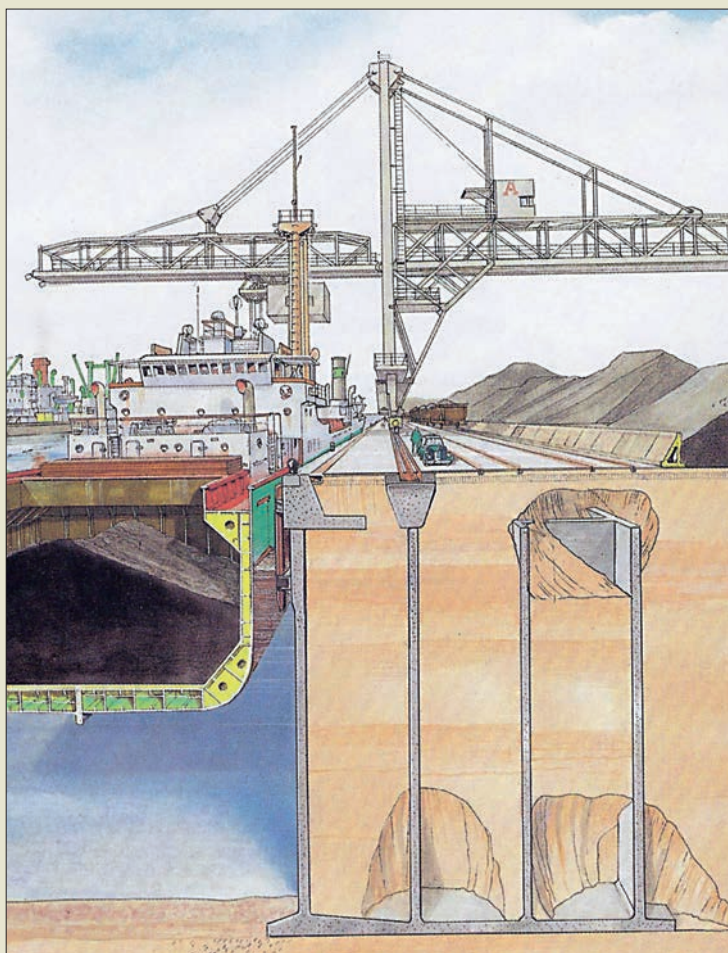
Obdobné kamenné opevnění, rovněž obložené vápencovými kvádry, bylo použito pro velkou protipovodňovou přehradu Sadd el-Kafara, postavenou na vádí vedoucím do Nilu poblíž Káhiry ve 26. století př. n. l. Tato zemní hráz byla jedním z prvních děl svého druhu na světě, které však zůstalo po ničivém střetu s povodní navždy nedokončeno. Ovšem již tehdy dosahovala impozantní výšky 14 m.

Po uvedených geotechnických úspěších v epoše starověkého stavitelství zůstává faktem, že v následujících staletích nedochází v dosažených znalostech k výraznému pokroku. Pravděpodobným vysvětlením je převaha fenoménu válčení. Dokladem jsou v oblasti geotechniky **opěrné zdi**, které byly podstatným prvkem **fortifikací**, navršených převážně ze sypaniny. Opevňování sídel



Obr. V. 28: Přístavní zed' v nizozemském Boompjesu v roce 1850; kombinace z kamene vyzděné opěrné zdi na základových dřevěných pilotách

Obr. V. 29: Přístavní zeď v nizozemském Waalhavenu v roce 1956. Skříňový železobetonový uzavřený keson slouží multifunkčně jako opěrná konstrukce, opevnění přístavu proti příbojové erozi a základ pro provozní jeřáb.



a výstavba válečných pevností se staly dlouhodobým rysem společnosti. S růstem dovednosti v opeňování však pochopitelně soutěžila dovednost v dobývání takových staveb. V období antiky tak již byly známy obléhací věže vysoké až 60 m. Proto se stavěly co nejmasivnější a předimenzované konstrukce, aby odolaly destrukci při dobývání.

I v českých zemích lze sledovat podobný historický vývoj od keltských zemních valů raného starověku přes středověká opevnění hradů až po novověká zděná opevnění měst. Příkladem je barokní citadela Vyšehrad či pevnost Josefov. Ty již ukazují obrat, který ve výstavbě těchto objektů nastal v 17. století. Způsobily ho změny ve válečnictví, především pokrok v dělostřelectvu. Dosavadní masivní hradby začala nahrazovat složitější obrana s polygonální fortifikací, tedy s vysunutými palebnými baštami.

Nové potřeby členitého opeňování vyžadovaly i nezbytnou podporu **geotechnické teorie**. Bylo to zcela v souladu s všeobecným rozvojem technických věd. V mnoha oblastech života je tehdy zaváděly výjimečné osobnosti, vycházející ze zkušeností každodenní praxe a jejich požadavků. Přímo ukázkově je tato skutečnost spojena se jménem všestranného francouzského vědce **Charlese-Augustina de Coulomba** (viz str. 289). Ten stanovil v roce 1773 teoretické základy statického navrhování opěrných konstrukcí (obr. V. 27).

Jeho teorie, kterou postupně rozvíjeli další odborníci, se stala účinným nástrojem pro zřizování opěrných a zárubních zdí nepřeborných variant a kombinací, mnohdy v původní gravitační verzi a kombinaci s jinými prvky speciálního zakládání (obr. V. 28), jindy třeba v mohutné skříňové modifikaci (obr. V. 29).

Z původní verze gravitační konstrukce se podle geotechnických podmínek a použitých materiálů vyvinuly rovněž různé varianty prefabrikovaných vetknutých (viz část D. této kapitoly) nebo kotvených konstrukcí (viz kapitola VI.).

Č Á S T D

PAŽICÍ KONSTRUKCE A STĚNY

NÁVODNÍ JÍMKY

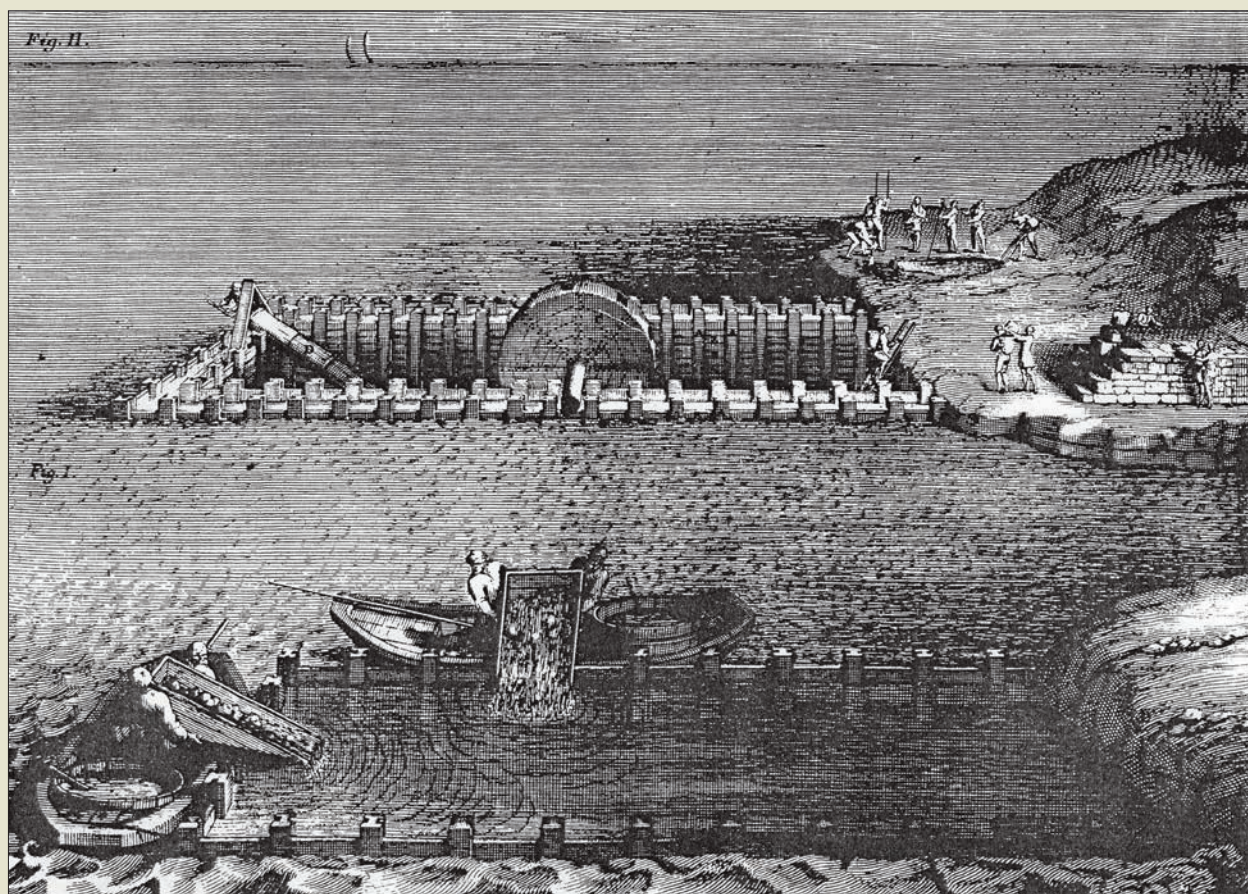
Z chronologického pohledu je budování dočasných jímek pro základy staveb umístěných ve vodoteči jedním z časných vstupů speciálních stavebních metod do stavitelství. Šlo vlastně o první typ konstrukce pro zapažení výkopu před působením okolní vody. Dnes patří návodní jímky výlučně do speciálního zakládání a kombinují velmi různé technologie.

Prvními typy jímek byly jednoduše nasypané zemní hráze. Podstatným vylepšením byla později kombinace se zpevněním hráze vnějším zapažením beraněnými pilotami, zejména pak při dvojité jímce, umožňující z obou stran ochranu vnitřního těsnicího jádra z dusané jílovité zeminy nasypané do vody. Tato metoda vycházela z dávného principu jednotlivých beraněných pilot použitých jako vzájemně se dotýkající pažicí prvky. Ještě později tyto piloty tvořily přitesané desky, které již předcházely ocelové štětovnici anebo variantu záporového pažení. Ve starověku to byl známý postup. Tradiční metoda je popsána a ilustrována v díle Vitruvia z 1. století př. n. l. (obr. V. 30).

Zavedení ocelových štětovnic zvýšilo efektivitu metody jímkování skokově. Dříve byla v těžších geologických podmínkách pro dřevěné prvky zoufale neúčinná (viz též str. 24). Časem se postupně vyvinuly pro obzvláště obtížné podmínky silně proudící vody nebo při ohrožení ledochodem **srubové jímky** z těžkých trámových roštů, zatížených násypem kameniva. I ty však později nahradily stěny z těžkých velkopřířezových ocelových štětovnic nebo konstrukce sestavené z návazných **komorových jímek** ze štětovnic. Jak již bylo uvedeno dříve, v tuzemsku byly poprvé použity ocelové štětovnice ze starých kolejnic pro jímky pilířů mostu v Měřejovicích na Vltavě v roce 1901 (viz str. 25). Od roku 1905 se používaly nedoválcované ocelové profily U, například na stavbě Čechova mostu v Praze, a od roku 1913 již skutečné štětovnice různých zahraničních výrobců, například při budování říčního stupně na Labi v Kolíně (obr. V. 31).

Ocelové štětovnice různých typů a modelů, včetně technologií jejich instalace a odlišných metod konstrukce díla, ovládají celosvětově jímkování dodnes (obr. V. 32). Pro největší stavby se však obvykle budují jímky ze sypaných hrází s vnitřní těsnicí podzemní stěnou.

V druhé polovině 20. století byly již k dispozici silné stroje, které mohly v případě potřeby sestavit komorové jímky z jednotlivých velkopřířezových komůrkových prvků, především z ocelových rour spojených vodicími zámkami (obr. V. 33).



Obr. V. 30: Z Vitruviova díla – nahoře jsou znázorněny alternativní metody odčerpání vody z vnitřku dvojitých pažicích stěn Archimedovým šroubem nebo vodním kolem pro zhotovení základů v suchu. Dole je znázorněna výplň prostoru uvnitř jednoduchých pažicích stěn odděleně kamenivem a přírodní pucolánovou hydraulickou směsí do vody.



Obr. V. 31: Budování jezových jímek v Kolíně roku 1915 firmou Kapsa a Müller, v popředí parní beranidlo americké firmy Ingersoll při ražení štětovnic typu Ransome, v pozadí ruční beranidlo pro ražení dřevěných štětovnic (Z. Bauer)



Obr. V. 32: Rozpíraná štětová jímka na Dunaji těsněná ve dně tryskovou injektáží pro založení pilíře mostu Apollo v Bratislavě v hloubce 8 m pode dnem roku 2005 (Zakládání staveb, a. s.)

Obr. V. 33: Návodní jímka z ocelových výpažnic o průměru 1118 mm zavrtaných do 22 m v balvanitém prostředí při hloubce vody 8 m pro přístavbu vodní elektrárny ke stávající přehradě Derbendikan v Iráku roku 1982 (Zakládání staveb, a. s.)





Obr. V. 34: Částečně roubená a pažená jáma hloubená pomocí parního jeřábu v poměrně stabilní zemině pro stanici pařížského metra v roce 1899

PAŽICÍ KONSTRUKCE

Historické počátky

Původně se konstrukce pažení stěn hlubokých výkopů označovala odvozeně od zajištění hlubokých studní a šachet názvem roubení. Užívalo se i pro trvalou obezdívku kruhových studní, kde se při stavbě využíval klenbový účinek horninového prostředí. Rozvoj stavitelství se ve starověku zpočátku vyhýbal obtížným akcím vyžadujícím náročné roubení. Využíval různé výhodné možnosti poskytované přírodou. Výjimku tvořily báňské a návodní stavby, u nichž byl vývoj roubení a pažení nezbytný.

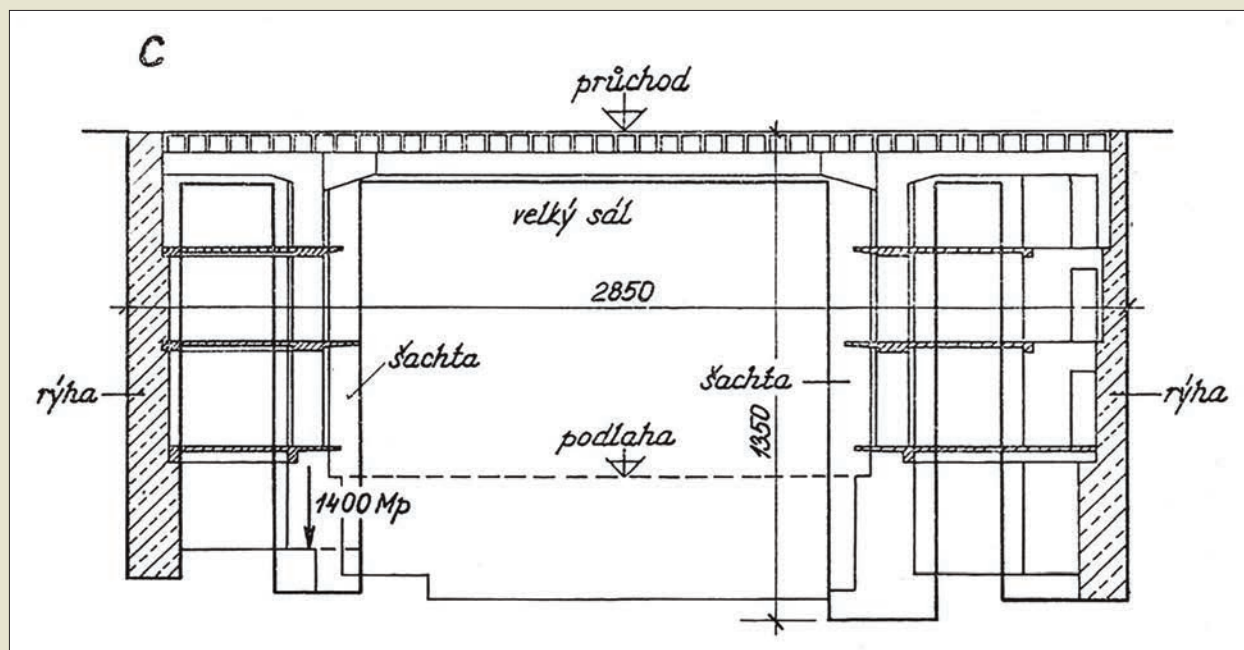
Prvopočátky hornictví jsou sice archeologicky doloženy již v době paleolitu 43 000 let př. n. l., kdy byly v jeskyních Svazjska kopány barevné hlinky a jinde podobně těžen pazourek. Kromě podzemní jeskynní těžby však probíhalo získávání potřebných surovin dlouho povrchově. Skutečná báňská činnost nastala až s příchodem doby bronzové, zhruba 3000 let př. n. l. Ražbu šachet a štol s využíváním dřevěného roubení rozšířili intenzivněji až Římané na počátku našeho letopočtu zejména ve Španělsku a Británii. A k opravdovému rozvoji hornictví došlo teprve ve středověku s rostoucí poptávkou po železe na zbraně a brnění.

V průběhu tohoto vývoje se prohlubovaly zkušenosti s odlišností účinků **pažení a jeho rozpírání**. Pažení zajišťovalo nestabilní části stěny hornin a rozpírání zabezpečovalo stabilitu větší plochy nebo prostoru výrubu. Zároveň se tyto znalosti přenášely do jiné významné oblasti stavitelství – do staveb opevnění. Bylo potřeba zajistit základové rýhy i jámy, u nichž ovšem nebylo možno využít přirozeného klenbového účinku hornin jako u podzemních štol. Uplatňovaly se také zkušenosti z raně historických staveb návodních jímek a z jejich rozpírání proti působení vodního tlaku. Všechny znalosti a zkušenosti se během staletí sbíraly jen velmi pomalu do podkladů vznikající geotechnické vědy. V metodách pažení výkopů se to začalo výrazněji projevovat až v první fázi průmyslové revoluce. Připomeňme proto, jak ještě téměř na počátku 20. století vypadalo zajištění výkopů velkých projektů (obr. V. 34).

V málo stabilních zeminách vytvářelo klasické pažení a roubení hustou síť rozpěr, znemožňující použití nově dostupné mechanizace. U nás se tak stavěla rozlehlá, 12 m hluboká jáma pro budovu ČNB v Praze Na Příkopě ještě v roce 1936. Práce probíhaly v suché písčité zemině ve spleti výdřevy velmi pomalu po dlouhé tři roky.

Při této příležitosti je nutno zmínit ojedinělé a inovativní řešení zakládání uplatněné o něco dříve v podobných podmínkách. Představil ho vynikající stavitel profesor **Stanislav Bechyně** již v roce 1914 na stavbě podzemního sálu paláce Lucerna v Praze. Nejprve byly vybetonovány obvodové suterénní zdi budovy v pracně ručně vyhloubených a na sebe navazujících šachtách, a stejně tak v šachtách vnitřní sloupy až na hloubku 13,5 m. Potom byla budoucí suterénní konstrukce rozepřena v úrovni terénu vybetonovaným stropem. Teprve následně probíhala ruční těžba suterénu pod ochranou stropu a stěn s postupným rozpíráním hloubené jámy nově zřizovanými konstrukcemi průběžných balkonů po vnitřním obvodu (obr. V. 35). Jednalo se vlastně o dokonalé předznamenání metody výstavby **Top-Down**, používané pak koncem 20. století. Tu ale bylo možno použít až s nástupem podzemních stěn, účinných i v prostředí s vysokou hladinou podzemní vody.

Zásadní akcelerace ve vývoji hloubení nastala až s příchodem **silné mechanizace** na začátku 20. století. Strojní hloubení upřednostnilo zřizování mělkých jam jejich svahováním, ale zároveň vyvolalo potřebu pažicích konstrukcí pro hlubší jámy, zejména pro městskou zástavbu. To znamenalo hledat teoretickou podporu jejich účinného navrhování, neboť musely vzdorovat kombinovaným zemním tlakům. Významným způsobem tehdy k teorii pažicích konstrukcí přispěl profesor



Obr. V. 35: Zakládání velkého podzemního sálu pražského paláce Lucerna pomocí předem zřízených obvodových stěn v šachtách a s vytěžením jámy pod ochranou stropu při postupném rozpírání obvodovými balkony podle návrhu prof. Bechyně v roce 1916

Karl Terzaghi, který v roce 1941 vysvětlil kvantitativní vliv deformací na rozdělení zemních tlaků. Od druhé poloviny 20. století se pak vývoj ještě zrychlil. S nástupem výkonnější techniky se zvýšil účín používaných robustních pažicích prvků. Zároveň se nově objevila technologie **kotvení přímo přes tyto prvky** bez potřeby roznášecích převázek. Otevřela se tak cesta k dříve nepředstavitelným projektům extrémně hlubokých základových jam v husté městské zástavbě v součinnosti s podchycováním těsně sousedících objektů bez omezení jejich provozu. Původní pojem roubení ustupoval do pozadí a začal převládat název **pažicí stěny** i pro stěny klasicky rozpírané. Tato metoda se stala jedním z technických vrcholů geotechnických konstrukcí. Ve stavební profesi jsou její technologie natolik pozitivně oceňovány, že se to promítlo i do zlidovělého názvosloví. Často jsou označovány podle místa svého původu, tedy **berlínská, janovská** či **milánská stěna**.

RAŽENÉ PAŽICÍ STĚNY

Raným předchůdcem pažicích stěn byly dřevěné piloty beraněné v řadě. Běžně se používaly jako palisádové hradby v opevnění. Potýkaly se ale s problémem velmi obtížného beranění mezi těsně sousedními pilotami, takže i ve vhodných půdních podmínkách je šlo vetknout jen relativně mělce. K zajištění následného hlubšího výkopu bylo tedy nezbytné ponechat při beranění mezi těmito pilotami mezery, které se ale pak musely podle okolností při odtěžování zeminy zajistit vodorovnou **pažicí výdřevou**. Tak se vyvinulo **záporové pažení**, jež ve svém díle znázornil Vitruvius u provádění jímky (viz obr. V. 30), anebo se razily štíhlejší prvky z dřevěných desek – štětovnic –, což byla praxe také převzatá z jímkování.

Po tisíciletí nedošlo v této oblasti téměř k žádnému pokroku, až teprve po vstupu oceli na scénu koncem 19. století. Technologie ražených **stěn z ocelových štětovnic** spojených navzájem pevnými zámky se stala výhodným způsobem pažení zejména v písčitých základových půdách (viz str. 24). Dalším významným činitelem bylo již zmíněné kotvení v druhé polovině 20. století, které nahradilo obtížné rozpírání. K tomu se přidala vysoce výkonná beranidla a mohutnější ražené prvky, ale i další technologie vhnění, například vibrování. Proto se štětové stěny stále v určitých podmínkách úspěšně využívají v konkurenci s jinými metodami.

ZÁPOROVÉ STĚNY

Zrod výroby ocelových válcovaných profilů zavedl také další metodu pažicích stěn, díky které se dávná Vitruviova myšlenka konečně realizovala využitím přírub těchto prvků. Začala se používat zkraje 20. století v USA i v Evropě. V evropském inženýrském žargonu se pro ni vžil pojmenování **berlínské stěny**, protože záporové stěny se široce uplatnily při výstavbě berlínské podzemní dráhy. První podzemní dráhy v Evropě i v USA sice vznikly již na konci 19. století, ale otevřené výkopy se často nacházely ve výhodné geologii nebo byly improvizovaně zapaženy (viz obr. V. 34). V Berlíně vedla městská U-Bahn nejprve po povrchu, avšak po prvním úspěšně provedeném podzemním podchodu roku 1908 se v centru města přešlo na mělké hloubené tunely (obr. V. 36), pažení právě pomocí **ražených zápor**.

Jednotlivé záporové stěny bylo možné v jemných berlínských písčích velmi dobře a pozičně přesně zaberanit. Rovněž osazování mezilehlých vodorovných **pažin** bylo v tomto materiálu spolehlivě řemeslně zvládnutelné. A u liniové stavby podzemní dráhy bylo těž přijatelně řešitelné klasické rozpírání stavebních jam. Po 1. světové válce se proto na podkladě předchozích zkušeností začala tato metoda systematicky používat, tehdy již s větším příčným rozměrem a se zapojením dočasného hloubkového odvodňování těsně za záporovou stěnou. Protože se technologie ve výhodných místních podmínkách tak dobře osvědčila, nebylo divu, že se tam ražené záporové stěny prováděly ještě v šedesátých letech. A jejich použití se rozšířilo do podobných podmínek i jinde.

Další úspěšný rozvoj záporového pažení posílilo používání velkopřůměrových vrtů pro instalaci zápor. Nejprve si to vyžádala potřeba zajistit vnik záporu do tvrdého nebo šterkovitého podloží, jako například v Mnichově již roku 1939. Vetknutí kořene se provádělo doberaněním do předvrtu, později se přešlo na zabetonování paty záporu osazené



Obr. V. 36: Výkop jámy zajištěné raženým záporovým pažením pro hloubený tunel berlínské U-Bahn na Dresdener Strasse roku 1907

ve volném vrtu. Správné provedení kořene záporu je mimochodem jedním z příkladů, jaký význam mají prováděcí tzv. technologické vlivy na kvalitu a výslednou funkci základových prvků. Nejrychleji se tato praxe rozšířila v meziválečném období na stavbách v USA a v Kanadě, kde nebyl 1. světovou válkou narušen plynulý rozvoj vrtných souprav. Zhruba od šedesátých let si stejný způsob všeobecně vynutily předpisy pro snížení hluku a otřesů v městské zástavbě. Postupem času byly pro konstrukci zápor někdy využívány i jiné prvky než válcované nosníky – například prefabrikované nebo na místě betonované piloty či další druhy pažin kromě klasických dřevěných. Rozvoji zápor později velmi napomohlo kotvení, takže se prováděly vysoké záporové stěny kotvené v mnoha úrovních.

V tuzemsku se ražené záporové stěny kvůli obecně obtížnější geologii používaly poměrně omezeně a dávala se přednost stěnám štetovým, a to až do zavedení silných vrtných souprav v sedmdesátých letech. První stavební jáma v ražených záporách byla provedena v roce 1962 pro kotelnu v Praze 7. Poslední opravdu velká městská jáma, zajištěná beraněnými záporami, byla zřízena na stavbě pražského obchodního domu Máj roku 1972. Tu však prováděla firma SIAB ze Švédska, kde se tato tradiční technologie zvykově užívá dodnes. V roce 1971 se již prováděly první pažící stěny z vrtných zápor pro stavbu stanic metra na Kačerově, na Pankráci a u Hlavního nádraží. Došlo však tehdy k první havárii záporové stěny na stavbě odbavovací haly, ze které plynulo poučení o nezbytnosti dodržovat správný technologický postup. Záporové stěny se pak u nás staly jedním z častých řešení pažení základových jam (obr. V. 37).

VRTANÉ PILOTOVÉ STĚNY

Původní problém ražených pilotových stěn byl zhruba od třetiny 20. století zásadně odstraněn s nástupem technologie vrtaných pilot zřízených na místě ze železobetonu (viz str. 72–73). Pak bylo možno vrtat piloty velmi blízko nebo i těsně vedle sebe, pokud to umožnily podmínky základové půdy. To ovšem pro historicky první technologie nárazového vrtání s krátkou výpažnicí mnohdy možné nebylo.

Někdy bylo naopak možno využít poměrně stabilní zeminu a umístit piloty instalované bez vlivu na okolí poměrně dál od sebe. Ve Spojených státech se v těchto případech začal na začátku třicátých let nově používat k trvalému zajištění mezilehlé stěny výkopu **torkret**. Stríkanou cementovou maltu tam vyvinul v roce 1907 Carl E. Akeley. Po zdokonalení a rozšíření se torkret začal používat ve třicátých letech celosvětově. Do evropského povědomí se pro tuto metodu pažení později vžil název **pařížská stěna**, jelikož v typicky stabilní pařížské geologii se používání torkretu místo pažení mezi vrtanými pilotami nebo záporami velmi osvědčilo.

U nás bylo toto řešení roku 1957 jen napodobeno z důvodu nedostatku mechanizace při zakládání pražského Domu potravin na Václavském náměstí. Pro jámu hloubky 7 až 12 m byly po obvodě 6 m od sebe vykopány šachtové pilíře spuštěním železobetonových skruží o průměru 1 m a do nich byly vybetonovány sloupky tvaru T. Výkop jámy se pak prováděl po vrstvách o tloušťce 1,5 m a mezery mezi postupně obnažovanými sloupky byly ochráněny moniérkami dobetonovanými k zemině.

K výraznému posunu v uplatnění pilotových stěn došlo až s nástupem výpažnic zavrtávaných pomocí oscilátoru. Pak bylo možno, zhruba od poloviny 20. století, provádět piloty těsně vedle sebe nebo dokonce i částečně přes sebe. Logicky se tedy **převrtáváním** přešlo k vytváření svislých zámků mezi pilotami. Nejprve zhotovené piloty v primárním

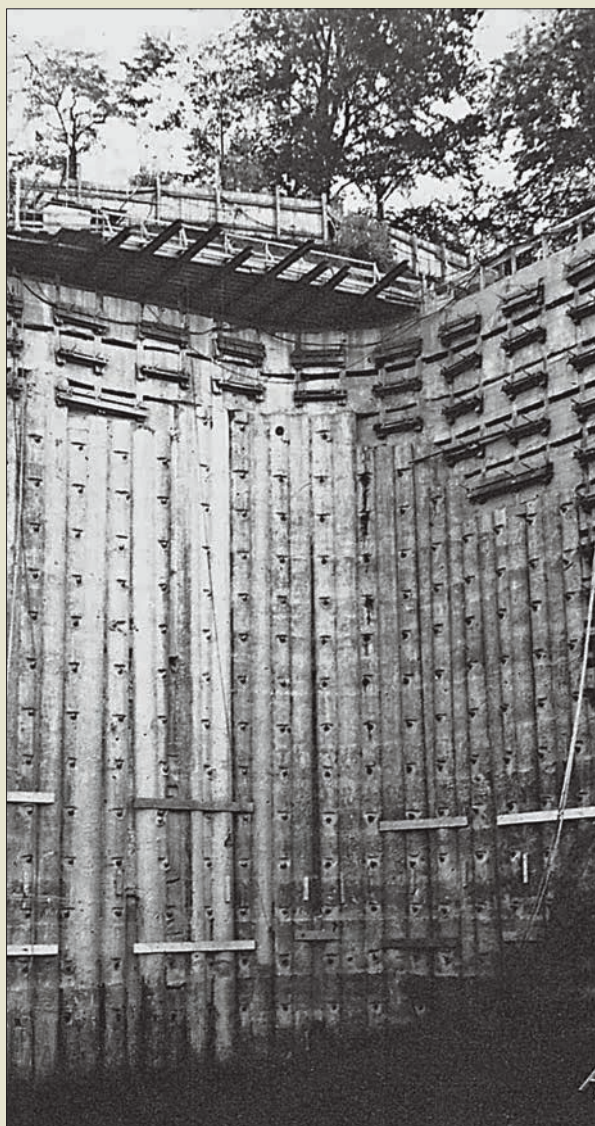


Obr. V. 37: Výhodné použití kotveného záporového pažení v členité geometrii portálové jámy hloubeného tunelu Blanka na Letné v roce 2008, hloubka v zachyceném místě byla cca 22 m. (Zakládání staveb, a. s.)

Obr. V. 38: Stěna z převrtávaných pilot firmy StumpBohr o průměru 90 cm pro výkop hloubky 30 m s tyčovými kotvami v 16 úrovních z roku 1970 v Mnichově

pořadí byly převrtávány následnými mezilehlými pilotami v sekundárním pořadí. Jednu z prvních takových stěn zhotovila firma Bauer v roce 1958 v Mnichově názorovou soupravou Benoto s průměrem výpažnic 88 cm. Toto řešení umožnilo kotvit stěny přímo přes dřívky pilot a vynechat vodorovné převázky, což se nadále hojně využívalo (obr. V. 38).

Po nějakou dobu však u těchto stěn přetrvávaly problémy s kvalitou mnohočetných vertikálních spár při svislých odchylkách jednotlivých pilot. Z toho



plynuly i potíže s požadovanou vodotěsností. Od sedmdesátých let, když začaly být k dispozici silné rotační soupravy pro cyklické vrtání s posuvnou hlavou a pažicím příslušenstvím (viz str. 82), se ale dařilo těmto problémům předcházet a tato praxe hromadně ve světě uspěla. Byl to významný přelomový krok oboru speciálního zakládání. Od té doby se tato technologicky značně jednoduchá a spolehlivá metoda

Obr. V. 39: Pilotová oválná stěna ze 70 převrtávaných pilot průměru 1,18 m, délky 40 m na stavbě železničního tunelu Březno v roce 2005. Jáma byla budována observační metodou. (Zakládání staveb, a. s.)

používala pro běžné provádění pažicích stěn nejčastěji. Její další vývoj probíhal zejména na poli dosahování větších průřezů a hloubek nebo geometrické přesnosti výsledného díla. V tom se prosadily piloty CAP. I u nás byl tento trend jen s malým zpožděním zachycen a stěny z převrtávaných pilot postupně splňovaly vysoké požadavky, které na ně byly kladeny (obr. V. 39).

VRTANÉ MIKROZÁPOROVÉ STĚNY

Specifická metoda pažicích stěn byla vyvinuta při řešení problémů poválečné rekonstrukce starých měst v Itálii. Přinesla si odtud přívlastek **janovská stěna**. Italské město Janov je totiž známo svým rozsáhlým historickým opevněním. Je doslova prošípováno zbytky kamenných hradeb stavěných v různých dějinných obdobích a v různých úrovních bývalého terénu. Roli hraje i prostorová stísněnost historické zástavby. Tyto krajně obtížné základové podmínky byly ovšem při nové výstavbě zcela nevhodné pro převažující technologie beranění. Ani poválečné metody nárazového velkopřůměrového vrtání nebyly v rozvolněném balvanitém zdivu dostatečně účinné. V daném historickém okamžiku se zde tedy sešlo několik faktorů nakloněných vývoji nové metody. V kapitole IV. jsme se již zmínili o vůdčí aktivitě italských firem ve vývoji specifického malopřůměrového pažnicového vrtání ve zděných troskách (str. 65). A také právě v Itálii, jak blíže pojednáme v kapitole VI., byla začátkem padesátých let vyvinuta nová metoda zakládání na mikropilotách. Všechny tyto okolnosti a zkušenosti vedly k tomu, že koncem šedesátých let byla v Janově poprvé úspěšně uplatněna metoda pažení mikrozáporovou vrtanou stěnou. Jednalo se v podstatě o neinjektované **trubkové mikropiloty**, svisle vrtané hustě vedle sebe a rozepřené přes vodorovné převázky. Až postupně s nárůstem výkonnosti mechanismů byly prováděny širší vrty a staticky málo vhodné trubkové výztuže byly nahrazeny ocelovými kolejnicemi nebo H-profilů. Podobně bylo také podle potřeby vyměněno rozepírání převázek jejich kotvením.

U nás byla provedena první mikrozáporová stěna z tramvajových kolejnic při výstavbě stanice metra Staroměstská v roce 1973. Roku 1975 byla také zřízena z I-profilů na stanici metra Háje. Hromadně byly mikropilotové stěny využity v roce 1986 při generální rekonstrukci a výstavbě nových suterénů Stavovského divadla v Praze (obr. V. 40).



Obr. V. 40: Mikropilotové stěny použité pro zajištění budovy Stavovského divadla v Praze při prohlubování suterénů v roce 1986 (Zakládání staveb, a. s.)

PODZEMNÍ STĚNY

Počátky podzemních stěn zřízených pod bentonitovou suspenzí

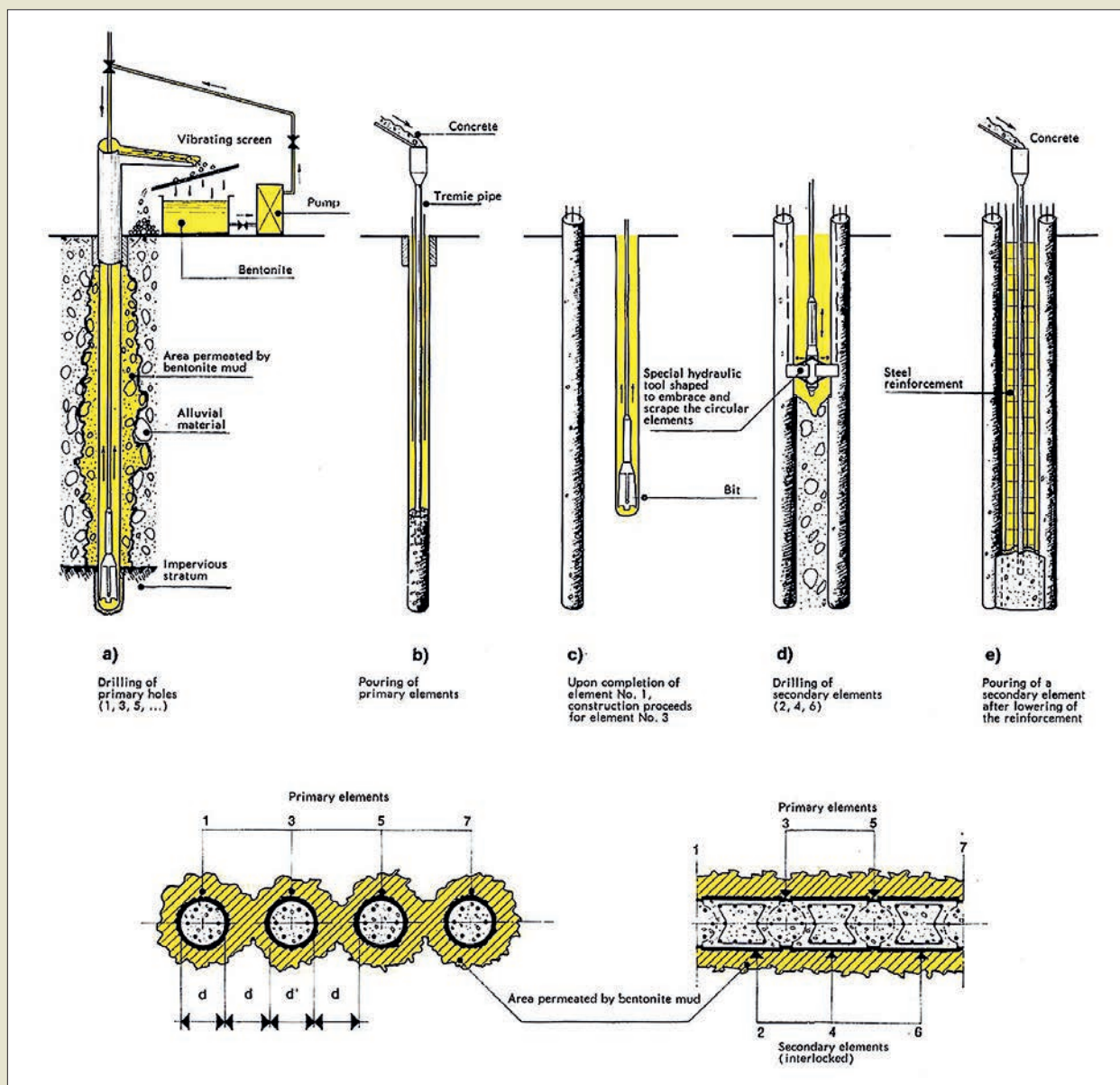
Jedna z nejdůležitějších a průlomových technologií speciálního zakládání moderního věku – podzemní stěny – byla vyvinuta zhruba na konci čtyřicátých let 20. století. Tím objevem se vyřešil technický problém pažení hlubokých jam a clon ve zvodněném prostředí. Ke skokovému růstu efektivity došlo při sloučení různých důležitých podnětů.

Zrod myšlenky přinesly pokusy se stěnami z vrtaných pilot pažených bentonitovou suspenzí. Mezi prvními experimentátory byli inženýři italské firmy I.C.O.S. Podobné experimenty ale probíhaly samozřejmě i jinde, a proto si prvenství tohoto objevu nárokují třeba Němci a obzvláště Američané. Jenže experimenty v USA byly zaměřeny poněkud jinak. Uvádí se, že patrně první podzemní stěnou vůbec byla těsnicí clona o hloubce 15 m kolem průmyslového závodu na Long Islandu v Kalifornii v roce 1948. Těžena však byla kontinuálně vlečným lanovým korečkem o šířce 1 m a bentonito-zeminová výplň se zřizovala zpětným nahrnutím výkopku do suspenzí zapažené vytěžené rýhy. Takových těsnicích clon bylo pak obdobně zhotoveno v USA na tisíce.

Avšak skutečně **konstrukční železobetonové stěny** byly vyvinuty v Evropě italskou firmou I.C.O.S. ve spolupráci s rakouským inženýrem **Christianem Vederem**. Ten vymyslel v roce 1938 princip podzemní stěny a o deset let později s ním uskutečnila I.C.O.S. první soukromé zkoušky. Technologicky se jednalo o zhotovení úseků podzemní stěny sestávajících ze stabilního propojení sousedících pilot. Veder také provedl pro firmu I.C.O.S. řadu důležitých laboratorních pokusů i zkoušek. Výsledky vedly I.C.O.S. v roce 1950 k podání patentů na výrobu podzemní stěny i k prvním průmyslovým realizacím ještě v tomtéž roce. Je příznačné, že počátečními realizacemi byly těsnicí stěny z plastického betonu. Jednalo se o těsnicí clonu 40 m hlubokou pro přehradu Santa Maria v Dolomitech a těsnicí clonu 35 m hlubokou pro nádrž Venafro ve střední Itálii, obě s výplní z betonu. Pro přesvědčení investorů musely být nejprve provedeny provozní průkazné zkoušky (obr. V. 41).



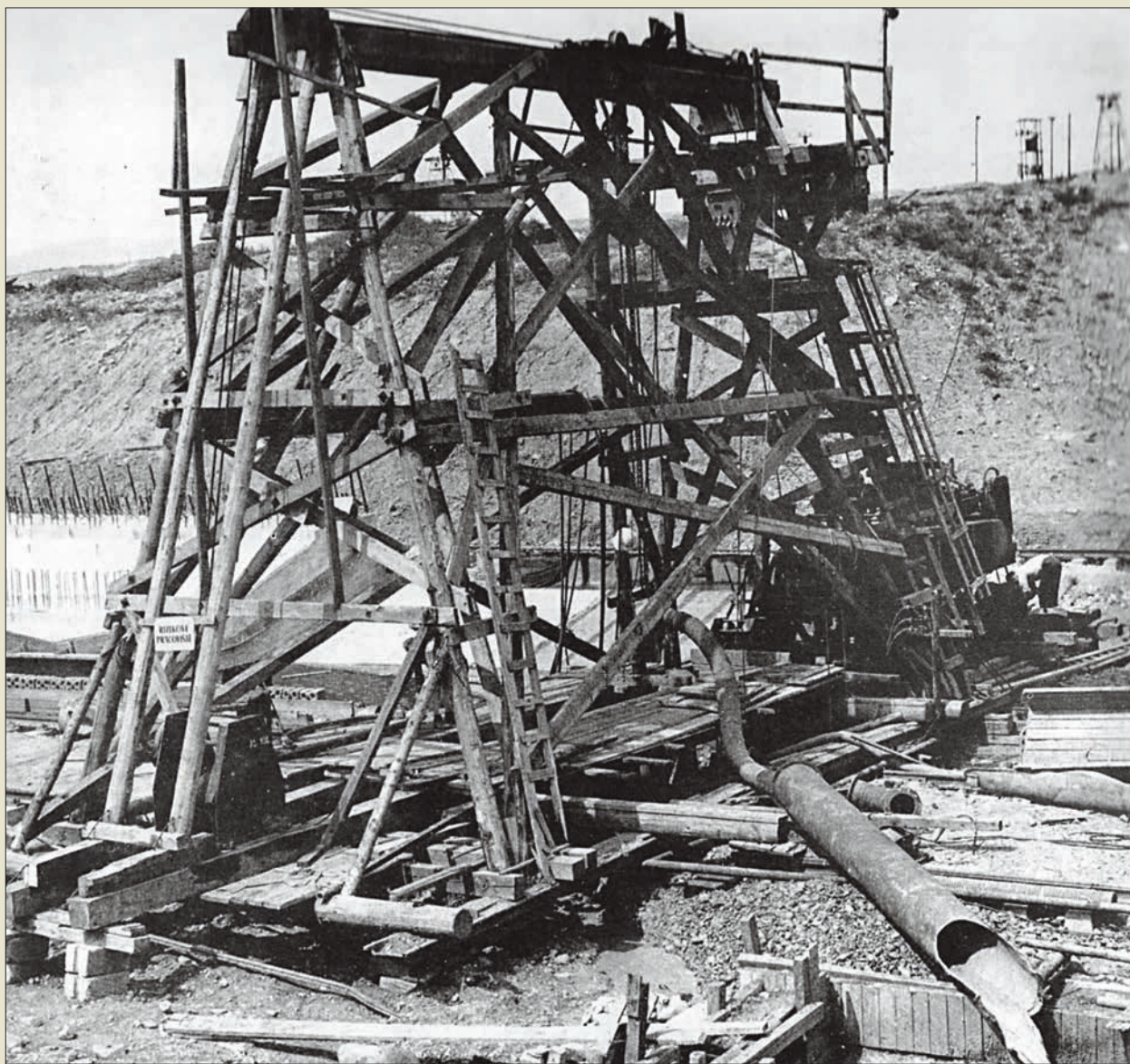
Obr. V. 41: Obnažený průkazný element první podzemní betonové stěny předvedený pro získání prvních kontraktů firmou I.C.O.S. v únoru 1950 u řeky Isonzo v severovýchodní Itálii



Obr. V. 42: Schéma původního postupu výroby podzemních stěn firmy I.C.O.S. v padesátých letech s primárními betonovými pilotami a sekundárními propojujícími stěnovými prvky ze železobetonu

Na počátku této technologie tedy byly záměrně propojené vrty sousedících pilot, kontinuálně narázově vrtaných pod přímou cirkulací bentonitové suspenze. Byl vyvinut postup zřízení primárních pilot a mezilehlých sekundárních prvků, vetknutých mezi tyto piloty a spojující je (obr. V. 42).

Princip přímého výplachu ovšem zpočátku omezil tloušťku stěn na obvyklý rozměr 60 cm, daný efektivitou výnosu odvrtu. Firma I.C.O.S. vybudovala uvedeným způsobem v padesátých a na počátku šedesátých let mnoho desítek významných staveb v různých částech světa. Především to však byly od roku 1959 rozsáhlé hloubené tunely milánského metra, kde původně vzniklo přívisko tohoto technologického systému. Zúžilo se jen na tvar **milánské stěny**. Touto metodou se obdobně ve spolupráci s firmou I.C.O.S. stavělo metro i v jiných světových městech a postupně se zapojovaly také jiné technologie těžby stěn. Dalším vývojem odlišných technologických prostředků poměrně rychle padla všechna počáteční omezení tloušťky a hloubky stěn. Dřívější přívisko se ale používá dodnes.



Obr. V. 43: Strojní sestava dlátovací vrtačky UKS-30 s připojeným airliftem při těžbě úseku podzemní stěny pro clonu přehradu Nechranice v roce 1964

Prvopočátek suspenzí pažených podzemních stěn je u nás spojen rovněž s budováním těsnících clon. Za politické oblevy na počátku šedesátých let byl zahraniční zrod této metody speciálního zakládání pohotově zaznamenán a poprvé se použila pro přehradu Nechranice již v roce 1962. Projekt měl zvláštní prioritu pro zajištění uhelné energetiky. Když bylo uznáno, že ve velmi obtížných geologických podmínkách je tradiční metoda štětové stěny nerealizovatelná, získala nová metoda podporu na nejvyšších vládních místech. Aplikoval se postup známý od firmy I.C.O.S. Avšak problematické bylo strojní vybavení sovětskými nárazovými soupravami UKS-30, upravenými jen doplňkově na místě k účinnější reverzní cirkulaci airliftem (obr. V. 43).

Problémem byly také nedostatečně kvalitní místní jíly pro výrobu pažicí suspenze. Vzhledem k nízké produktivitě prací bylo pro splnění požadovaného termínu nutné nasadit další mechanismy, improvizovaně postavené na stavbě podle zahraničních vzorů, například podkopová lopata a drapák. Stavba 60 cm silné, 740 m dlouhé a maximálně 39 m hluboké jílobetonové stěny však byla celkově úspěšná. V tehdejší podniku Vodní stavby tak vykrytalizoval tým mladých

odborníků, kteří zásadně ovlivnili budoucnost speciálního zakládání v tuzemsku. Připomínku si zaslouží zejména hlavní inženýr stavby Ing. **Jaroslav Jarolímek**, hlavní stavbyvedoucí Ing. **Jan Rybák** a technolog Ing. **Jaroslav Verfel**, DrSc. Ti všichni patřili mezi klíčové aktéry dalšího rozvoje speciálního zakládání u nás.

TECHNOLOGICKÉ FAKTORY VÝROBY PS

U technologických systémů provádění podzemních stěn hrají mimořádně důležitou úlohu činitelé, jako je například použitý pažící výplach, způsob výplně apod. Technologické vlivy výroby působí v těchto systémech zcela zásadně na výslednou funkci zhotovovaného prvku. Proto je nezbytné věnovat jim mimořádnou pozornost a pro pochopení jejich vztahů znát i genezi jejich vývoje.

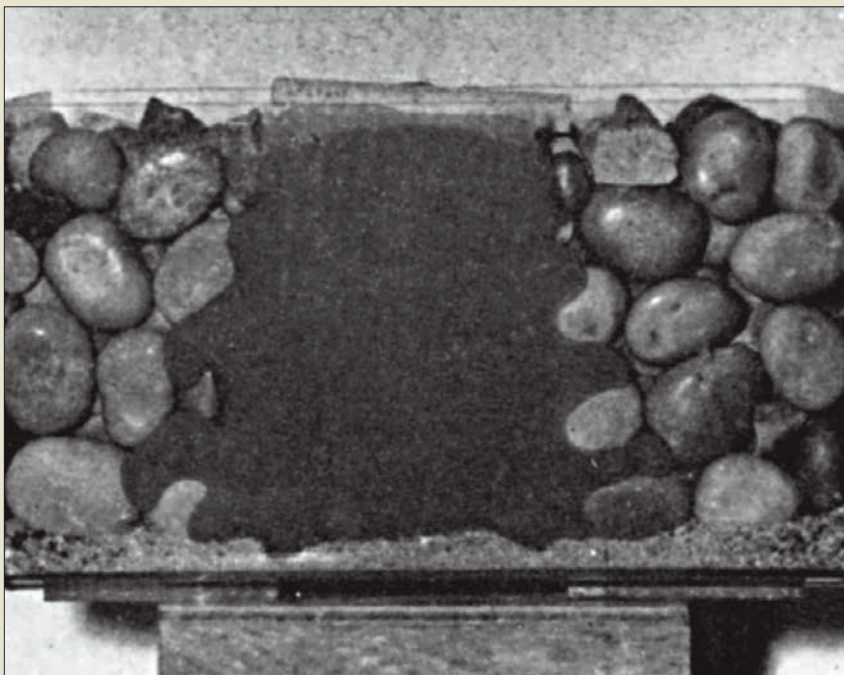
Při rozvoji těchto systémů se projevovaly různé, dočasně zapeklité technologické problémy při klíčových operacích. Od počátku se poměrně dlouho vyskytovaly potíže při zřizování dělicích spár mezi svislými lamelami betonované stěny. Bylo nutno hledat alternativní, efektivnější způsoby těžby rýhy. Dalším problematickým souborem operací bylo průběžné zacházení s pažící suspenzí. Zejména když se zhruba od osmdesátých let zvýšily obtíže při její regeneraci nebo náhradě, zapříčiněné novými nároky v ochraně životního prostředí. A ještě další relativně nedávné značné potíže se vyskytly při zavádění moderních betonových směsí. Ty přišly až v důsledku intenzivní industrializace stavebnictví na počátku druhé dekady 21. století. V určitých časových fázích vývoje se tyto problémy překonávaly velmi pracně.

Faktory bentonitové suspenze

Hlavním impulzem pro vznik technologie podzemních stěn bylo odhalení pažících vlastností **bentonitové suspenze**. Tomuto naprosto klíčovému faktoru je třeba věnovat obzvláštní pozornost. Ukazuje, jak i pouhý přírodní materiál může iniciovat převratnou technologii. Připomeňme, že bentonit byl zaveden jako výplachové médium při vrtání naftových studní v USA teprve v roce 1929, ačkoli různé jílové výplachy se uspokojivě využívaly už od roku 1901. Byl ale obecně znám již tisíce let předtím jako absorbentní součást přírodních látek k čištění rozličných produktů. V novověku nabyl mimořádné důležitosti, a to nejen v oboru speciálního zakládání.

Bentonit má zvláštní mineralogické složení s převažujícím podílem částic minerálu **montmorillonitu**. Ten byl sice poprvé přesně zatříděn roku 1847 v nalezišti u obce Montmorillonite v západní Francii, ale slavným se potom stal pod širším názvem bentonit podle objevu svého největšího naleziště v americkém Wyomingu poblíž významného montanského města Fort Bentonu roku 1891. Průmyslově byly tyto wyomingské bentonity těženy od roku 1928, a to po většinu doby firmou **Baroid Drilling Fluids**, kterou v roce 1993 převzala obří ropná korporace **Halliburton**. Jsou proslulé jako nejvyšší přírodní bentonity **sodného typu** na světě. U nás bylo hlavní ložisko bentonitického jílu objeveno roku 1941 v Braňanech u Mostu, ale nemělo dostatečnou kvalitu. Produkt se musel uměle sodifikovat a suspenze pak ještě navíc dále vylepšovat přísadami. Připomeňme, že zahraniční bentonity byly u nás po několik desetiletí poválečného režimu nedostupné a „tradiční“ používání málo kvalitních bentonitů mělo svůj nesporný vliv na tuzemské technologie.

Sodný bentonit vytváří ty nejjemnější koloidní suspenze s výjimečným chováním. Při fyzikálně-chemické reakci sodného montmorillonitu rozptýleného s vodou se například projevuje vlastnost jeho vysoké bobtnavosti, při níž nabývá mnohonásobně většího objemu než ve vysušeném stavu. Základy pro pochopení vnitřních zákonitostí bentonitové suspenze poskytl v roce 1861 skotský vědec Thomas Graham svou **teorií koloidní chemie**. Je potřeba vysvětlit, proč se bentonitové suspenze osvědčily pro vrtné výplachy zejména díky svým fyzikálním **reologickým vlastnostem** při tečení za různých podmínek. Mikroskopické montmorillonitové částice jsou totiž nejjemnější přírodní minerály s drobností na úrovni molekul. Mají lístkový tvar a v procesu elektrochemické reakce s molekulami vody v koloidní suspenzi dochází k orientaci jejich náboje a vazbami jejich částic k vytváření tzv. **voštinové mikrostruktury**. Ta má podobně jako domeček



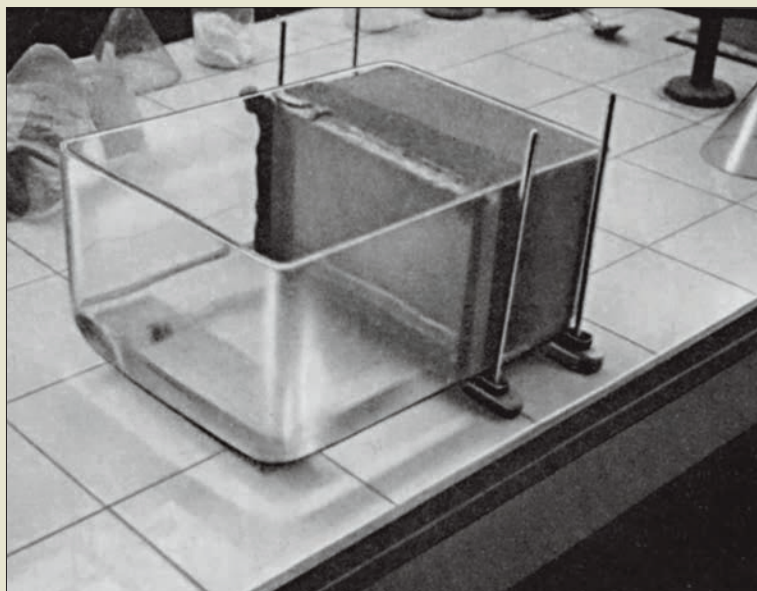
Obr. V. 44: Ukázka vysoké kvality 8% suspenze z wyomingského bentonitu se schopností proniknout a zgelovat v pórech hrubého štěrkopísku při experimentu z roku 1960

z karet určitý odpor ve stříhu a udržuje si v klidu určitou stabilitu – suspenze vytváří **gel**. Tím se zvyšuje stabilita stěn vrtu (obr. V. 44) a též se brání sedimentaci odvrtných částic ve výplachu.

Teoreticky popsal viskoplastické chování takovýchto kapalin v roce 1922 americký vědec Eugene Cook Bingham. Je považován za otce reologické vědy, a proto se tyto kapaliny nazývají **binghamovy**, na rozdíl od konvenčních kapalin, jako je voda, zvaných newtonovské. Uvedený bentonitový gel i při nepatrném pohybu snadno zase ztekutí na původní viskózní **sol**, a je tak opět vhodný k čerpání. Tento zvrtný jev se nazývá **tixotropie** a prvně ho obecně pojmenoval maďarský biolog Tibor Pöterfi při zkoumání buněk v roce 1927.

Jinou z pozoruhodných vlastností bentonitové suspenze je filtrační jev, při kterém se na stěně vrtu vytváří stlačená mikrostruktura suspenze po odfiltrování vody. Je to jakási ochranná přechodová tužší vrstva, nazývaná **filtrační koláč**. Laicky se tento mikroefekt přirovnává k rybím šupinám podle stlačení mikrolístků bentonitu. Kvalitní koláč přispívá výrazně ke stabilitě vrtu. Na velký význam tohoto jevu pro pažení stěny rýhy upozornil Christian Veder již při svých prvotních milánských výzkumech na počátku čtyřicátých let (obr. V. 45).

Obr. V. 45: Jeden z prvních pokusů Christiana Vedera z počátku čtyřicátých let dokumentující, jak bentonitový filtrační koláč udrží i po odebrání suspenze svislou stěnu písku v rovnováze. Je vidět i dosah vody odfiltrované předtím ze suspenze do písku.



Zdůrazněme ještě, že se též jedná o jeden z velmi významných tzv. technologických vlivů, který u takto zhotoveného základového prvku působí na jeho výslednou interakci se základovou půdou. Avšak jsou ještě další mimořádně komplexní jevy odehrávající se při působení bentonitové suspenze, jež přispívají k výplachovému i pažicímu režimu vrtu nebo rýhy, například v důsledku její **schopnosti výměny iontů** s prostředím základové půdy nebo s chemickými přísadami suspenze či následkem jejich **elektrokinetických reakcí** v prostředí. Proto tuto suspenzi považují odborníci za přírodní zázrak.

V Evropě se v polovině minulého století všeobecně vycházelo z poznatků o chování bentonitové suspenze shrnutých v knize francouzského elektrochemika Maurice Dérivé, vydané s rozšířením o podstatné informace teprve v roce 1951! Tajemství bentonitu a působení jeho suspenze na stabilitu rýhy byla tedy odkrývána jen postupně a dodnes úplně objasněna nejsou. Různí experimentátoři během let provedli mnoho pokusů, jak se chovají stěny vrtů pilot pod suspenzí při jejich rozšiřování nebo vzájemném propojování. Zjistili, že při použití suspenze není klenbový účinek kruhového průřezu vrtu tak důležitý, jak se předpokládalo. Prokázalo se, že suspenze dokáže stabilizovat i stěny vytvořené rýhy. Spojení teoretických a praktických zkoumání výjimečných vlastností bentonitové suspenze tak přímo vedlo k objevu metody podzemních stěn.

Faktory polymerové suspenze

Požadavky na regulaci odpadů přinesly v devadesátých letech zásadní potíže nejen v podobě odmítání likvidace bentonitové suspenze na skládkách, ale dokonce i návrhy na jejich úplný zákaz. Při hledání náhrady této suspenze se ukázalo, jak velice to je obtížné. K řešení opět přispěly zkušenosti s alternativními vrtnými výplachy z ropného průmyslu, kde jejich experimentální vývoj probíhal zhruba od dvacátých let. Naděje se soustředily do využití snadněji rozložitelných **polymerových suspenzí**. Bylo ovšem třeba vzít v úvahu obecný rozdíl v chování polymerových a bentonitových suspenzí. Polymerové suspenze nevytvářejí tak komplexní mikrostrukturu, a mají proto podstatně nižší mez toku, důležitou právě pro pažicí efekt. Velmi zjednodušeně řečeno molekuly polymerů nevytvářejí voštinovou stavbu jako bentonit, ale chuchvalce řetězců, což se projevuje pouze vyšší viskozitou. Ta je u nich hlavní vlastností využitelnou pro kontrolu pažicího účinku. Mají také velmi nízkou tixotropii, takže usnadňují rychlou sedimentaci, jež se dá ovšem výhodně využít v určitých postupech pro čištění dna vrtu.

Vývoj polymerových výplachů se ubíral třemi směry. V roce 1935 se poprvé při problematickém vrtání v Mexickém zálivu použil jako ochranný koloid pro zvýšení filtrace bentonitového výplachu **přírodní škrob**. Nasměroval tak další rozvoj experimentů. Skupina výplachů z přírodních polysacharidů, jako jsou škroby a kaučuky, se pak osvědčila zejména pro vrtání vodních zdrojů, protože mohla být snadno biodegradována půdními enzymy a zůstala po nich jen voda. Roku 1965 uvedla americká firma Johnson & Johnson na trh nový syntetický přípravek na bázi škrobu pod názvem **Revert**, který bylo možno průmyslově použít. Stal se nadlouho funkčním vzorem pro ostatní, ale jeho nevýhodou byla velmi vysoká cena.

Jinou skupinou se staly výplachy s využitím syntetické celulózy. Nejčastěji byly na bázi **KMC** (karboxymethylcelulózy), jejíž první použití patentovala americká firma Phillips Petroleum roku 1946. Tyto výplachy se uplatnily nejprve v kombinaci s bentonitem a později i samostatně. Osvědčily se pro těžbu hydrofrézou s recyklací výplachu.

Poslední skupinu představují chemické polymery na bázi **PAHP-Vinyl**, které se objevily na trhu koncem osmdesátých let. Suspenze z nich zhotovené jsou velmi tekuté a usnadňují ve vhodných podmínkách použít cyklickou těžbu drapáky, jen s mechanickým odstraněním rychle tvořeného sedimentu na dně rýhy. Obdobně se tento výplach osvědčuje i u cyklického vrtání pilot.

Polymerové suspenze se v praxi ukázaly jako více či méně vhodné podle konkrétních místních podmínek. Jedná se o značně komplikované technologické souvislosti. V praxi proto přetrvávalo obhajování bentonitové suspenze souběžně s upravováním a minimalizací jejího odpadního produktu. Hledání ideální pažicí suspenze neustále pokračuje.

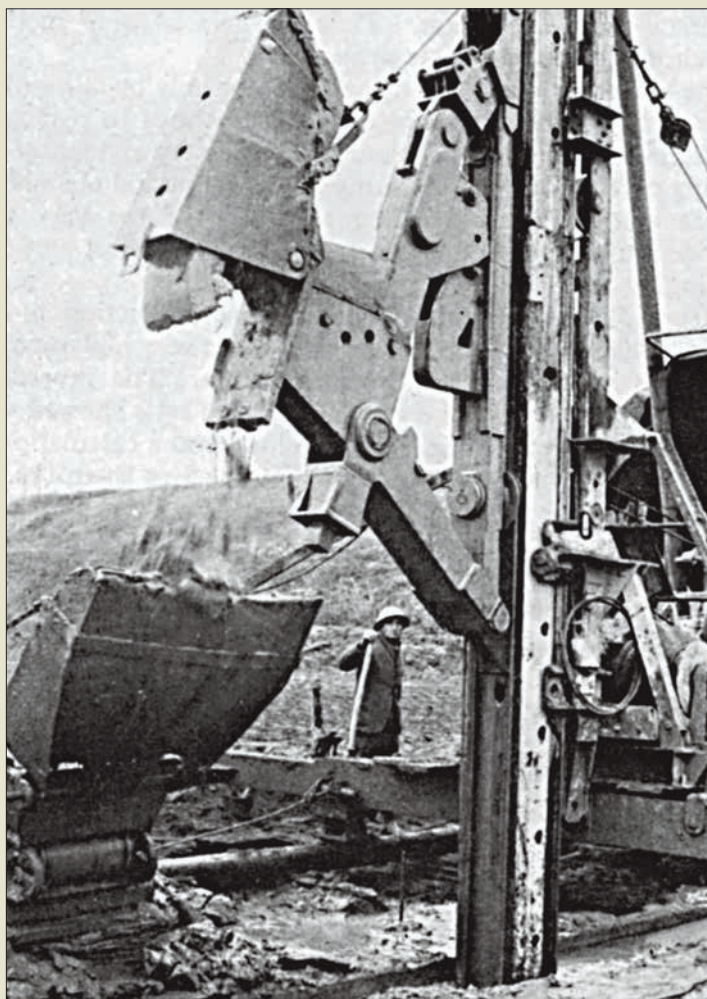


Obr. V. 46: Soupravy firmy I.C.O.S. na stavbě podzemní clony o maximální hloubce 89 m pro mexickou přehradu Villita roku 1965; v popředí původní technologie nárazově vrtaných „milánských stěn“ pro hluboké úseky, v pozadí trojnožkové soupravy s lehkými drapáky pro mělké úseky

Faktory těžby podzemních stěn

K těžbě rýh podzemních stěn podstatně přispěl všeobecný rozvoj mechanizace v druhé polovině 20. století. Původní technologický postup firmy I.C.O.S. s propojováním pilot byl sice během několika let provozně doveden do detailní dokonalosti, ale vzhledem k malé výkonnosti vyžadoval pro větší výrobní objemy prostě znásobení strojních kapacit (obr. V. 46).

Poptávka doby po této nové atraktivní metodě zakládání hnala vývoj mechanizace vpřed a stavební firmy reagovaly na předstih firmy I.C.O.S. různými originálními inovacemi. Již v roce 1958 tak například I.C.O.S. čelila zcela nové italské firmě E.L.S.E., která představila zařízení nazývané **podkopová lopata** (obr. V. 47). Tím reagovala na požadavky účinnější těžby ve šterkovitých zeminách, kde nebyla unášecí síla přímého výplachu ve vrtech dostatečná pro výnos hrubých zrn na povrch. E.L.S.E. nabídla lžicové lanové rýpadlo, pohybující se vodítky po svislé posuvné lafetě, s výraznou rypnou a nabírací silou. Tyto stroje pak pracovaly u mnoha jiných firem po celém světě, avšak další vývoj strojních prostředků dlouho nepřežily. I u nás bylo podle tohoto vzoru zkonstruováno podobné zařízení na stavbě clony v Nechranicích roku 1965 a odvedlo tam krátkodobě podstatný kus práce.



Obr. V. 47: Podkopová lopata milánské firmy E.L.S.E. v roce 1963 pojíždějící na svislé lafetě při těžbě podzemní stěny tloušťky 35 cm a hloubky 15 m s vyprazdňováním do násypky na dopravní pás



Obr. V. 48: Původní model lehkého dvoulanového drapáku s trojnožkou na stavbě firmy I.C.O.S. pro podchod na benátském nádraží Mestre v Itálii roku 1963 – je zřejmá obtížná ruční manipulace při vyprazdňování drapáku do vozíku.



Obr. V. 49: Ukázka sestavy lehkých drapákových strojů pro podzemní stěny tloušťky 80 cm firmy I.C.O.S. na stavbě tunelu dálnice A5 u Chatillonu v severní Itálii v roce 1967 – zřetelné je složité řešení vyprazdňování drapáků do násypkových skříní a na pásové dopravníky.



Obr. V. 50: Nárazové soupravy Rodio RF-6 s reverzní cirkulací na stavbě pražského obchodního domu Kotva v roce 1972, v pozadí jedna z tehdy nově zavedených souprav Rodio s vedeným Kellydrapákem na bagrjeřábu UB 160 z NDR (Zakládání staveb, a. s.)

Hlavní směr vývoje směřoval k **používání drapáků** pro těžbu delších úseků rýhy podzemních stěn. První trend I.C.O.S. ještě začátkem šedesátých let svými počátečními modely takových mechanismů zachytila. Byly to velmi lehké dvoulanové verze drapáků se samostatnými elektrickými vrátky, zavěšené na jednoduchých trojnožkách. K jejich malé výkonnosti ale také přispíval obtížný způsob vykládání výkopku z nástroje (obr. V. 48).

Firma na tomto systému těžby, vylepšeném příhradovými výložníky, ale stále vázaném na nepružný systém kolejového podvozku, nadlouho ustrnula (obr. V. 49).

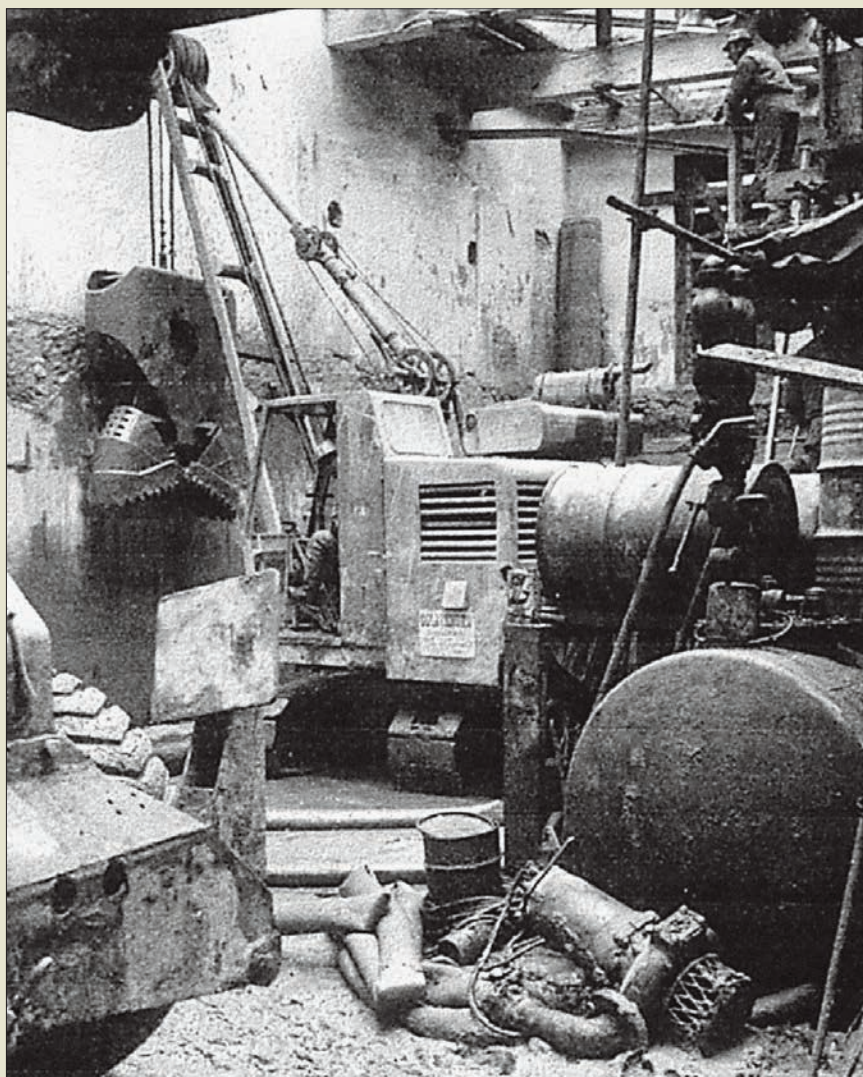
Německá firma Pollensky & Zöllner předvedla v roce 1963 na stavbě ve Frankfurtu nad Mohanem prototyp silnějšího, již hydraulicky poháněného drapáku na kelly tyči, ale stále ještě na málo výhodném kolejovém podvozku. U všech těchto typů strojů zůstal obdobně nedořešen problém s vykládáním odtěženého výkopku z rýhy, obvykle pomocí komplikované násypky s pásovým dopravníkem. Řešitelé problému drapákové těžby zůstávali v zajetí ustáleného schématu vazby na kolejový podvozek, takže jejich řešení byla provozně těžkopádná a zavedla je do slepé uličky nízké produktivity.

V té době bylo skutečně velmi těžké odpoutat se koncepčně od podvozku. Na kolejích totiž úspěšně existovala zcela odlišná cesta mechanizačního vývoje technologie podzemních stěn, která se orientovala na **kontinuální těžbu s reverzní cirkulací** vrtného výplachu. Opět se ovšem postupovalo propojováním jednotlivých vrtů. Toto řešení umožňovalo výhodu dokonalé čištění suspenze v celé délce daného úseku rýhy již v průběhu těžby v rámci odstraňování odvrtného materiálu. Bylo proto výhodné ponechat pohyb soupravy i s připojenou čističkou na lineární kolejové dráze v ose rýhy. Takto pevně vázaná poloha se využívala i ke kalibraci propojení jednotlivých vrtů v konečné lamele před betonáží. Italská firma Rodio přišla s tímto systémem ve svém raném patentu již v roce 1953. Vyzkoušela si předtím efektivitu zpětného toku bentonitové suspenze na pilotovacích nárazových vrtačkách Rodio-Marconi, označovaných v pozdějším modelu jako CIS (viz obr. IV. 52). Jejich nová oběhová čerpadla poskytovala mnohem lepší odsávací a přepravní účinnosti na výplach. Tento systém těžby sice také nebyl příliš výkonný, ale byl spolehlivý a velmi se osvědčil zejména v tvrdém skalním podloží. Nástupnické nárazové soupravy Rodio RF-6 z poloviny šedesátých let byly již při stejném konstrukčním principu mnohem kompaktnější.

Tyto robustní stroje byly velmi úspěšně nasazeny i u nás. V roce 1967 je poprvé použil podnik Vodní stavby na stanici pražského metra Muzeum a pracovaly pak soustavně na stavbách v tuzemsku až do příchodu výkonnějších strojů koncem 20. století (obr. V. 50).

Na začátku šedesátých let se asi deset evropských firem snažilo zkonstruovat nejvhodnější drapák a nalézt nejlepší způsob jeho použití. Už nelze doložit, kdo přišel se zásadním řešením první, ale vzhledem k tomu, že původní teoretickou myšlenku lanového drapáku přičítala již v roce 1703 francouzská Akademie věd vynálezci M. Gouffému, to patrně byla některá z francouzských firem. Průmyslově však rozšířil jeho použití anglický výrobce W. D. Priestman na základě svého patentu z roku 1876 pro dvoulanový drapák (viz obr. IV. 8). Jeho podstatnou výhodou byly dva oddělené vrátky pro nosné a pro zavírací lano. Velkým problémem byl nosič. První samohybné pásové jeřáby neměly totiž ještě dva samostatné vrátky, a tak nebyly pro dvoulanové drapáky použitelné, přičemž jednolanové drapáky nebyly příliš výhodné. Pokrok v drapákové těžbě podzemních stěn tedy umožnila teprve pozdější generace bagrjeřábů (viz str. 40). Pro využití k těžbě podzemní stěny bylo také velkým problémem nalézt vhodné uspořádání provozuschopné soustavy kladek a pák uvnitř tělesa drapáku fungující i v zapískované suspenzi. Až v roce 1961 tak údajně použila francouzská firma Soletanche zavěšení těžšího speciálního dvoulanového drapáku od firmy Tranchesol na univerzálním otočném bagrovém nosiči (obr. V. 51).

Přijatelná geometrická přesnost takto vytěžené lamely se rychle prokázala a čerstvý trend tohoto vývoje se naplno rozběhl napříč oborem. Velká výkonnost **drapákové cyklické těžby** zajistila této technice na příští čtyři desetiletí největší objem výroby podzemních stěn. Ale vývoj se ani pak zdaleka nezastavil. Prvotní drapáky byly totiž lehké, vážily jen několik tun vzhledem ke kapacitě tehdejších nosičů při vytažení naplněného nástroje. Tyto drapáky také



Obr. V. 51: Jeden z prvních speciálních drapáků vyrobený firmou Tranchesol již s přidanou přítěžovací a kalibrační skříňí, upravený v roce 1965 firmou Soletanche pro stísňené pařížské staveniště k zavěšení na malém bagrjeřábu

nedržely v obtížnější geologii patričnou svislost. Firma Soletanche to od roku 1963 řešila zavedením **vodicích kelly tyčí** (obr. V. 52). S tím byl spojený i vývoj hydraulického ovládání čelistí drapáku, který dokázal vyvodit daleko větší zavírací rypnou sílu na hraně čelistí.

Tento směr vývoje se po dalších letech nakonec soustředil na rozvoj hydraulických drapáků zavěšených v **hybridní kombinaci** s počáteční kratší kelly tyčí. Vydala se jím většina provozních firem i výrobců mechanismů a staly se tak hlavním proudem této technologie.

U nás byl první drapák domácí výroby s originálním elektrohydraulickým ovládním zkušěn na stavbě nechanické clony v roce 1965. Pracoval i na několika dalších stavbách, ale trpěl vysokou poruchovostí a malou výkonností. Byl nasazen také při budování první tuzemské železobetonové podzemní stěny na stavbě pražského Domu dětské knihy na Národní třídě, kterou prováděl podnik Vodní stavby v roce 1967. V následujícím roce byl již zvláštní závod 07 postupně vybaven v rámci licenční smlouvy flotilou hydraulických kellydrapáků od firmy Rodio (obr. V. 50). Ty pak pracovaly po mnoho let i na dalších akcích. První hydraulický drapák nové generace s krátkou kelly tyčí hybridního modelu BH-12 od firmy Soilmec si pořídil závod SZS, Vodní stavby, až roku 1986.

Alternativní směr vývoje klasických mechanických lanových **volnopádových drapáků** ovšem udržoval krok se stále dostupnějšími a výkonnějšími nosiči. Soustředil se naopak na zvyšování rozměru i tíhy drapáků k dosažení vyššího gravitačního účinku. Ten se dal dobře využít nejen k dodržení potřebné svislosti rýhy, ale i k dlátování v tvrdších geologických partiích. Po této cestě postupovala přední francouzská firma Bachy. V profesi drapákové volnopádové těžby



Obr. V. 52: Lanový drapák firmy Soletanche vybavený vodící kelly tyčí z pilotovací vrtačky na stavbě na bulváru Haussmann v Paříži roku 1966

podzemních stěn byla po desetiletí považována za absolutní řemeslnou jedničku. Tento typ těžby je stále některými firmami nebo v určitých podmínkách preferován a výrobci dodnes tyto typy drapáků inovují. Podobně se na některých našich stavbách používaly slovenské lanové drapáky vyrobené v sedmdesátých letech podle vzoru firmy Tranchesol a nazývané Komárno.

V roce 1971 došlo u mechanismů těžby podzemních stěn k velkému inovačnímu přelomu. Firma Soletanche zúročila své desetileté provozní zkušenosti s efektivitou inovované rotační pilotovací soupravy CIS 61-R a vyvinula z ní koncepčně zcela nové řešení kontinuální těžby pomocí **hydraulicky poháněné hydrofrézy** s reverzní cirkulací výplachu (Obr. V. 53).



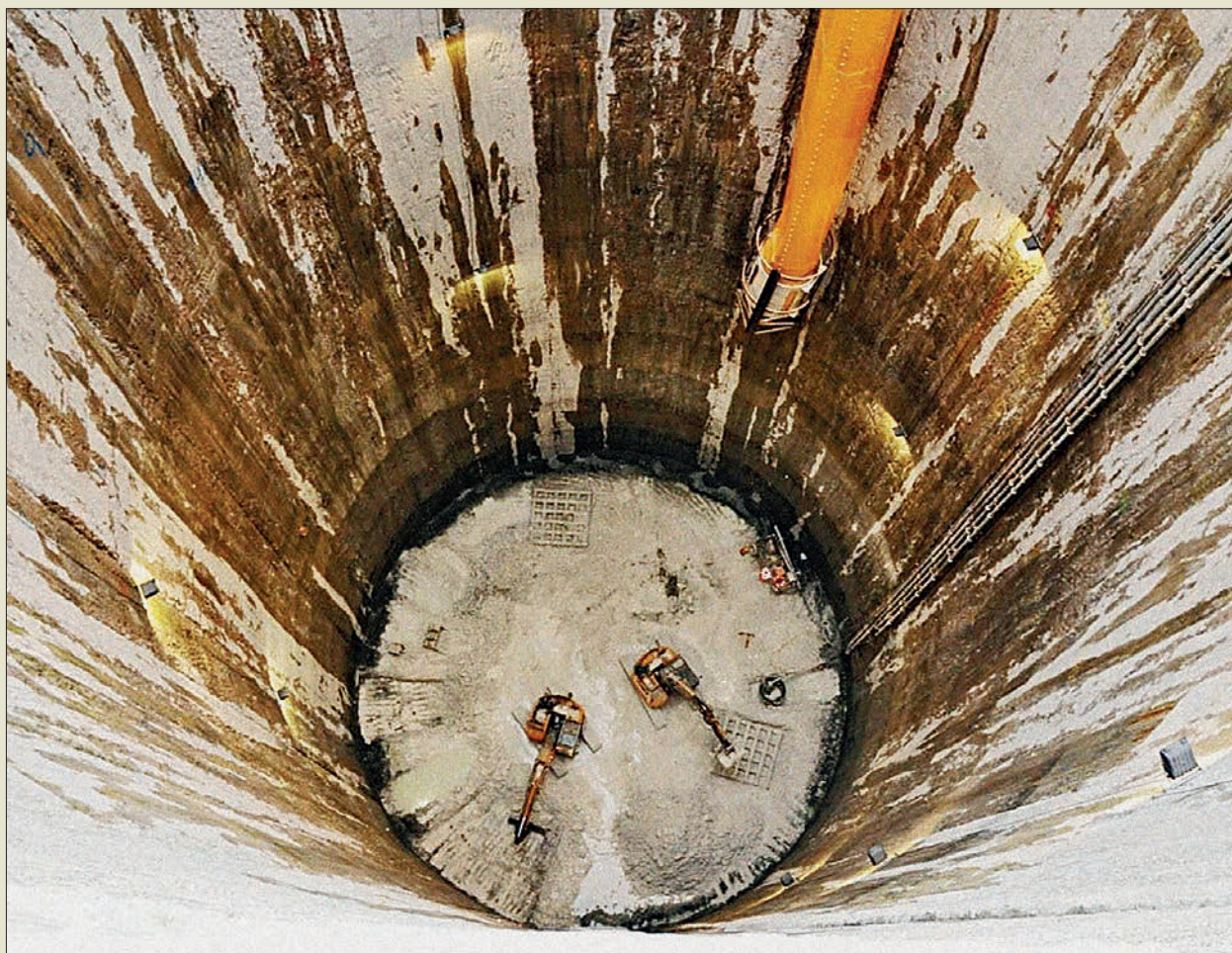
Obr. V. 53: První hydrofréza firmy Soletanche s těžkým bagrjeřábem na stavbě nádraží Gare de Lyon v Paříži roku 1974



Obr. V. 54: Japonská fréza firmy Tone Boring typu EM 320 na elektrický pohon navržená na začátku devadesátých let pro základové elementy o rozměrech 3,2 x 3,2 m do hloubky až 150 m



Obr. V. 55: Typická evropská sestava souprav hydraulického drapáku a hydrofrézy firmy Soletanche ze stavby hloubených tunelů centrální automobilové tepny v americkém Bostonu roku 1996



Obr. V. 56: Výkop v akumulční šachtě Abbey Mill zhotovené firmou Bachy-Soletanche z podzemních stěn v roce 2011

Sloučilo se tak několik faktorů efektivní výroby – průběžná těžba rýhy rotačně řezným způsobem, dokonalý odvod vytěženého materiálu se současným čištěním dna rýhy a k tomu nově i říditelnost odchylek geometrie těžby. Konkurenční firmy tento nový trend po krátkém zaváhání následovaly. Například německá firma Bauer uvedla na trh svoji první verzi hydrofrézy v roce 1984 a japonská firma Tone Boring začala svůj systém založený na odlišné koncepci pohonu elektromotory používat v roce 1987 (obr. V. 54). Z této země se však v následné době těžké a dlouhé hospodářské stagnace další zprávy o možném pokroku na tomto poli neobjevily.

Koncem 20. století se vyrojilo v Evropě několik dalších výrobců sestav strojů pro optimální těžbu podzemních stěn, složených z drapáku pro předvýkop a hydrofrézy pro tvrdší spodní partie. Ty se staly nejvýkonnějšími mechanismy speciálního zakládání (obr. V. 55).

Sestavy dosahovaly do hloubek přes 100 m při tloušťce stěn až 2 m. Byly zkonstruovány i kompaktní minifréry, které pracovaly například v suterénech stávajících objektů. Na začátku 21. století již byly nejen frézy, ale i drapáky vybavovány instrumentací a systémy pro řízení nebo korekce polohy včetně monitoringu všech detailů výrobního procesu. V roce 2011 tak kupříkladu činila odchylka ve svislosti podzemních stěn o tloušťce 1,5 m a hloubce 98 m pro akumulční šachtu Beckham o průměru 38 m pro nový stokový systém v Londýně předepsaných max. 8 mm (obr. V. 56)!



Obr. V. 57: Dvě soupravy hydrofréz nového typu Tiger SC-135 (vpravo) a SC-200 italské firmy Soilmec při zhotovování zkušební podzemní stěny hloubky 250 m v roce 2012

V tuzemsku byla nasazena první hydrofréza v roce 1997 na stavbě pražského hotelu Marriott v ulici V Celnici. Pro rakouskou firmu Illbau prováděla speciální práce zakládání vídeňská pobočka firmy Bauer. Dalším ojedinělým použitím bylo pak v roce 2005 nasazení hydrofrézy Bauer na stavbě pražského obchodního domu Palladium na náměstí Republiky, najaté tehdejší brněnskou firmou Topgeo. Obdobný typ hydrofrézy začala poté od roku 2007 soustavně používat firma Zakládání staveb, a. s., a to nejprve na hloubené části tunelu pražského projektu Blanka.

Vývoj mechanismů pro podzemní stěny pokračoval dál v plnění ještě náročnějších požadavků. V roce 2012 dosáhla firma Soilmec svými novými modely Tiger hloubky 250 m při tloušťce stěny 3 m. Provoz takového staveništního komplexu mechanismů s rozsáhlým zařízením na výrobu a čištění suspenze je již ovšem na úrovni malé továrny (obr. V. 57).

Pohlédneme-li zpět na obr. IV. 46, uvědomíme si, jakou předlouhou cestu za pouhých padesát let vývoj technologie těžby podzemních stěn urazil.

Výroba a recyklace pažicího výplachu

V technologickém cyklu výroby podzemních stěn se od samého počátku stala samostatným náročným oddílem řádná údržba kvality pažicího výplachu. Nejprve bylo nutno uspokojit požadavky na dokonalé počáteční parametry suspenze, odpovídající konkrétním podmínkám základové půdy. Postupně se tak dospělo od křídlových a vrtulových mixérů k turbomíchačkám s přesnými dávkovacími přístroji v komplexní sestavě s provozními nádržemi a s okruhy rozvodů osazených obslužnými čerpadly.



Obr. V. 58: Technologický oddíl výroby a čištění suspenze při těžbě podzemních stěn s reverzní cirkulací v roce 1974 u japonské firmy Tone Boring: vpravo mohutné tandemové konvenční vibrosíto, za ním střední hydrocyklon

Dále pak bylo třeba provádět průběžnou úpravu parametrů v reakci na měnící se podmínky těžby. To si vyžádalo čím dál složitější zařízení ve výplachovém hospodářství. Hlavním a trvalým problémem však bylo dosažení kvalitně vyčištěné lamely s výplachem před betonáží. V prvních desetiletích se nakládalo s pažící suspenzí nahrazovanou v rýze betonem velmi jednoduše, a tak se část suspenze znečištěná stykem s cementem rovnou odvážela na skládku. Zpočátku používané recirkulační technologie vrtání a stejně tak pozdější cyklické drapákové těžby také nedokázaly zabránit postupnému nadměrnému znečištění suspenze jemným pískem a siltem v průběhu těžby. Proto se musela suspenze po několika obrazech užití rovněž zlikvidovat. To se však záhy ukázalo jako ekonomicky neúnosné, a proto se začaly hledat cesty k její regeneraci.

Pro čištění suspenze byly zpočátku k dispozici technologie používané v naftovém průmyslu především v USA. Tamní vývoj prošel od prvotních primitivních zemních sedimentačních jímek používaných na počátku 20. století k důmyslným zařízením – přes rotační bubnová síta, zavedená z rudného úpravárenství zhruba od roku 1925, až k prvním modelům **vibračních sít**, používaných od počátku třicátých let. Další vývoj po nějakou dobu ustrnul. A teprve v roce 1957 byly v USA na základě sloučení pokročilých znalostí úprav z rudného a mlékárenského průmyslu zavedeny pro lepší **odpískování** vrtných výplachů **hydrocyklony**. A ještě později byly roku 1962 pro **odsiltování** použity hydrocyklony malého průměru.

Obr. V. 59: Kompaktní čistička bentonitové suspenze Caviem s hrubým a jemným štěrbinovým vibrosítem a s velkým hydrocyklonem na stavbě podzemních stěn s drapákovou těžbou na začátku osmdesátých let





Obr. V. 60: Pohled na pracoviště podzemních stěn firmy Soletanche s kompaktní výrobou a čističkou pažící bentonitové suspenze na stavbě ve Francii v roce 1991. Jsou zachyceny všechny další části technologie od hybridního drapáku a odklízení výkopku přes přípravu stopendů a armatury až k betonáži s těžkým servisním bagrjeřábem.

Vývoj ve vibračních sítích mezitím rovněž pokročil natolik, že se v roce 1965 začaly užívat nové typy účinnějších sítí, sestavené do odstupňovaného tandemu nebo do kaskády. V roce 1971 byla v texaském Houstonu postavena první **kompaktní čistička** složená z hydrocyklonů firmy Pioneer a z vibračních sítí firmy SWACO. Jejich názvy se pak staly synonymem pro podobné výrobky různých jiných firem. Dnes jsou však již tyto firmy po desetiletí součástmi největší ropné korporace **Schlumberger**.

K uplatnění obdobných postupů i pro technologie speciálního zakládání došlo s časovým odstupem několika let. Zejména byla potřebná úprava na poměry větších objemů průtoku suspenze. První jednoduché kombinace vibrosíta a hydrocyklonu používala na začátku šedesátých let firma Rodio u svých nárazových souprav s reverzní cirkulací. Stejně jednoduché principy pak používala například japonská firma Tone Boring i pro své podstatně složitější systémy těžby podzemních stěn při reverzní cirkulaci ještě i v polovině sedmdesátých let (obr. V. 58).

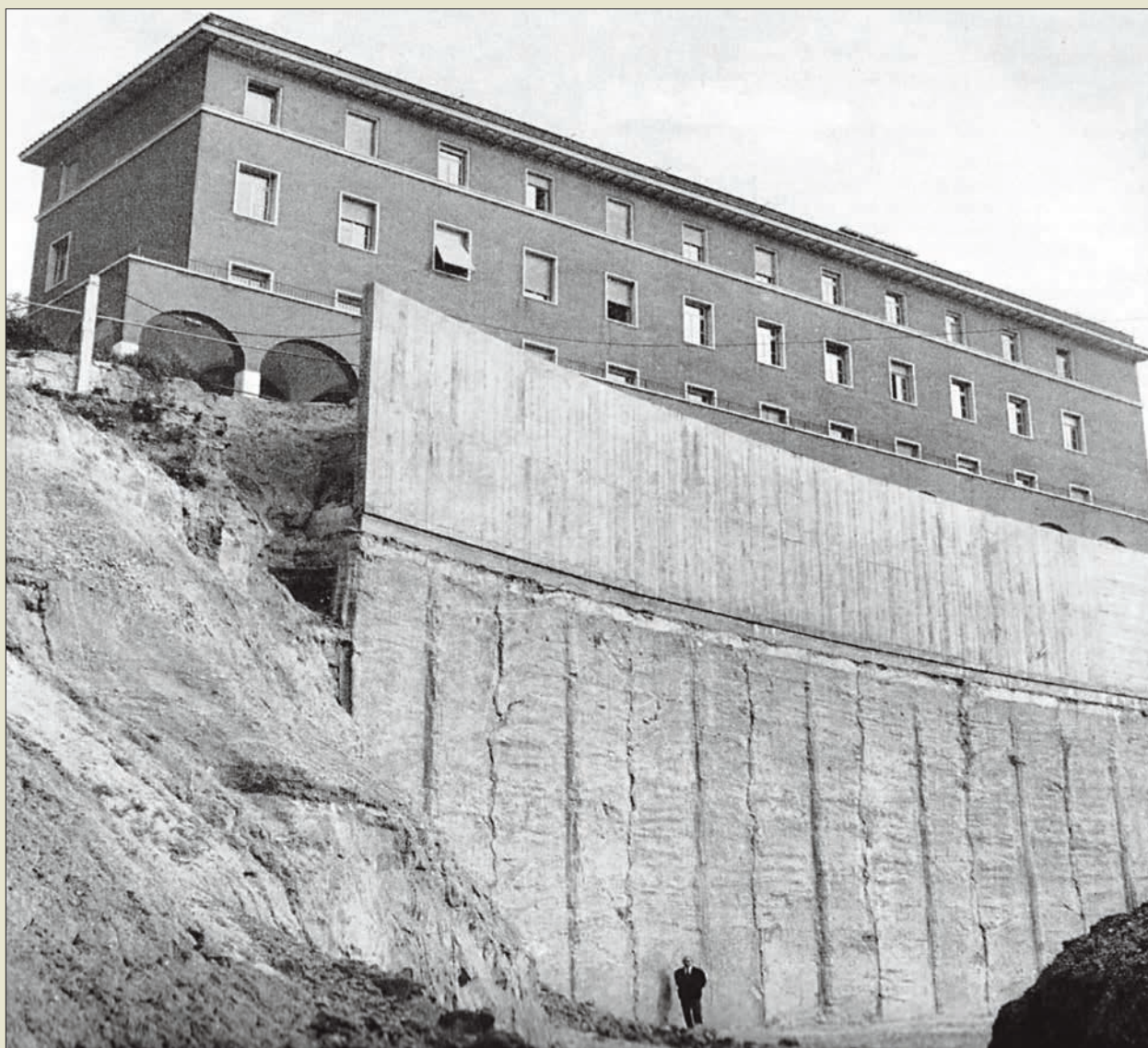
Záslužnou vývojovou práci ve vylepšení procesu čištění suspenze odvedla francouzská firma Caviem, převzatá později firmou **Sotres**. Koncem sedmdesátých let se dostala na čelo světového vývoje se svými **štěrbinovými odvodňovacími vibrosítami** a sestavou odstupňovaných hydrocyklonů (obr. V. 59). Průběžná regenerace suspenze dokonalým odpískováním se tak stala technicky dostupnou a ekonomicky výhodnou i pro cyklickou těžbu. V tuzemsku se tyto čističky začaly používat od počátku osmdesátých let.

Komplexy výroby a čističky suspenze tvořily již v polovině osmdesátých let poměrně složité a mohutné provozní oddíly technologického systému (obr. V. 60).

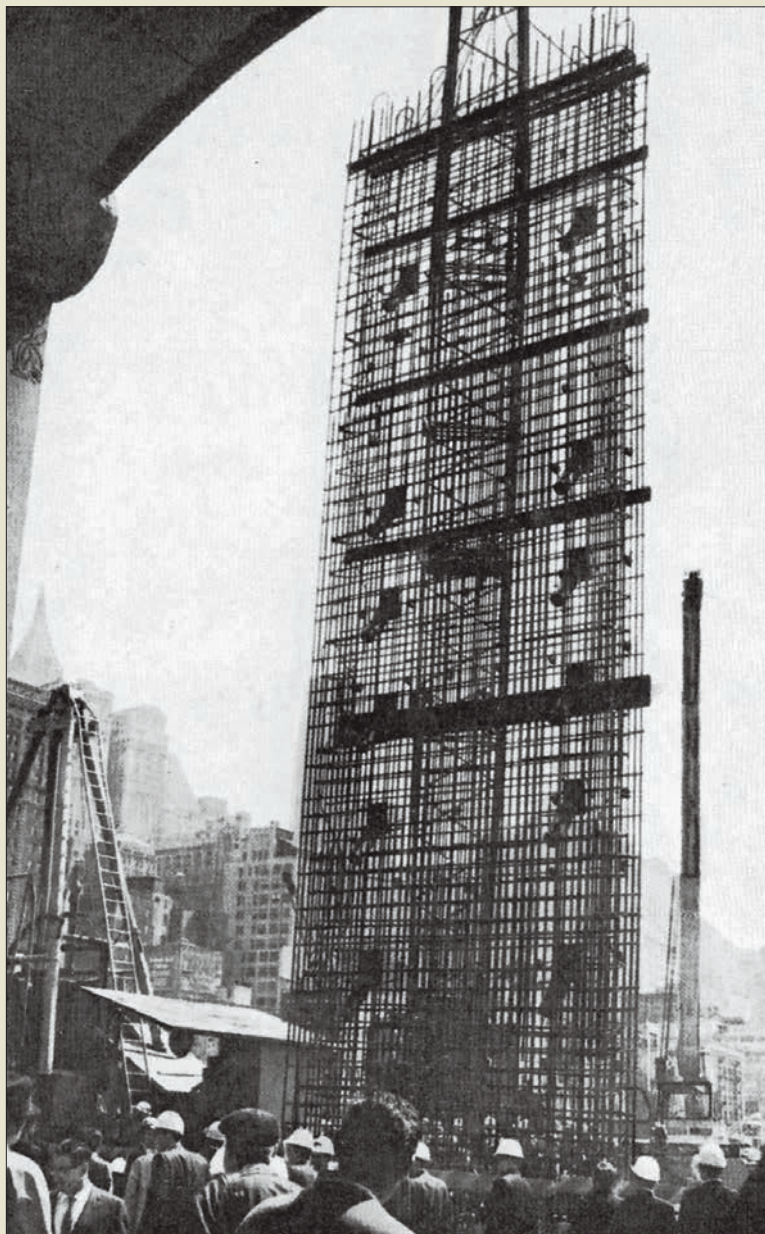
Další velká změna nastala v devadesátých letech u hydrofréz, když byly čističky doplňovány i **odstředivkami**. Ty byly objeveny a zavedeny pro superjemné dočištění ropných výplachů již v roce 1950 v USA. Jelikož se nároky na ochranu životního prostředí dále stupňovaly, začaly se pak uplatňovat další postupy zahuštění zbytkového odpadu výplachu k jeho snadnější likvidaci, což zahrnovalo přidávání flokulačních přísad a zapojování **kalolisů** k oddělení objemného podílu vody ještě na staveništi.

Faktory výplně pažicích stěn

Kromě peripetií v hledání nejlepšího způsobu těžby rýhy prošla technologie podzemních stěn i vývojem v řešení různých doprovodných obtíží v dalších pracovních operacích. Na důležitější z těchto problémů je třeba se podívat blíže. Z pohledu jejich vývoje zahrneme do společné skupiny podzemní stěny **pažicí** i **konstrukční**, neboť jejich technologická



Obr. V. 61: Pohledový trvale obnažený líc jedné z prvních konstrukčních podzemních stěn zhotovené firmou I.C.O.S. z T-elementů v roce 1959 na via Aurelia v Římě. Stěny mají tloušťku 60 cm, hloubku 21 m, délku kolmého žebra 4 m a byly provedeny prvotní technologií s klasickou betonáží rourami. Výška obnaženého líce je 13,5 m.



Obr. V. 62: Osazování těžkého a komplikovaného armokoše, již i s kotevními průchodkami, za pomoci bagrjeřábu firmou I.C.O.S. na stavbě základové jámy pro World Trade Center v New Yorku roku 1967

problematika je téměř totožná. Jejich konstrukční výplň se obvykle zhotovuje ze železobetonu, uloženého na místě do vytěžené lamely, a nazývají se proto **monolitické**.

V průběhu celé uplynulé doby nedošlo k podstatným změnám ani ve způsobu osazování výztuže utvořené **armokoši**, ani při vlastní betonáži stěn betonářskými licími rourami. Význačným rysem armokošů byla od počátku součást **distančních prvků** pro zajištění předepsaného krytí betonem. Vysokou kvalitu již prvních podzemních stěn ukazuje obrázek V. 61, který svou fotogeničností symbolizuje také nadšení, s nímž první generace techniků a dělníků přistupovala k těmto moderním technologiím.

Pro montáž a osazování T-armokošů o váze 9 t bylo na uvedeném příkladu z via Aurelia použito rozměrné pojízdné lešení o výšce 26 m, ale jen o několik let později byly již mohutné armokoše osazovány bagrjeřáby (obr. V. 62).

Zajištění **kvalitní dělicí spáry** mezi jednotlivými lamelami postupně budované podzemní stěny bylo jedním z nejtěžších technologických oříšků v historii metody. Ze své podstaty je tato pracovní diskontinuita místem nejpravděpodobnějších poruch kvality. Pro zhotovení spolehlivé spáry mezi předchozí vybetonovanou lamelou a nově betonovanou lamelou se zkoušely rozmanité technologické operace. Po několik let se improvizovalo s různými dočasně dělicími prvky, jako byly

Obr. V. 63: Systém koutových pažicích prvků stopend podzemních stěn, patentovaný pod názvem CWS joint firmou Bachy v roce 1983. Ocelové hranaté přípravky umožňovaly osazení dvou gumových waterstopů ve vertikálních pracovních spojích lamel.



štetovnice nebo svařence z trubek, nazývané „varhany“, apod. Od šedesátých let se na delší čas většinou ustálilo používání kruhových koutových výpažnic. Sestávaly ze silnostěnných rour nastavovaných bajonetovými zámky. Zůstalo to však problematickým řešením, neboť docházelo k potížím při vytahování těchto rour z tuhneícího betonu. A také byla konkávní část

půlkruhového zámku v již hotové lameli na okrajích principiálně nekvalitní, navíc se i špatně přečišťovala před betonáží.

Velmi důležitým průlomovým krokem byl proto v roce 1983 patent francouzské firmy Bachy pod názvem **CWS joint**, kterým byly zavedeny tzv. **stopendy** ze speciálních hranatých přípravků. Do nich bylo možno navíc instalovat přídatně těsnící gumové pásy **waterstopů**. Stopendy se poměrně snadno uvolnily pomocí drapáku, ale až v závěru při dotěžení sousední lamely (obr. V. 63).



Obr. V. 64: Příklad poruchy podzemní stěny – tzv. matracovitost – v důsledku špatné zpracovatelnosti betonové směsi

Ostatní dodavatelské firmy pochopitelně na tento vynikající nápad okamžitě reagovaly vypracováním svých verzí tohoto řešení. Zavedení těžební technologie frézami si ovšem po několika letech zkoušení vhodných variant stependů vyžádalo jiné řešení dělicí spáry. Využilo dispozice vysoce kapacitní čističky suspenze, schopné dokonale odstraňovat znečištění cementem. V devadesátých letech se při této technologii těžby všeobecně přešlo na postup s vyloučením koutových pažnic a s **přefrézováním styčné spáry** betonu předchozí lamely při těžbě navazující lamely.

Nové závažné problémy s nedostatečnou kvalitou betonu podzemních stěn se nečekaně objevily napříč celým oborem na začátku 21. století. Po půlstoletí překonávání předešlých technologických obtíží a předkládání výborných výsledků staveb to zaskočilo i nejlepší dodavatele. Na stavbách v různých zemích světa se vyskytly **poruchy v integritě a vodotěsnosti betonu** stěn, které vedly i k haváriím (obr. V. 64).

Zjistilo se, že problém souvisí s podstatnými změnami receptur betonových směsí, v nichž se začaly používat různé přísady a příměsi. Jednalo se zejména o málo vyzkoušené **superplastifikátory**. Mediálně nejznámějšími se staly poruchy podzemních stěn při výstavbě metra v Amsterdamu v roce 2008, kde byly v důsledku průvalů pažicích stěn těžce poškozeny památkově chráněné domy v sousedství. Shodou okolností však právě Nizozemsko mělo za sebou dvacetiletý výzkum kvality spár podzemních stěn, který prokázal zlomový nástup poruchovosti od roku 2007 a pomohl tak k odhalení jejich příčin. Ty spočívaly v odlišném chování nově vyráběných betonových směsí navržených původně pro výrobu samozhutnitelných betonů do složitých bednění. Byly vyvinuty v osmdesátých letech v tehdy prudce průmyslově rostoucím Japonsku. Při stavebním boomu a zvyšujících se požadavcích na pevnost betonů tam zjistili náhlý pokles jejich kvality. Důvodem byl prohlubující se nedostatek kvalifikovaných betonářů, kteří by se s patřičnou péčí věnovali klíčové operaci vibračního zhutňování betonu v obzvláště složitých konstrukcích. Velké japonské stavební korporace se v roce 1983 dohodly na zadání vývoje **samozhutnitelných betonů** a o pět let později byl uveden na trh jeho první prototyp. Během jednoho desetiletí se tam pak tyto betony hromadně využívaly na mnoha stavbách, zejména mostů a tunelů. Koncem devadesátých let pronikly i do Evropy, nejprve na dopravní stavby ve Švédsku. Potom se v průběhu další dekády rozšířily po celém světě.

Náhlý problém poruchovosti tohoto typu betonu při zřizování hlubinných základů se stal v roce 2014 předmětem intenzivního zkoumání mezinárodních dodavatelských organizací speciálního zakládání organizovaných v EFFC/DFI (viz str. 299). To vedlo o dva roky později k zásadním návrhům změn dosavadních postupů výroby a zejména zkoušení zpracovatelnosti betonu na staveništi. Pod hlavičkou uvedených organizací byla vydána „Příručka doporučeného postupu pro betonáž hlubinných základů lící rourou“. V roce 2017 vyšla česká verze ve spolupráci organizací ADSZS a ČKAIT.

ALTERNATIVNÍ PAŽICÍ PODZEMNÍ STĚNY

Široké pole pro nové aplikace těžby a výplně podzemních stěn poskytl objev bentonito-cementové **samotuhnoucí suspenze**. Nejvíce se o něj zasloužil koncem šedesátých let francouzský inženýr **Claude Caron** svými rozsáhlými experimenty a bádáním nad různými parametry tohoto materiálu v laboratořích firmy Soletanche. Použití tohoto typu suspenzí umožnilo provádět **kvazikontinuální těžbu** rýhy při současném propojování ještě čerstvého tekutého výplachu mezi primárními a sekundárními úseky těžby. V těsné následnosti postupu těžby pak bylo možno instalovat do suspenze v tekutém stavu jiné vhodné prvky a zřizovat tak **kompozitní pažicí stěny**.

První praktické využití bylo i výrazem typicky francouzské snahy po dokonalém estetickém vzhledu povrchu trvale exponované betonové podzemní stěny. Podkladem byly v roce 1968 patenty na metodu **prefabrikované podzemní stěny** firem Soletanche a Bachy. Nově tak bylo možno nabídnout namísto obvyklé tváře betonového odlitku povrchu zeminy v rýze dokonalý líc řemeslně zhotoveného prefabrikátu. Ten byl osazen a zavěšen do samotuhnoucí suspenze v rýze a spojen vhodným zámkem se sousedním vodorovně připojeným prefabrikátem do souvislé řady (obr. V. 65). Tento typ konstrukcí se obzvláště osvědčil pro aplikace, kdy na podzemní stěnu přímo navazovala v její hlavě opěrná zeď, například u dopravních staveb. Postačilo tak využít prodlouženou horní část prefabrikátu nad podzemní stěnou.



Obr. V. 65: Provádění prefabrikované podzemní stěny Panosol firmy Soletanche pro nábřeží v normanském letovisku Deauville-Trouville ve Francii roku 1977



Obr. V. 66: Osazené prefabrikované panely podzemní stěny před ukotvením na Strakonické ulici v Praze roku 2001 (Zakládání staveb, a. s.)



Obr. V. 67:
Kompozitní
pažicí a těsnicí
podzemní stěna
s vloženými I-profily
a mezilehlými
armokoši na stavbě
domu v pražské
Petrské ulici roku
2009 (Zakládání
staveb, a. s.)

Bylo ovšem nutno vyřešit i způsob napojení u trvalého utěsnění spár mezi prefabrikáty. V této oblasti se pak projevila kreativita dalších firem, které tuto inovaci podzemních stěn následovaly a zavedly různé typy prefabrikátů a jejich zámeků pod svými patenty. U nás byla první prefabrikovaná stěna s jednoduchým drážkovým zámekem zhotovena v roce 1975 na stavbě Centrálního dispečinku městské dopravy v Praze v ulici Na Bojišti. Velmi úspěšným použitím byla v roce 2001 stavba protipovodňové nábrežní zdi podél Strakonické ulice v Praze (obr. V. 66).

Samotuhnoucí suspenze vedla i k dalším typům kompozitních pažicích stěn, při nichž bylo v horní části stěny využito různých vložených pažicích nosných komponentů, například ze štetovnic, ocelových nosníků nebo armokošových svařenců. Využívaly se pro dočasné pažení výkopu, přičemž spodní část stěn měla často těsnicí funkci. U nás je příkladem takové stěny stavba bytového domu v pražské Petrské ulici roku 2009 (obr. V. 67).

Podstatnější inovací původního principu pažicí podzemní stěny bylo zhruba od osmdesátých let zřizování podzemních stěn technologiemi **tryskové injektáže** nebo **soil-mixingu**. Odlišnost spočívala v tom, že se těleso podzemní stěny vytvářelo přímo in-situ v rostlém materiálu základové půdy. Jedná se sice stále ještě o metody pažení výkopu v rámci širší činnosti hloubení základů, ale již jde o technologické systémy spadající do okruhu činností, které jsou podrobněji probrány v kapitole VI. o zlepšování základové půdy.

Je třeba připomenout zásadní funkční rozdíl při aplikacích alternativních technologií. Výsledným materiálem při uvedeném zlepšení základové půdy in-situ je značně nestandardní **hlino-beton**, který má podstatně nižší pevnostní parametry než konvenční průmyslový železobeton podzemních stěn, a to zejména v ohybu. Při navrhování těchto konstrukcí se proto obecně nejedná o srovnatelný mechanismus pažení. V konkrétních aplikacích může jít o **hybridní pažicí/opěrné systémy**, vyžadující i specifický přístup k jejich vyztužování a kotvení. Tyto konstrukce jsou vhodné do specifických podmínek a za určitých okolností. Jejich technologické prováděcí výhody však během času dokázaly v mnoha případech mělkých základových jam nebo v nepřístupných místech při volbě metody převážit.

Do stejné kategorie náležejí i další technologie používané pro zajišťování stěn horninového prostředí metodou zlepšení vlastností základové půdy, například hřebíkování.

DRENÁŽNÍ PODZEMNÍ STĚNY

Při potřebě hlubinného velkoobjemového odvodňování se ukázal jako výhodný velmi specifický druh podzemních drenážních stěn, kupříkladu při ošetření sesuvných nebo kontaminovaných území. Dlouho bylo v těchto případech jedinou možností zřízení hlubokého paženého výkopu rýhy pro konvenční uložení drenážního potrubí. Ve zvodněném prostředí to ovšem vyžadovalo pracné provádění v rozepíraných štětových stěnách. Bylo to proto omezeno efektivně dosažitelnou hloubkou. Od konce sedmdesátých let se však s nástupem biodegradabilních polymerových suspenzí začala využívat i technologie drenážních podzemních stěn. V jednoduchém případě pak stačilo vyplnit průběžně zhotovenou rýhu zásepem šterku do pažicího výplachu a ponechat výplach zdegradovat na zůstatkovou vodu. První tento postup tehdy uplatnila jako svou patentovanou metodu Deep Draining Trench francouzská firma Bachy. V roce 1996 pak již vývojáři ve firmě Soletanche-Bachy vynalezli promyšlený způsob, jak instalovat i v drenážní stěně, prováděné klasickým postupem po lamelách, průběžně propojené sběrné potrubí ve dně stěny.

U nás byla první drenážní stěna s biodegradabilní suspenzí vybudována při sanaci skládky Růžodol na Mostecku v roce 1994 v relativně výhodných podmínkách nezastavěného území. Komplikovanějším příkladem byla drenážní stěna pro sanaci znečištění podzemní vody v hustě zastavěném areálu továrny Pilana Hulín v roce 2009 za plného provozu (obr. V. 68).

Všestranně komplikované podmínky vyžadují skutečné mistrovství v provádění technologií. U příležitosti zmíněné unikátní stavby je vhodné připomenout jméno Ing. **Martina Jirečka**, který ji řídil. Stal se v tuzemsku zaslouženým nestorem v praxi technologie podzemních stěn. Prováděl ji spolu s jinými metodami zakládání na nesčetných stavbách u nás i po celém světě. Je příkladem odborníka opravdově zaníceného pro své povolání. Dějiny, o nichž zde píšeme, tvořili hlavně lidé jako on – „neúnavně šlapající bláto“ stavby a přemýšlející o své práci.

Obr. V. 68: Zřizování drenážní podzemní stěny lehkým lanovým drapákem při neobvyklém uspořádání „obkročmo“ nad rýhou ve velmi stísněných poměrech provozu továrny. Sanace znečištění v podniku Pilana Hulín prováděla firma Soletanche ČR v roce 2009 za odborné účasti Ing. Martina Jirečka (vpravo).



ČÁST E

TĚSNICÍ CLONY

Všeobecně

V historii stavitelství bylo ve světě vybudováno množství těsnicích clon proti průsaku podzemní vody. Většinou pro stavby vodních děl, ale i pro jiné účely. Před staletími se při tehdejších nedostatku mechanizace obvykle zřídila pod přehradou nebo hrází alespoň jílem vyplněná ostruha ve vyhloubené rýze. V případě potřeby se výkopy prohlubovaly a časem přešly ve skutečné clony, zřízené v navazujících šachtách hloubených hornicky a vyplněných betonem. Příklad takové rekordní clony v suchém prostředí, zřízené z šachet až do hloubky 90 m, poskytuje přehrada Rodriguez v Mexiku z roku 1944. Ve vhodných základových podmínkách se dříve prováděly také clony z ražených dřevěných pilot či štětovic, později ocelových. Ve skalním prostředí se zase začala pro vytvoření clony uplatňovat od poloviny

Obr. V. 69: Konvenční hloubení základů piliřové klenbové přehrady Daniel Johnson (Manic 5) na kanadské řece Manicouagan v roce 1964. Hloubení probíhalo ve štěrkových sedimentech s velkými balvany pod ochranou dočasné protivodní hráže s hloubkou clony 78 m. Clona byla provedena z vrtaných elementů prvotní metody I.C.O.S.



19. století injektáž (viz str. 171). Ale v obtížných geologických podmínkách byla až do poloviny 20. století jedinou alternativou clona hloubená konvenčně, i když bylo někdy nutno složitě zajistit zajištění staveniště (obr. V. 69).

Ve zvodnělém základovém prostředí se také například budovala betonová clona z řady **spouštěných pneumatických kesonů** (viz str. 111). Takto byla navíc i s podporou hlubinného odvodnění zbudována v roce 1936 clona do hloubky 40 m pro massachusettskou přehradu Winsor pro dodávku pitné vody Bostonu. U nás byla v roce 1953 ve zvodnělém prostředí zřízena clona z pneumatických kesonů o rozměrech 3 x 14,5 m do hloubky až 16 m pro přehradu Lipno.

TĚSNICÍ PODZEMNÍ STĚNY

Všeobecně

Podzemní stěny ovšem poskytly výhodnější řešení pro zřizování clon. Již jsme se zmínili, že těsnicí clona provedená roku 1948 v Kalifornii byla vlastně vůbec prvním případem podzemní stěny (viz str. 132). Američané si za desetiletí běžné praxe prvotních podzemních stěn navykli používat pro jakékoli podzemní stěny název **slurry wall** (doslovně stěna ze suspenze či z kalu) a ten se u nich ustálil. V Evropě se sice zhotovovaly od roku 1950 první podzemní stěny také jako těsnicí, ale s odlišnou výplní. V jednotlivých lamelách stěny byla bentonitová pažicí suspenze nahrazena jílobetonovou výplní z tzv. **plastického betonu**. Plastický beton měl odpovídat svým nižším modulem přetvárnosti horninovému prostředí a předcházet při možných deformacích křehkému porušení stěny. Lamely byly také odlišně vytvořeny z propojených pilot relativně malého průměru – jen 60 cm. Prvotní technologie s nárazovým vrtáním se zde záměrně volila jako obzvláště výhodná pro účel clon v obtížnějších geologických podmínkách, často s ukloněným skalním podložím a výskytem balvanů. Proto se zde všeobecně zažil název **diaphragm wall** (doslovně membránová či přepážková stěna), který zdůrazňuje relativní štíhlost stěny vzhledem k její ploše.

Faktory těžby a výplně

Prvotní technologickou verzí těsnicí podzemní stěny, započatou ve čtyřicátých letech v USA, byla průběžná těžba rýhy **vlečným korečkem** při současném vytváření **bentonito-zeminové výplně** clony. Tento způsob zřizování clon si právě ve Spojených státech získal značnou oblibu. Sešlo se několik příznivých faktorů: jednak plošně rozsáhlá staveniště se souvrstvím snadno těžitelných sedimentárních zemin, nabídka vysoce kvalitního wyomingského bentonitu a nástup silné robustní mechanizace vyzkoušené v povrchových dolech surovin, který předběhl vývoj ve válkami ničené Evropě. Obecně sice byla tato technologie omezena hloubkovým dosahem, ale přesto se jí pro své velmi nízké náklady masivně využívalo po několik desetiletí. Uplatnila se občas i v pozdější konkurenci s novými prostředky.

Vlečný koreček vynalezl v roce 1904 Američan John W. Page pro výkopové práce na chicagském průplavu. Ačkoli své stroje neustále vylepšoval a zavedl jako první v roce 1924 diesellový pohon nosiče, předstihla jeho podnik konkurence. Firma Bucyrus například zavedla jako první roku 1911 plazový nosič a o rok později elektropohon. Ve dvacátých letech prudce narostla poptávka po výkonných mechanismech, které pak dosahovaly v povrchové těžbě surovin obřích rozměrů. V sedmdesátých letech vrcholila důlní těžba a u kráčivých velkorypadel byl objem korečku 100 až 160 m³. V inženýrském stavitelství se sice ustálil menší objem používaného korečku pouze na několika m³, ale od počátku se pro clony dosahovalo impozantních proporcí tloušťky 1,5 až 3,05 m (obr. V. 70).

S ohledem na nedokonalou homogenitu výplně bentonito-zeminového těsnění, zhotoveného nahrnováním in-situ, byla pro snížení gradientu průsaku velká tloušťka clony nezbytná. Například u přehrady Wanapum na řece Columbia ve státě Washington byla v roce 1962 provedena clona o tloušťce 3,05 m až do hloubky 25 m. A obdobným způsobem v témže roce na přehradě West Point ve Virginii do hloubky 18 m (obr. V. 71).

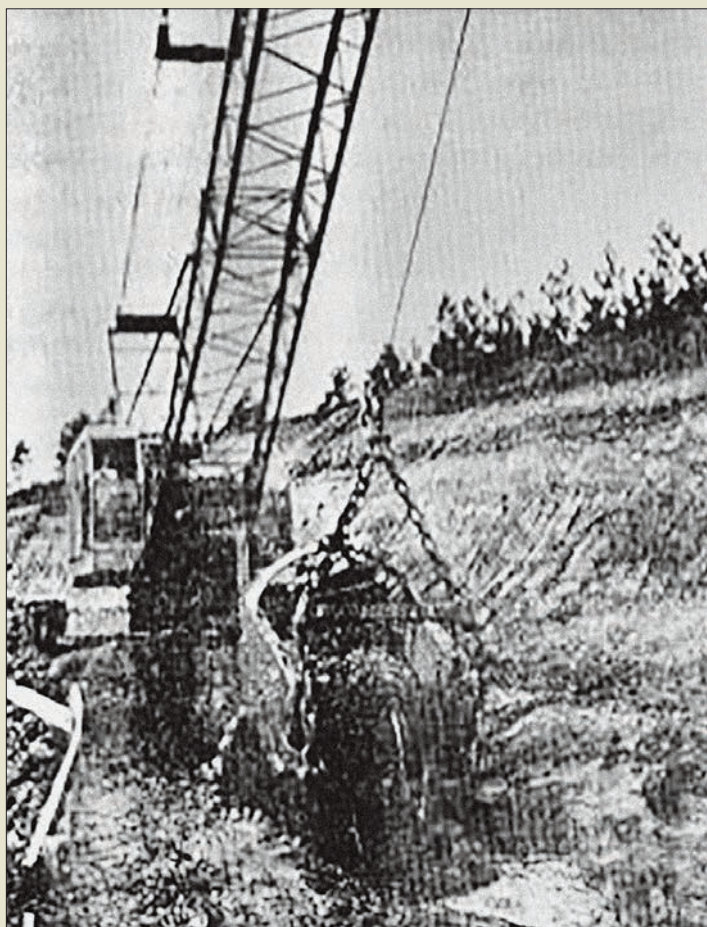


Obr. V. 70: Typický bagr s vlečným korečkem na konci sedmdesátých let v USA; nosič firmy Manitowoc, model 6400, tah na laně 38 t, výložník 53 m s korečkem firmy Hendrix o objemu 10,5 m³

Tento postup byl stále vylepšován čištěním dna rýhy i různými způsoby homogenizace výplně. Jeho nespornou výhodou byl skutečně kontinuální průběh výplně beze spár. Od sedmdesátých let se ale všeobecně začalo přecházet na modifikaci této původní metody s použitím samotvrdnoucí suspenze. Ta svou standardní kvalitou výplně umožnila podstatné zmenšení tloušťky stěny, a tedy i výkonnější těžbu. Dalo se též využít výkonnějších hydraulických lopatových rypadel s extra dlouhým ramenem (obr. V. 72).

V polovině 20. století již byla ve světě postavena vodní díla ve většině snadnějších údolních profilů a začalo se vstupovat do projektů s komplikovanějšími geotechnickými podmínkami. Proto narostla strmě poptávka po technologiích schopných zřídít clony ve skalním prostředí. Dokázaly to clony prováděné nově firmou I.C.O.S. Ta budovala například clony pro několik přehrad prstencového řetězce nádrží na řece Manicouagan v kanadské provincii Québec. V etapách realizace jednotlivých přehrad od roku 1964 do roku 1974 tam clony zasahovaly do podzemního úzkého skalního kaňonu z granitické ruly postupně do hloubek od 25 m do 120 m (viz obr. V. 69).

Technologiemi obdobnými způsobu I.C.O.S. bylo zhotoveno až do začátku sedmdesátých let velké množství těsnících clon. Poté se hromadně začalo přecházet na metodu průběžného těžení lamel s použitím samotvrdnoucí suspenze. Obvykle se využívala drapáková technologie, vhodná i pro těžbu balvanů, doplňovaná pomocným dlátováním. Touto metodou se tvořila prakticky souvislá výplň ze zatvrdlé suspenze v rýze s eliminací pracovních spár mezi jednotlivými úseky. Tím se konečně sloučil americký ideál průběžné clony bez přerušení pracovními spárami s evropským požadavkem



Obr. V. 71: Provádění bentonitové clony vlečným korečkem o tloušťce 1,5 m do hloubky 18 m pro přehradu West Point ve Virginii roku 1962



Obr. V. 72: Typický způsob provádění kontinuální těsnicí clony ze samotvrdnoucí suspenze s užitím konvenčního rypadla s podkopovou lžící na dlouhém výložníku na počátku 20. století



Obr. V. 73: Těsnicí podzemní stěna ze samotvrdnoucí suspenze pro úložiště popílkových kalů v Počeradech, těžená vedeným kelly drapákem (Zakládání staveb, a. s.)

na kvalitu materiálu výplně. Rozšíření této výhodné a všeobecně žádané technologie nezabránila ani patentová ochrana původního vynálezu inženýra P. Carona. V tuzemsku byla stejná technologie použita poprvé závodem 07 podniku Vodní stavby při budování těsnicí clony odkaliště elektrárny Počeradý v roce 1978 (obr. V. 73).

Uvedenou výhodu samotvrdnoucí suspenze ovšem nelze využít pro technologii těžby hydrofrézou, protože tuto suspenzi není možné podrobit čištění, jež reverzní cirkulace vyžaduje. Na druhou stranu jsou hydrofrézy svojí výkonností a dosahem nenahraditelné obzvláště pro **rekonstrukce těsnicích clon** přehrad. Jsou schopny profrézovat i původně injektované clony ve skalním prostředí. Výplň se v těchto případech zhotovuje klasickým postupem z plastického betonu.

Jedná se o jeden z nejnáročnějších úkolů, který před speciálním zakládáním stojí. Jen v USA potřebovalo na začátku 21. století opravu 4000 přehrad (z celkového počtu 87 000 včetně menších přehrad) a z toho polovička se nacházela v havarijním stavu. Velké množství stávajících přehrad ve světě má již za sebou zhruba 50 až 100 let funkce (viz str. 45). Mnohé z nich volají po generální opravě právě kvůli zvyšujícím se průsakům v podzákladích, k jejichž nárůstu dochází vytvořením preferenčních cest dlouhodobou filtrační erozí v oslabených nehomogenních místech clon. Zpravidla to znamená provést novou clonu z koruny stávající hráze. Obvykle se to provádí profrézováním přes zemní konstrukci a existující clonu až hluboko do podzákladí. Tloušťka nové clony musí být patřičně mohutná, aby

splnila nynější zvýšené požadavky bezpečnosti a trvanlivosti. Jeden z prvních projektů se uskutečnil na přehradě Mud Mountain v USA roku 1988 s clonou o tloušťce 1 m do hloubky až 124,5 m. Několik dalších havarijních oprav již bylo zejména v USA provedeno a mnoho se jich připravuje i jinde ve světě (obr. V. 74).

Clony se dají alternativně budovat i jinými technologiemi, například z převrtávaných pilot nebo z výsečí sloupů tryskové injektáže. To může být obzvláště vhodné pro rekonstrukce přehrad. V roce 2007 tak byla zhotovena nová clona skrze těleso betonové přehrady Arapuni, postavené roku 1927 na Novém Zélandu. Jedná se o 64 m vysokou gravitační hráz přes řeku Waikato. Těsnicí stěna byla provedena speciálním postupem firmy Trevi, převrtáváním sousedících pilot o průměru 400 mm do hloubky 90 m ve čtyřech pečlivě vysledovaných úsecích s výskytem průsaků.

U nás bylo obdobně rekonstruováno narušené návodní jílové těsnění roklované přehrady Mostiště na Oslavě zřízením nové clony z tryskové injektáže v roce 2005 firmou Soletanche ČR.

TENKÉ TĚSNICÍ STĚNY – TTS

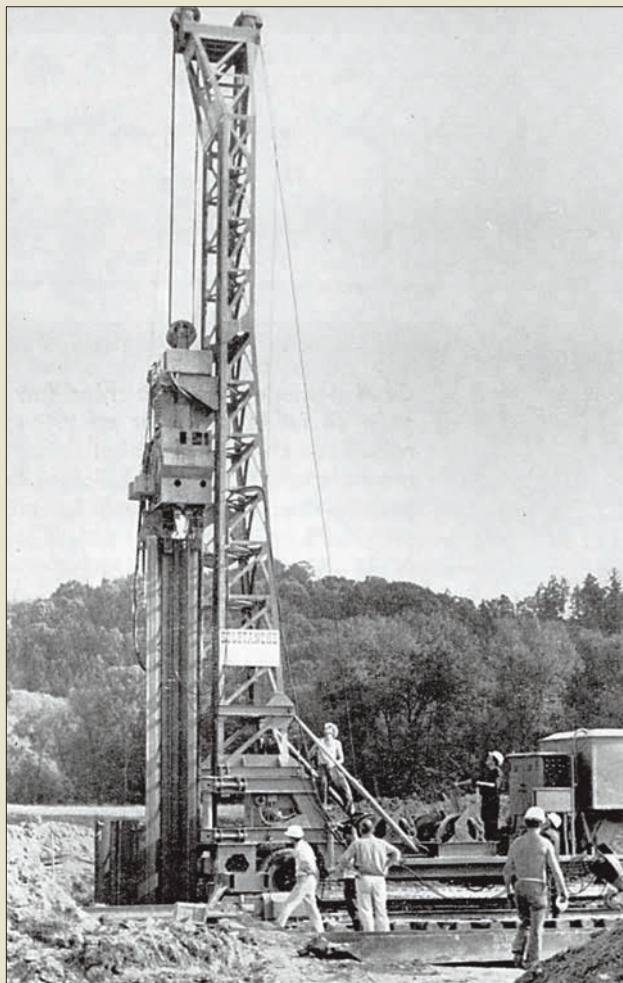
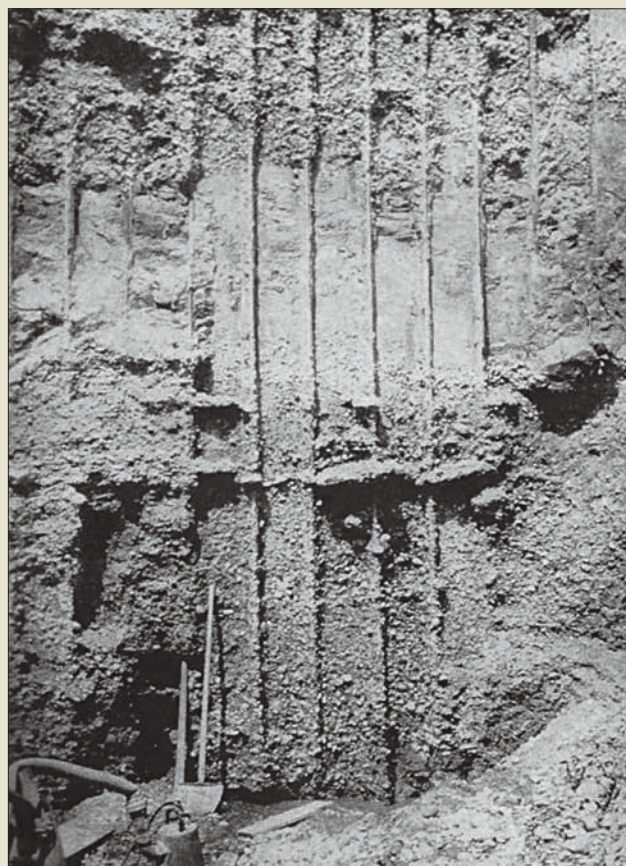
V poválečném období rozsáhlé výstavby pobřežních ochranných hrází řek v nížinných částech západní Evropy byl v důsledku velké poptávky po těsnících clonách široce otevřen prostor pro kreativitu. Jelikož tehdy panující nedostatek ocelových štetovnic těmto požadavkům neodpovídal, rozvinulo se od konce padesátých let náhradní používání tzv. **tenkých těsnících stěn**. První vyvinula v roce 1955 francouzská firma ETF v Toulouse. Její lamely se vytvářely tlakově vhněnou jílocementovou směsí do dutiny vyražené v zemi působením dieselberanu na rozšířený břit formovacího I-profilu.



Obr. V. 74: Havarijní rekonstrukce těsnicí clony zemní přehrady Wolf Creek na řece Cumberland v Kentucky roku 2014. Nově byla k odstranění průsaků krasovým podložím zřízena betonová podzemní stěna do hloubky 90 m. Na koruně hráze byla při provádění skutečná skrumáž speciálních těžkých mechanismů firem Soletanche a Trevi.

Obr. V. 75: Na výšce 5 m obnažená tenká těsnicí stěna ve štěrkopísčích při budování pobřežní hornodunajské hráze firmou EDF v bavorském Günzburgu roku 1958

Výplňová směs se v počátečních letech připravovala velmi levně, obvykle z místně dostupného hlinitého jílu s cementem. K dosažení výsledné pevnosti materiálu clony se vyžadoval potřebný siltový podíl. Svislé vytahování prvku se tehdy zajišťovalo hydraulickými stoličkami. Pro manipulaci k opětovnému zarážení prvku v půdorysném překryvu s prvkem předchozím byl proto potřeba ještě samostatný jeřáb. Vznikla tak

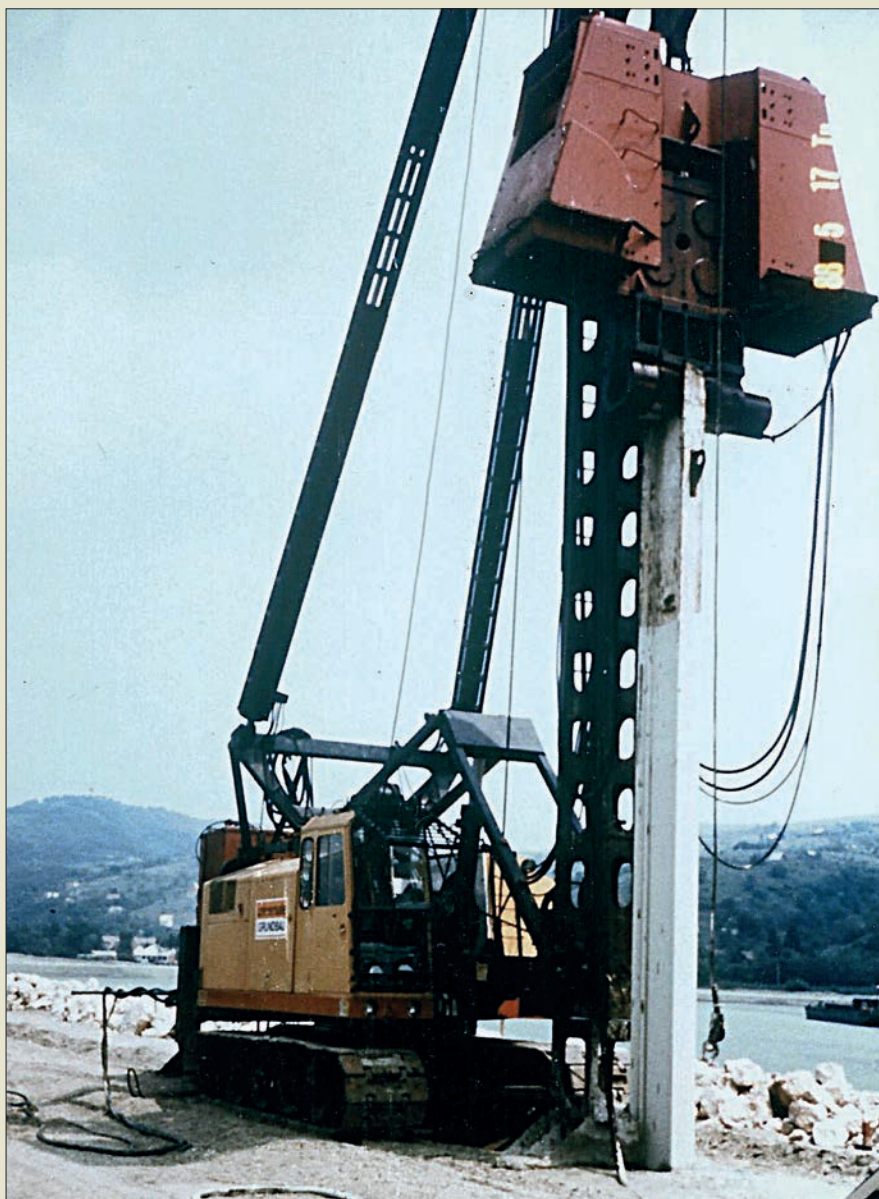


podzemní stěna o tloušťce 10–15 cm a hloubkách do 10 m. Nová technologie obzvláště dobře vyhovovala pro ekonomické zřízení těsnicích clon ve stovkách kilometrů dlouhých protipovodňových hrází podél toků velkých řek jako Dunaj nebo Rýn (obr. V. 75).

V polovině šedesátých let byla tato technologie radikálně vylepšena použitím razicí techniky těžkých elektrovibrátorů, urychlujících i vytahování razicího prvku (obr. V. 76).

Obr. V. 76: Jedno z prvních nasazení těžkého elektrovibrátoru na vodící lafetě, ale ještě na kolejovém podvozku, pro zhotovení tenkých těsnicích stěn firmou Soletanche na stavbě hornodunajské elektrárny v bavorském Bittenbrunn roku 1966

Obr. V. 77: Budování tenké těsnicí clony do hloubky 10 m pro hráz později zrušeného projektu přehrady Nagymaros na Dunaji v Maďarsku roku 1988. Rakouská firma Universalbau použila ve štěrkopiscích těžký elektrovibrátor Ferrokonstrukt 40 t na hydraulickém nosiči Ackermann.



Tím se zvýšil hloubkový dosah na 20 m a s pozdější dostupností ještě silnějších mechanismů až na 30 m. Od začátku sedmdesátých let pak byla umožněna přechodem na bentonito-cementové směsi s vápencovým fillerem automatizovaná výroba standardně kvalitní výplně ustáleným průmyslovým postupem (obr. V. 77). Jen v samotném Rakousku jich bylo po prvních zkušebních stavbách provedeno za čtyřicet let od roku 1968 více než 2 miliony m². V tuzemsku byla tato technologie poprvé použita v roce 1987 u závodu SZS, Vodní stavby, pro zkušební jímku v Neratovicích.

SPECIÁLNÍ PODZEMNÍ BARIÉRY

Rozsáhlým polem pro použití podzemních clon se s nástupem radikální ochrany životního prostředí od poloviny šedesátých let staly i **trvalé bariéry proti znečištění** horninového prostředí (viz část D kapitoly VI., str. 266). V té době se již v důsledku výzkumu funkce jílového těsnění skládek odpadů, zhotovovaného z přírodního homogenizovaného jílu, začal zásadně měnit názor na průběh průsakových jevů při působení elektrolytů kontaminovaných vod. Již od 19. století byla sice známa neplatnost Darcyho filtračního zákona pro průsak čisté vody v jílovitém, málo propustném prostředí, ale v běžné praxi bylo stále používání této jednoduché formule hluboce zažito. Další badatelé ji v různých modifikacích postupně upřesňovali. Často se však používala ve své původní triviální formě i pro případy průsaku kontaminované vody jílem, a to až do začátku 21. století.



Obr. V. 78: Zřizování těsnicí stěny tloušťky 60 cm ze speciální samotvrdnoucí suspenze drapákovou technologií firmou Soletanche ČR v rámci zhotovení úplného geokontejnmentu skládky toxických odpadů Kema Skalná v roce 1997

Obr. V. 79: Budování těsnicí clony s geomembránou kolem skládky agresivní zelené skalice v chemičce Přerov v roce 1981. Fólie Isofol z měkčeného PVC byla instalována do hloubky 7 až 9 m. (Zakládání staveb, a. s.)





Obr. V. 80: Osazování geomembrány z PEHD tloušťky 2 mm do hloubky 10 m v těsnicí podzemní stěně při nové úpravě skládky zelené skalice v Precheze Přerov roku 2001 (Zakládání staveb, a. s.)

K podstatnému obratu přispělo až podrobnější řešení problémů s průsakem kontaminace započaté ve světě v osmdesátých letech. Výzkumy prokázaly, že elektrochemické reakce v mikropórech mohou průsak těsněním radikálně zpomalit až úplně zablokovat. Zjistilo se ale také, že ve zvláštních případech může přítomnost určitých chemických látek průsak v běžných jílech naopak urychlit. U nás byl průkopníkem hlubšího poznání filtrace v málo propustných zemínách světově uznávaný půdní fyzik Prof. Ing. **Miroslav Kutílek**, DrSc., z pražského ČVUT, který uvedl komplexnost teorie průsaku již ve své vysokoškolské učebnici z roku 1966. Otevřel tím pro povolání v tomto speciálním oboru cestu k osvojení dalších důležitých poznatků.

Specifická kvalita a homogenita bariéry se tudíž stala hlavním opatřením proti možnému vzniku preferenční cesty průsaku. Řada předních světových firem speciálního zakládání začala tehdy intenzivně provádět vlastní experimenty s různými **sorbentními a rezistentními složkami** samotvrdnoucí suspenze, které následně patentovala. Důležitým činitelem bylo i cílení na trvanlivost výplně přes 100 let. Z těchto zkušeností v devadesátých letech vyplynulo zavádění nových předpisů požadujících například standardizaci výroby speciální směsi a minimální tloušťku bariéry. Těmito metodami pak bylo vyřešeno mnoho problematických toxických zátěží z minulé průmyslové činnosti (obr. V. 78).

Za obtížných okolností docházelo i k uplatnění těžby hydrofrézou s výplní ze speciálních plastických betonů. V roce 1992 tak firma Soletanche uzavřela v rakouském Laakirchenu kruhovou clonou skládku směsného agresivního znečištění. Stěny o tloušťce 1 m dosahovaly do hloubky 70 m a byly vyplněny velmi speciálním plastickým betonem s vysokou protiagresivní odolností.

V obzvláště náročných podmínkách znečištění se od osmdesátých let také zaváděly kompozitní podzemní stěny vybavené instalací souvislých plastových **geomembrán z PEHD** se speciálními spojovacími zámky. U nás bylo první takovou stavbou v roce 1981 urgentně požadované zřízení těsnicí clony v Přerově (obr. V. 79). Postihla ji ovšem tehdejší tuzemská nedostupnost vhodného plastového materiálu, a proto bylo osazování i zajištění spojů jednotlivých dílů geomembrány z použitého měkčeného PVC velmi obtížné.

Je třeba zaznamenat, že v další etapě prací na této akci v roce 2001 byla poprvé použita kvalitní geomembrána z PEHD (obr. V. 80).

Slibný rozvoj tohoto segmentu stavebního průmyslu se však na počátku 21. století výrazně utlumil v důsledku narůstajících problémů světové ekonomiky a s tím spojeným vysycháním finančních zdrojů pro sanační zásahy (podrobněji viz část D kapitoly VI., str. 266).

ZLEPŠOVÁNÍ ZÁKLADOVÉ PŮDY

VŠEOBECNĚ

V tomto okruhu činností speciálního zakládání se nacházejí velmi různorodé technologické systémy. Spojuje je účel zlepšování prostředí základové půdy, jejích vlastností a parametrů. Jde často o metody volněji kombinující různé technologické systémy z dalších okruhů činností, například technologie nárazové, vrtací a vibrační. Mnohdy přecházejí v konkrétních aplikacích plynule jedna do druhé.

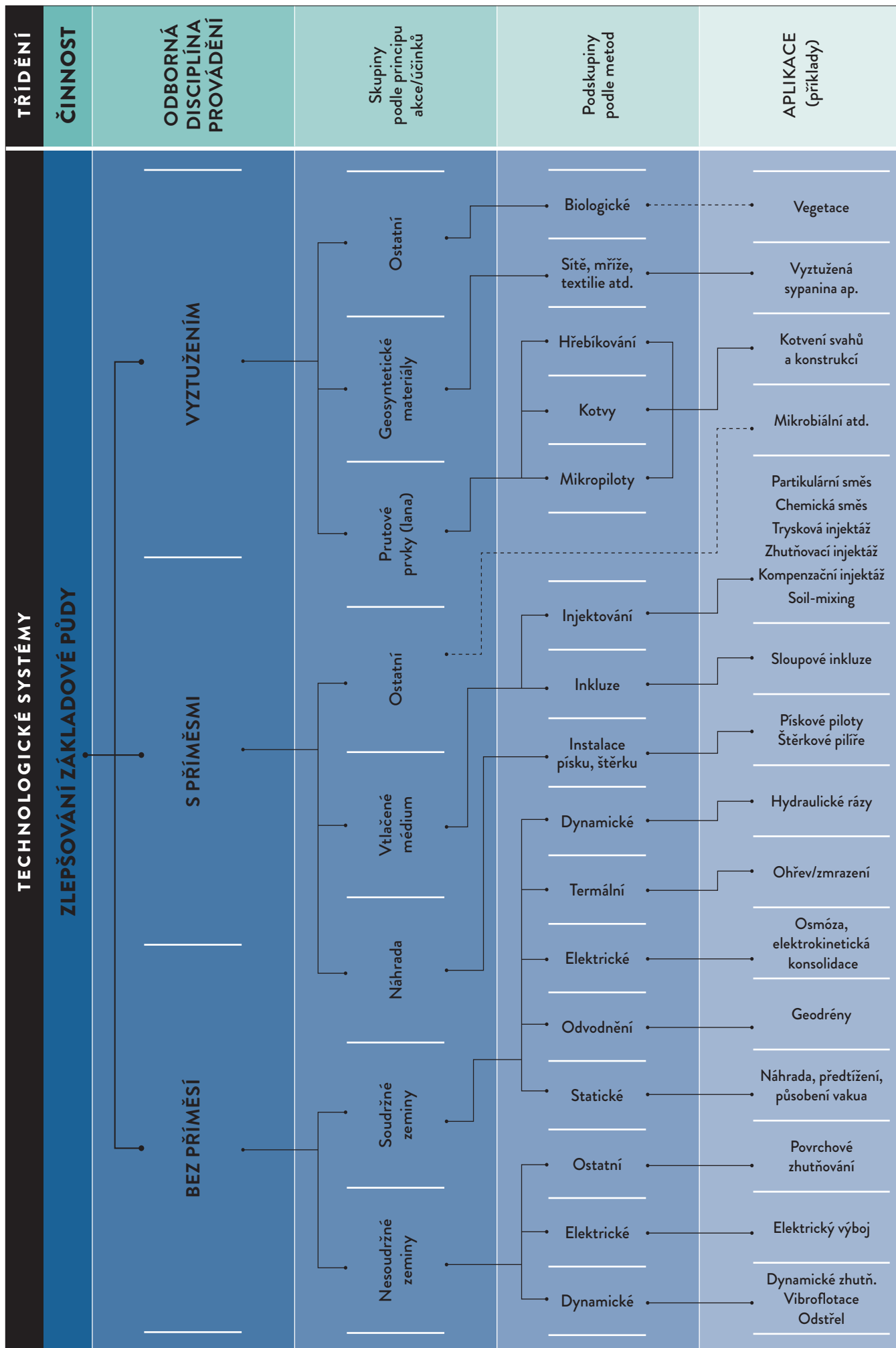
Tento propletenec začal být časem při dalších a dalších kombinacích nepřehledný, třídění těchto technologií bylo dlouho nedostatečné. Pro sledování historického vývoje je však třeba se dokonale zorientovat v celkovém uspořádání a propojení disciplín či metod. Určitý pořádek do něj vnesla odborná klasifikace ISSMGE (Mezinárodní společnost pro mechaniku zemin a geotechnické inženýrství – viz str. 298) z roku 2009. Pracovní skupina TC17 zavedla základní rozdělení do tříd a souborů metod podle prováděcích postupů (obr. VI. 1).

KATEGORIE	SOUBOR METOD / DISCIPLÍNA
A. Zlepšování bez příměsí v nesoudržných zeminách nebo navážkách	A.1 Dynamické zhutňování A.2 Vibrozhutňování, vibroflotace A.3 Zhutňování odstřelem A.4 Zhutňování elektrickým výbojem A.5 Povrchové zhutňování (včetně rychlých rázů)
B. Zlepšování bez příměsí v soudržných zeminách	B.1 Přemístění/náhrada (včetně snížení zatížení využitím lehkého materiálu) B.2 Předtížení využitím násypu (včetně využití svislých drénů) B.3 Předtížení využitím vakua (včetně kombinovaného předtížení a vakua) B.4 Dynamická konsolidace podpořená drénováním (včetně využití vakua) B.5 Elektroosmóza nebo elektrokinetická konsolidace B.6 Termální stabilizace využitím ohřívání nebo zmrazování B.7 Zhutňování hydraulickými rázy
C. Zlepšování s příměsmi nebo inkluzemi	C.1 Vibrační náhrada nebo šterkové pilíře C.2 Dynamická náhrada pilíři C.3 Pískové zhutňovací piloty C.4 Pilíře uzavřené v geotextilii C.5 Sloupové inkluze (nebo kompozitní základy) C.6 Pilíře nebo piloty vyztužené geosyntetiky pro podporu násypu C.7 Mikrobiální metody C.8 Ostatní metody
D. Zlepšování s příměsmi injektážního typu	D.1 Injektáž partikulární směsí D.2 Chemická injektáž D.3 Metody vmíchávání (včetně předmíchání nebo hlubinného vmíchání) D.4 Trysková injektáž D.5 Zhutňovací injektáž D.6 Kompenzační injektáž
E. Vyztužení zemního prostředí	E.1 Geosyntetika nebo mechanicky stabilizovaná zemina E.2 Kotvy nebo hřebíky E.3 Biologické metody s využitím vegetace

Obr. VI. 1: Zatřídění metod zlepšování základové půdy podle prováděcích postupů (upraveno dle TC17 – ISSMGE, 2009)

K této klasifikaci lze sice mít drobné připomínky, například uvedení metod zmrazování jen do třídy soudržných zemin (B6), ale v jádru je třeba ji uvítat a v zájmu konsenzu profese co nejvíce užívat. Konkrétní podrobnosti volného proudu života nelze ostatně nikdy dokonale utřídít do rubrik klasifikací.

Pro naši potřebu historického přehledu jsme doplnili uvedenou klasifikaci užším přístupem k principům užitých technických prostředků ve smyslu zde používané metodiky (obr. VI. 2), která je v některých ohledech poněkud odlišná (viz kapitola II.).



Obr. VI. 2: Utrídění technologických systémů ZLEPŠOVÁNÍ ZÁKLADOVÉ PŮDY podle používané metodiky (kapitola II.)

Z hlediska vývoje technologií dáváme přednost chronologickému postupu po časové ose a nedržíme se posloupnosti uvedených tabulek. Takže jsme subjektivně zvolili pořadí pojednávaných bloků disciplín podle našeho hodnocení významu jejich hlavních metod v běhu dějin. Nevyhneme se přitom častým křížovým odkazům na propojení s jinými technologickými systémy. Vynecháme také některé v klasifikacích uvedené, ale méně užívané nebo spíše jen povšechné metody, například zlepšování elektrickým výbojem, osmózou, ohřevem, mikrobiální, vegetační atd.

V závěru kapitoly naopak přidáváme samostatnou část D, týkající se nejmladší specifické disciplíny **dekontaminace** základové půdy.

Prvopočátky zlepšování základových půd

V dávných začátcích stavební činnosti v neolitu jsou dokládány první známky zlepšování zemin, a to při životně nezbytných stavbách zavlažovacích kanálů, hrází a opevnění břehů řek. Ve zvodnělých siltovitých zeminách úrodných říčních delt Mezopotámie, Egypta nebo Indie byly pro jejich vyztužení a zpevnění využívány rákosové rohože uložené ve vrstvách. Nebo z nich byly upleteny vaky a naplněny zeminou pro vytvoření ochranné bariéry proti erozi. Podobně se tehdy používaly v Asýrii pro kamenné konstrukce opevnění a utěsnění břehů vodních toků vložené vrstvy přírodně těžného bitumenu. Toto zlepšení měnilo geotechnické vlastnosti konstrukce skokově, v její omezené části. Časem se rákosové vrstvy uplatnily i do filtračních vrstev k urychlení konsolidace celé větší masy sypaného zemního materiálu a docházelo tím k rozptýlenému zlepšení zemin ve větším rozsahu (obr. VI. 3).

Kombinací stejných obecných principů byly řízeny také mnohem mladší způsoby zlepšování vlastností i chování zemin a hornin. Větší rozvoj těchto technologií započal však většinou až v novověku, když bylo možno využít rozvoje efektivních technických prostředků.



Obr. VI. 3: Rákosové rohože nalezené poblíž starověké stavby zigguratu Agarguf v Iráku z období kolem roku 1400 př. n. l., kde se vkládaly do pískových mezivrstev a plnily funkci vyztužení i odvodnění.

Č Á S T A

ZLEPŠOVÁNÍ S PŘÍMĚSMI

INJEKTOVÁNÍ

Všeobecně

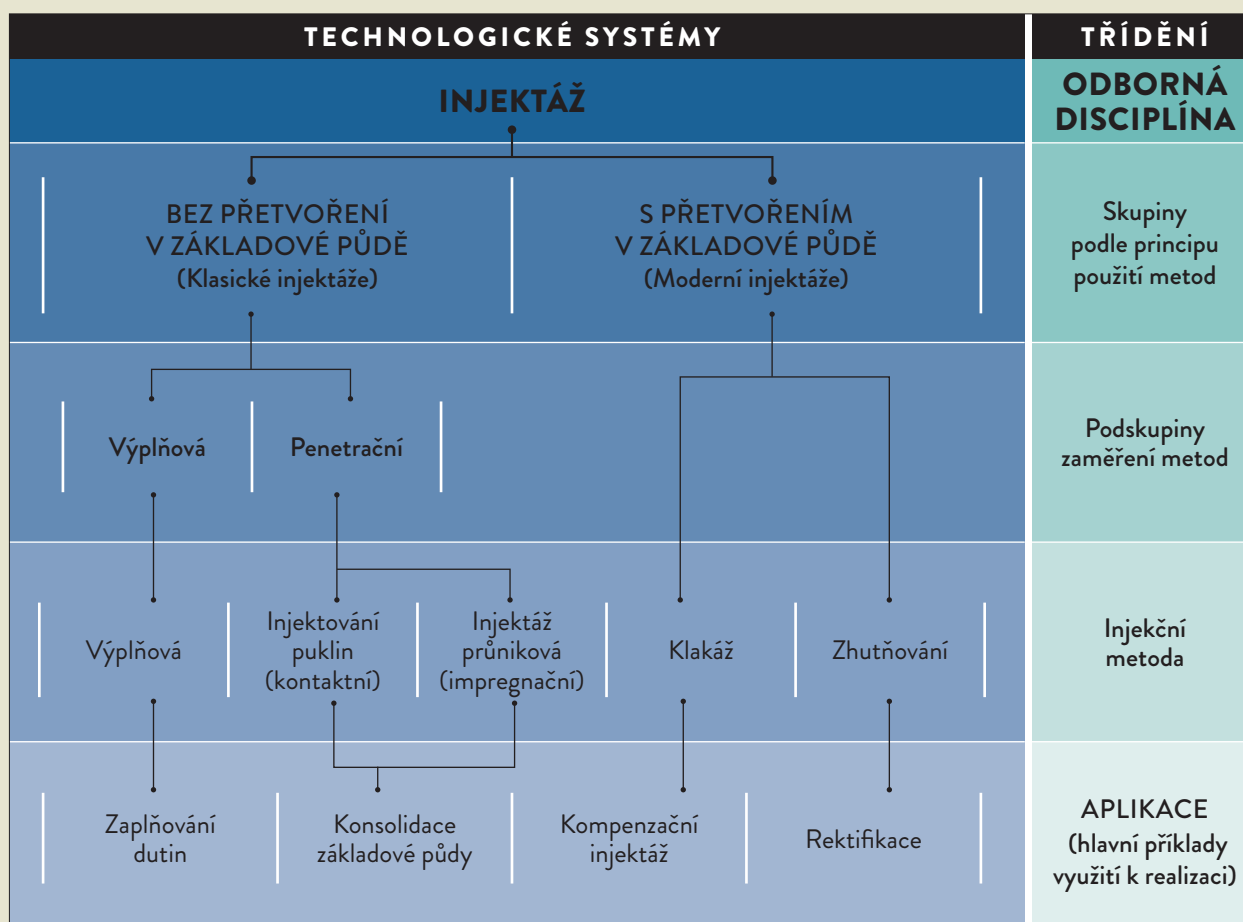
Tento způsob zlepšování geotechnických vlastností základové půdy je nejrozsáhlejší a nejvýznamnější. Jeho princip spočívá ve **vtlačování média příměsí** do stávajícího prostředí s cílem dosáhnout tlakovým vpravením stmelující a zpevňující cizí látky do puklin či pórů vnitřní kontaktní proměny, při níž vzniká nový kompozitní materiál. Uplatňuje se též tlakový účín injekčního média na přetvoření, konsolidaci nebo znepropustnění materiálu prostředí v okolí kontaktu s injektáží.

Historický vývoj technologií injektáže probíhal komplikovanými cestami přes vynálezy různých postupů a zařízení či injekčních směsí. Byl založen především na pokroku v prostředcích malopřůměrového vrtání, čerpací techniky a ve vývoji stavebních hmot. Náš přehled se přirozeně nezaměřuje na úplný soupis nesmírně obsáhlých technických podrobností těchto technologií. Je především zapotřebí rozlišit různost účelů injektáží, aby došlo k objasnění souvislosti vývoje i k zachycení jeho uzlových technologických bodů. Přidržíme se odborného názvosloví zavedeného v evropských prováděcích normách pro geotechnické konstrukce po roce 2000, zejména v ČSN EN 12715:2001– Provádění speciálních geotechnických prací – Injektáže. Ta zavedla pro třídění metod injektáže jako základní princip to, zda dochází nebo nedochází k **přetvoření** v základové půdě. K našemu výkladu je toto třídění přehledněji upraveno v tabulce na obr. VI. 4.

Uvedená klasifikace metod vede k lepšímu osvětlení historických cest vývoje jednotlivých technologií. A také navozuje spojení k jejich specifickým podpůrným aplikacím v odvozených samostatných metodách speciálního zakládání.

Účely injektáží

Zpočátku měly injektáže většinou za účel všeobecné zlepšení základové půdy snížením její propustnosti a jejím zpevněním či konsolidací. Technologické postupy byly založeny na konvenčním principu tlakového ukládání injekčního média do základového prostředí nainstalovanou trubkou. V průběhu času se z nich ovšem vyvinuly specifické aplikace, zaměřené na účely výrazně odlišné. Došlo pak i k různému ovlivňování jinými metodami nebo k jejich křížení. Zrekapitulujme proto krátce původní klasické metody a naznačme časové rozvinutí dalších aplikačních cest podle moderního názvosloví.



Obr. VI. 4: Utřídění technologických systémů v odborné disciplíně INJEKTÁŽÍ, upravené podle ČSN EN 12715:2001

Ke klasickým metodám se podle principu **nezpůsobujícího přetvoření** řadí následující typy injektáží:

- Jsou to především **penetrační** postupy. Jde o **injektáž puklinovou**, nahrazující vodu nebo plyn ve spárách hornin, anebo o **injektáž průnikovou** v pórech zemin. Většinou se jedná o historicky prvotní účely těsnění a zpevnění, obvykle s použitím menších injekčních tlaků, aby se zabránilo nadzvedání terénu. **Injektáž kontaktní** se provádí ve spárách stavební konstrukce nebo mezi ní a základovým prostředím.

Je třeba upozornit, že klasické postupy se dříve snažily předcházet vyšším tlakům injektáže způsobujícím hydraulické trhání horniny tzv. **klakáží**. Zhruba od devadesátých let minulého století však bylo s rostoucími poznatky a ve specifických podmínkách, s patřičnou vyšší kontrolou průběhu prací, využíváno k lepšímu pronikání média do prostředí i tohoto jevu. Velmi specifickým příkladem přenosu těchto zkušeností do zcela jiného oboru je využití **intrúzní klakáže** s pískovou směsí při těžbě zemního plynu z břidlic tzv. „frakováním“.

- **Injektáže výplňové** patří také do skupiny tohoto principu, ale jsou jejich specifickou větví. Jsou zaměřeny na zaplnění dutin větších rozměrů zrnitější injekční směsí a věnujeme se jim rovněž samostatně.

Modernější aplikace tvoří druhou hlavní skupinu metod, a to podle principu **způsobujícího přetvoření** v prostředí základové půdy. Docílují se u nich záměrného přetvoření, stlačení nebo posunu horninového prostředí.

- Různými experimenty, uskutečněnými v rozmezí padesátých až osmdesátých let, bylo řízenými klakážemi nebo **zhutňovací injektáží** prokázáno, že lze vyvolat značnou deformaci základové půdy. Z toho byla nejprve odvozena

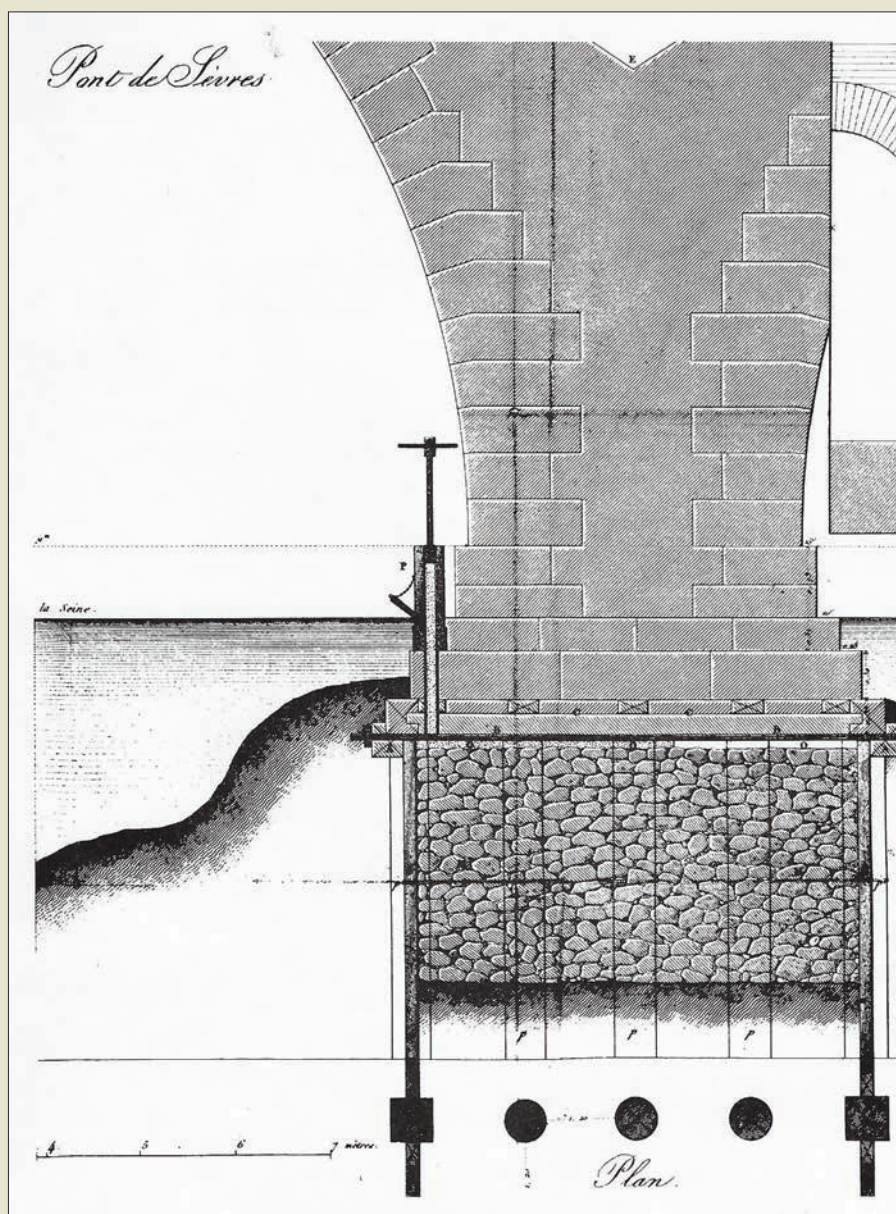
rektifikační injektáž, kterou lze provádět dodatečnou korekci nadměrného sedání staveb kontrolovaným zvedáním jejich podzákladí. Později, při dostupném komplexnějším monitoringu v devadesátých letech, došlo také na **kompensační injektáž**, při níž jsou plynule vyrovnávány deformace zapříčiněné budováním stavby.

Velmi specifickou skupinou jsou aplikace založené na průniku injektáže s několika dalšími technologiemi zlepšování základových půd:

- Jedná se především o metody **tryskové injektáže** a **soil-mixingu**, které pracují s principy a postupy zásadně se odlišujícími od konvenčních systémů technologie injektáže. Byly zaváděny až s příchodem nových technických prostředků od osmdesátých let. Kombinují injektáž a vmíchávání směsi do základové půdy s jejím současným nahrazováním (viz str. 199–219).

Zvláštní skupinu tvoří samostatné metody speciálního zakládání odvozené z používání klasických injektáží:

- Principem těchto aplikací je **podpurná injektáž** pro zřizování štíhlých základových prvků, jako jsou **mikropiloty**, **kotvy** a **hřebíky**. Technologie injektáže v nich hraje důležitou roli. Byly nově zaváděny zhruba od padesátých let. Tyto metody jsou podle klasifikace ISSMGE zahrnuty do kategorie vyztužení zemního prostředí (viz část B této kapitoly, str. 230–241).



Obr. VI. 5: Návrh Charlese Bérignyho pro injektáž základu pilíře mostu přes Sein v Sèvres u Paříže roku 1804

Klasická cementová injektáž

V zařídění ISSMGE patří injektáže cementem do skupiny metod **injektování partikulárními směsmi**. Používaly se především **ve skalních horninách** a často se zahrnují do skupiny klasických injektáží. Jsou historicky mimořádně důležité jakožto první a na dlouhou dobu hlavní metody injektáže, které prošly během svého vývoje různými zvraty a zůstávají velmi významné dodnes.

V historii patrně proběhly mnohé dřívější pokusy o injektáž, ale neměly k dispozici potřebné technické prostředky s vhodným injekčním materiálem ani nebyly dost vynalézavé. Až Francouz **Charles Bérigny** v prvním dokumentovaném případě z roku 1802 použil pro opravu jezu v Dieppe i dalších vodních staveb na Seině postup injektáže **jílovou suspenzí a vápennou maltou** (obr. VI. 5). V jeho originální nárazové pumpě se vyvozoval potřebný vyšší tlak úderem palice na dřevěný píst.

Francouzští stavební inženýři byli již v předchozím století na čele rozvoje inženýrských staveb a zaváděli odvážné konstrukce. Není tudíž divu, že v zápolení s nevyzpytatelností přírody docházelo někdy k omylům a chybám, zejména v citlivé oblasti interakce základů s prostředím. Častým problémem bylo například podemílání návodních pilířů mostů nebo jiných poříčních konstrukcí. Důvodem bylo podcenění tohoto jevu, který byl do té doby málo prozkoumán. Proto se usilovně hledal způsob dodatečného opravného zásahu, jaký nakonec vynalezl Ch. Bérigny.

Obdobné injektáže se pak používaly u inženýrských staveb především pro jejich opravy po několika dalších desetiletích, ale nedošlo k jejich uplatnění do samého počátku projektu. Bývá to zdůvodňováno mimo jiné tím, že od roku 1850 už byla k dispozici výkonná strojní čerpadla, která značně usnadňovala tradiční postupy zakládání pod vodou. Dalším důvodem byl všeobecný společenský a hospodářský útlum kontinentální Evropy po francouzské revoluci a následných napoleonských válkách. V důsledku toho se přesunulo těžiště technického rozvoje na britské ostrovy, kde byly v té době ideální podmínky pro průmyslovou revoluci.



Obr. VI. 6: Těžba šachty dolu Guilford roku 1920 v jižní Anglii, kde byla prováděna pro zajištění prací injektáž.



Obr. VI. 7: Cementová injektáž skalního podzákladí a zálivka kotevních kolejnic pro dno stavby skříně suchého doku v terminálu Balboa stavby Panamského průplavu v roce 1915

V Anglii experimentoval od roku 1856 inženýr **W. R. Kinipple** s injektováním **cementovou suspenzí** nejprve zdiva a pak i šterku. Vytvořil tak úspěšnou aplikaci zhotovování betonu in-situ. V roce 1887 například tímto způsobem úspěšně zainjektoval mezerovitý zásyp kameniva pro hráz přístavu v Jersey. Je sice považován za zakladatele cementové injektáže, metodu se mu však do dalších oborů stavebnictví nepodařilo prosadit. V Británii se později označovala tato technologie **Colcrete**, u nás se používal mladší kanadský název **Prepact** (viz str. 116).

Takže první skutečnou cementovou injektáž z vrtů pro utěsnění trhlin v horninovém podzákladí provedl roku 1876 inženýr Thomas Hawksley na stavbě zemní přehradu Tunstall v Anglii. Jednalo se o počátek velkých anglických vodohospodářských projektů. Po jejím částečném napuštění se projevil nadměrné průsaky, byly ale vyřešeny právě dodatečnou injektáží. Od té doby se začala cementová injektáž více využívat na různých druzích inženýrských staveb. Jiný anglický inženýr a slavný stavitel londýnské podzemní dráhy J. H. Greathead přispěl v roce 1869 vynálezem ručního kónického **injektážního kotlíku**, který se ovšem po nějakou dobu používal jen pro výplň vápennou maltou za tybinky ostění tunelů. Tehdy se pro tuto specifickou injektáž ujal termín **grouting**, který původně užívali zedníci pro maltovou **zálivku** zdiva. Dnes se jím v anglické terminologii označují veškeré injektáže ve stavebnictví. V roce 1886 Greathead zavedl **kotlík pneumatický**, který se stal na další desetiletí všeobecně užívaným tlakovým injektážním zařízením.

Injektáže se ujaly koncem 19. století v Evropě hlavně v tehdy důležitém důlním průmyslu. Relativně stísněné a složité podmínky přístupu k surovinám vyžadovaly obvykle při zřízení hlubinných těžních šachet utěsnění přítoků vody z nadloží. Největší poptávka po těchto pracích byla v uhelných regionech zemí Beneluxu a přilehlého území až do Pruska a pak v Británii. Ty se staly jakousi laboratoří nové technologie injektáží, která někde úspěšně konkurovala příliš nákladné a náročné německé metodě zmrazování (viz část C této kapitoly, str. 261). Zde se opět po letech vynořují jména význačných

francouzských inženýrů, kteří znova výrazně přispěli k jejím inovacím. Roku 1882 použil Élie Reumaux cementovou injektáž pro zajištění šachty dolu v Lens v departmentu Calais. V témže regionu rozpracovali na přelomu století inženýři Portier a Saclier první teoretické zásady technologických postupů hlubinné injektáže cementem. Na počátku se pro ně užíval název **cementace** podle poměrně jednoduchého způsobu vyplňování průzkumných vrtů cementovou směsí tlakem do 20 bar, když se při vrtání vyskytla ztráta výplachu. Z tohoto inovačního kadlubu vyšel též belgický důlní inženýr **Albert Francois**, který se představil na inženýrské konferenci v Liège v roce 1902 s názorem, že je třeba používat větší množství malopřůměrových vrtů a vyšší tlaky. Roku 1910 získal významný kontrakt na hloubení šachty v Anglii, kde následně zakotvil a založil historicky slavnou firmu **Cementation**. V tamních podmínkách se jeho tvůrčí talent naplno rozvinul. Vyvinul řadu vrtacích a injektážních zařízení, speciálních směsí a jako první pracoval s vysokými injekčními tlaky (obr. VI. 6).

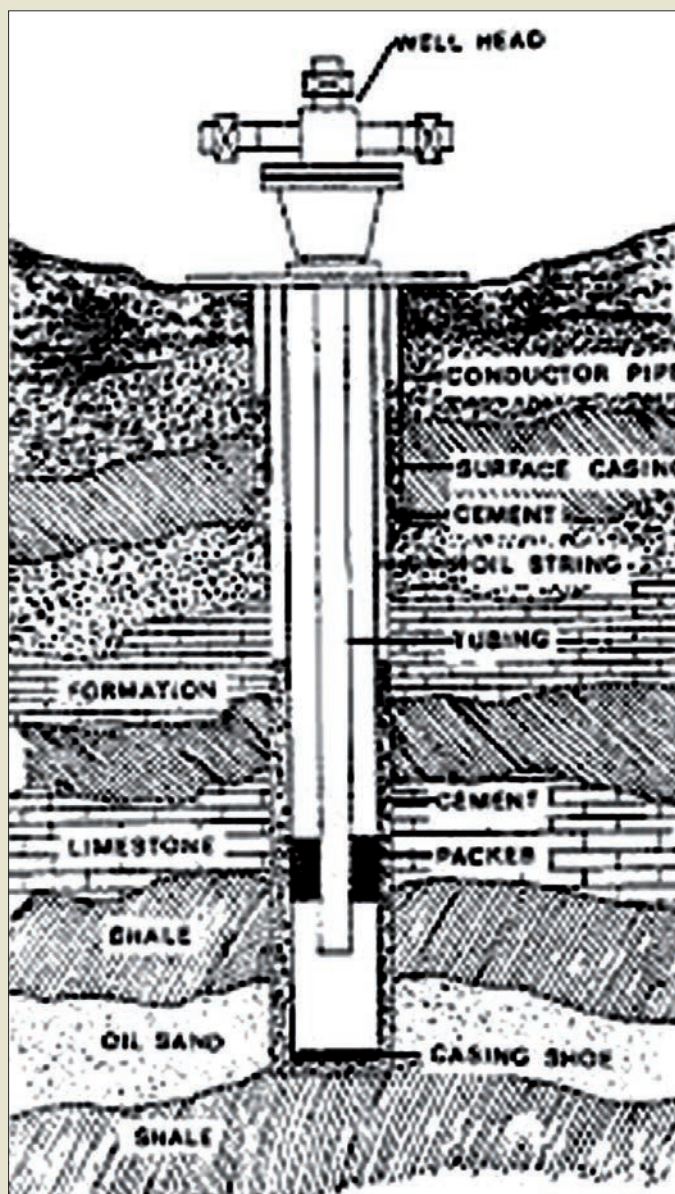
Ve Spojených státech se vývoj ubíral zcela odlišným směrem. Důlní průmysl zde příliš nevyžadoval potřebu hlubinných šachet, jelikož většina surovin byla snadněji dostupná povrchově. Zprávy o úspěších nové injektážní technologie ale motivovaly k jejímu dalšímu využití pro jiný významný obor – pro přehradářství. Poprvé tam použil cementovou injektáž W. E. Worthen pro opravu přepadu zděné hráze roku 1845. V roce 1893 bylo realizováno světově první systematické a velkoplošné utěsnění i zpevnění horniny injektáží pro založení 89 m vysoké zděné přehrady New Croton ve státě New York. Provádělo se pak běžně například i při stavbě Panamského průplavu (obr. VI. 7).

Dalšího pokroku bylo dosaženo, když roku 1911 zřídil původem norský inženýr Nils F. Ambursen první skutečnou **injekční clonu** z dvou řad 17 m hlubokých vrtů ve vulkanické brekcii pro hydroelektrickou přehradu Mill Run na řece Clackamas v Oregonu. Součástí prací byly již i vodní tlakové zkoušky provedené v prostřední, třetí řadě vrtů. Pro Ambursenovu firmu to byla jedna z více než sta přehrad, na kterých se v USA v letech 1907 až 1917 podílela. V těch dobách ještě byly přehrady navrhovány převážně na místech vhodných pro zakládání. Situace se však již začala měnit, ovšem obecná úroveň znalostí přísnějších nároků na bezpečnost byla ještě nedostatečná. Došlo dokonce i ke katastrofickým haváriím v důsledku nevhodně založeného díla, například u přehrady St. Francis v Kalifornii, postavené v letech 1924 až 1926 (obr. VI. 8). Z těchto poruch (viz též obr. VI. 21) si vzal ponaučení i zbytek světa.



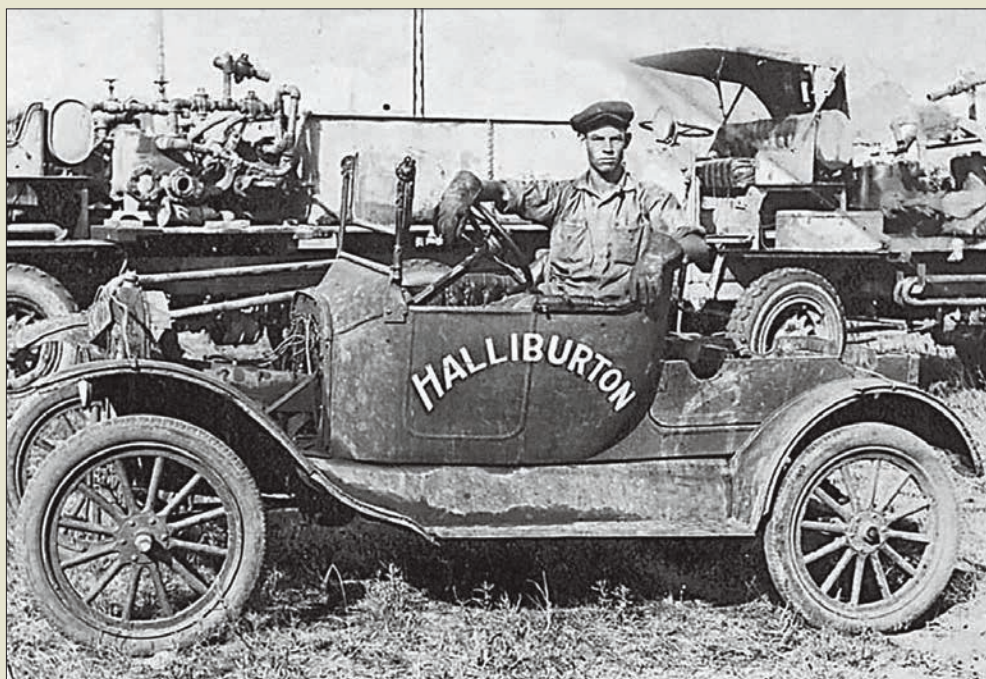
Obr. VI. 8: Trosky 62 m vysoké přehrady St. Francis v Kalifornii roku 1928, den po katastrofální poruše, která si vyžádala životy 425 lidí.

Obr. VI. 9: Schéma typického použití jednoduchého mechanického pakru pro cementaci naftového vrtu k oddělení formace se zdrojem ropy k čerpání



Bylo nutno hledat způsoby, jak prozkoumat a zlepšit podmínky i na méně přirozeně vhodných místech. K tomu přispěly jak příznivé dějinné okolnosti, především relativně malé postižení USA válečnými událostmi, tak velký pokrok v malopřůměrovém jádrovém vrtání (viz kapitola IV.) a s tím související další technické úspěchy.

Z nich je potřeba zdůraznit význam klíčového technického prostředku, jímž je uzávěr mezikruží vrtu a injekční trubky, kterým se ve vrtu upevní vyústění injekční trubky v požadované hloubkové úrovni. Odborně se nazývá **pakr** (z anglického packer) nebo také **obturátor** (z francouzského obturateur). V historických počátcích se injekční směs libovolně šířila do základové půdy z ústí volně zaražené či zavrtané trubky, anebo z nátrubku utěsněného v ústí vrtu ve skalní hornině. Používání pakru výrazně zkvalitnilo injektáže v horninovém prostředí. Bylo jím možno v pevných stěnách vrtu uzavřít prostor vrtu v hloubce nad vyústěním injekční trubky. Do praxe byl zaveden v počátcích naftového vrtání v USA při cementaci paty úvodní pažnice pro oddělení vlivu nadloží. Nejprve se od sedmdesátých let 18. století pro tuto obtížnou operaci používaly ucpávky z pytlíků s lněnými semínky, zapuštěné do mezikruží k těžební trubce, které ve vrtu vlhkostí nabobtnaly. Pak se zkoušely různé kombinace těles z přírodního kaučuku a textilií, roztlačené vnitřní trubkou. A v roce 1880 vynalezl v Pensylvánii S. R. Dresser účinný válcový rozpínací pakr z tehdy nového vulkanizovaného kaučuku. Tento první typ mechanicky upínaného pakru se pro jednodušší injektážní práce osvědčuje dodnes (obr. VI. 9). Z něho se postupně vyvinuly složitější typy – zejména dvojité, pneumaticky nebo hydraulicky rozpínané atp. Vývoj v této oblasti ovšem úzce souvisel s důležitým vývojem syntetických pryží od čtvrtiny 20. století.



Obr. VI. 10:
Dobová ukázka
pojízdné
cementační
stanice firmy
Halliburton
v USA
ve dvacátých
letech minulého
století

Cementace byla vždy nejnáročnější operací při zprovoznování naftového vrtu, vyhrazenou pro specialisty. Rozhodovala o efektivitě výnosu ropy vrtu, neovlivněného výrony vody nebo nestabilitou pažnicové kolony. Na počátku dvacátých let vstoupila do naftového vrtání právě na tomto nejobtížnějším úseku firma **Halliburton** a úspěchy ji postupně vynesly na přední místo v oboru (obr. VI. 10). Řešení těchto problémů bylo často velmi složité a historicky přineslo mnoho zásadních podnětů i přímo do technologie injektáží.

Injektážím se v USA dostalo v onom období i potřebné systematické teoretické podpory. Začala se zde totiž od roku 1924 plně konstituovat moderní geotechnická věda kolem rakouského profesora Terzaghiho za jeho pobytu na massachusettské univerzitě MIT (viz str. 74 a 290). Do roku 1930 byla ve Spojených státech provedena injektáž na 19 velkých přehradách, a to za podrobného sledování a následného



Obr. VI. 11: Injektáž bočního skalního svahu pro Hooverovu přehradu na řece Colorado v USA roku 1933. Cementová směs se injektovala do vrtů hlubokých 17 m.



Obr. VI. 12: Opravná
injektáž ze štoly
Hooverovy přehrady
v letech 1938 až 1947



Obr. VI. 13: Zajištění
skalního svahu
pod zámek Český
Krumlov cementovou
injektáží a kotvenými
železobetonovými žebry
(Zakládání staveb, a. s.)

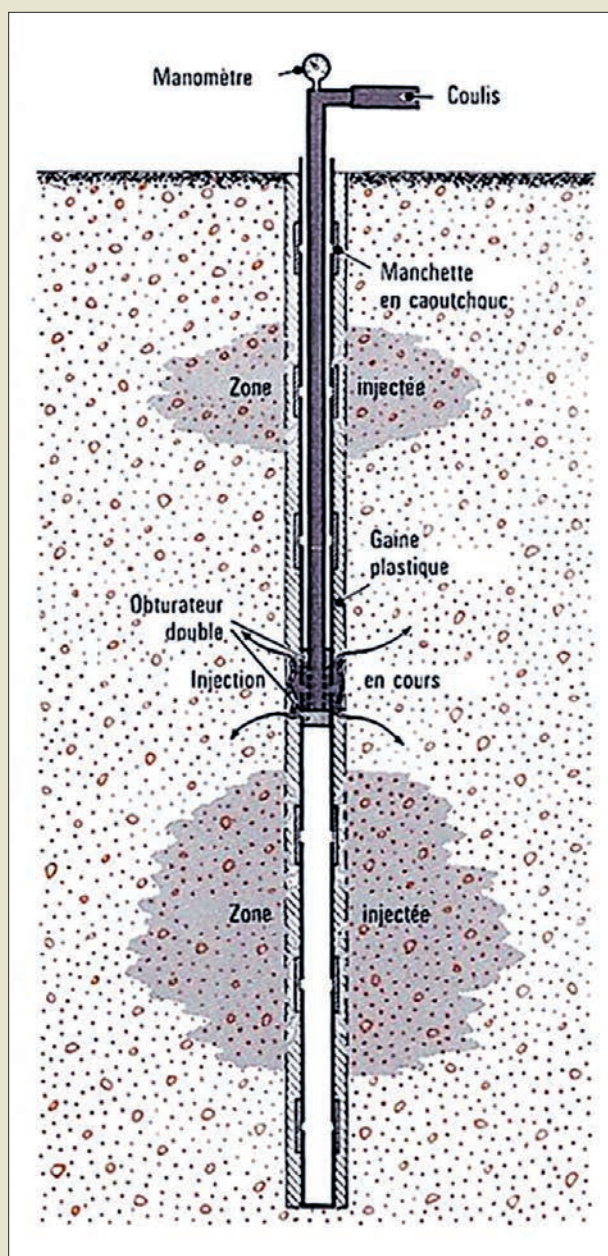
vyhodnocení výsledků. Na podkladě těchto závěrů bylo do praxe zavedeno **komplexní navrhování injektáží**. Stalo se tak u příležitosti světově mimořádného vládního projektu, 220 m vysoké stavby betonové hydroenergetické Hooverovy přehrady na řece Colorado, zahájené v roce 1932 (obr. VI. 11).

Injekční clona se zde ovšem ukázala i přes veškerou pečlivost jako nedostatečná a musela být v letech 1938 až 1947 dodatečně podstatně rozšířena, nyní ovšem za provozu díla z jeho stísněných štol (obr. VI. 12).

Vývoj v Evropě na počátku 20. století po dobu 1. světové války poněkud zaostal. Ale již ve dvacátých letech se začala projevat nová tvůrčí aktivita hlavně při budování přehrad, a to zejména francouzských, italských a švýcarských inženýrů. Specifickým soustředěním na technologické aspekty postupů tito odborníci výrazně přispěli k rozvoji různých metod injektáží. Jedním z nejdůležitějších počinů bylo již dříve zavedené podrobné sledování a řízení postupů podle změny injekčních tlaků, monitorované na **samozápisných manometrech** i podle záznamů **spotřeby směsi**. V roce 1933 švýcarský geolog **Maurice Lugeon** významně přispěl ke stanovení způsobu provádění **vodních tlakových zkoušek** pro injekční práce. Svou metodou zdůvodnil injektáž v propustných vápencích pro stavbu 104 m vysoké přehrady Genissiat na Rhôně ve Francii. Mnozí ji zpochybňovali především pro obtížné základové podmínky.

Koncem třicátých let zde bylo podrobně vyzkoušeno i používání prostupnější **jílové směsi**. Tu poprvé použili k injektáži ve velkém měřítku v roce 1935 Američané při rozšiřování komplexu Panamského průplavu pro utěsnění vápenců pod Maddenovou přehradou. Francouzské experimentování s **aktivací a stabilizací směsí** se ukázalo jako obzvláště důležité a zhruba od roku 1960 vedlo k celosvětovému užívání stabilních injekčních směsí.

Metoda cementových injektáží zásadně ovlivnila prudký nárůst výstavby přehrad od třicátých let na celém světě (viz též kapitola IV., str. 45). Vyžadovaly se hlubší vrty, vyšší tlaky i speciální směsi a technologické postupy. V tuzemsku byla první injekční clona provedena v letech 1912 až 1914 na stavbě 53 m vysoké betonové přehrady Janov u Liberce. Německá firma Döll tam zúročila své předchozí zkušenosti z podobných prací a zastavila



Obr. VI. 14: Schematické znázornění funkce manžetové trubky při injektáži – z původního informačního prospektu firmy Soletanche na konci šedesátých let



*Obr. VI. 15:
Kolmý odřez
proinjektované
základové půdy
s osazenou
manžetovou trubkou
se zřetelným
paprskovitým
protrháním
plastické zálivky
tlakem prostupující
jílocementové
injekční směsí,
demonstrováný
roku 1970 firmou
Soletanche*

průsaky, které se objevily po částečném napuštění nádrže. Významná byla v roce 1922 také injekční clona v podložních rulách pro 22,7 m vysokou zděnou přehradu Sedlice na Želivce. K většímu rozmachu injektáží pro přehradu, ale i jiná díla však u nás došlo až v padesátých letech. Jedním z významných sektorů další aplikace cementových injektáží se stala sanace skalního podzákladí důležitých, zejména historických staveb. Příkladem takové rozsáhlé akce bylo zajištění skalního svahu pod zámek Český Krumlov, prováděné závodem SZS, Vodní stavby, v roce 1988 (obr. VI. 13).

Injektáže nesoudržných zemin

Nástup této relativně mladší, ale nyní již také klasické technologie byl zpomalen zcela zásadními prvotními obtížemi s instalací injekční trubky do hlubokého nestabilního vrtu. Původní jednoduché pakry nefungovaly ve stěnách vrtů v nesoudržných zeminách. Dalším problémem byla velká proměnlivost vrstev. Navíc nebylo možné dosáhnout kvalitní injektáže jen z ústí zaražené či zavrtané trubky, protože injekční tlak vyhnal směs nejsnadnější cestou těsně podél trubky nahoru. I za relativně příznivých podmínek stability vrtu bylo klasické injektování v tomto prostředí náchylné k poruchám, obtížím či bylo značně zdlouhavé.

Tento fundamentální problém vyřešil až vynález **manžetové trubky**, předem osazené do plastické jílocementové zálivky na celou délku vrtu. Nebylo to tak jednoduché, jak podobné revoluční objevy často při pohledu zpět do minulosti vypadají. Částečnou inspirací mohly být patenty amerických bratří Johnstonů z ropného pole El Dorado v Arkansasu v polovině dvacátých let. Zaváděly tlakové zkoušení produkční vydatnosti geologické formace oddělené od okolí pakry na vrtném soutyčí (tzv. Drilling Stem Testing). Francouzský inženýr **Ernest Ischy**, spoluzakladatel firmy Soletanche, přišel s převratně originálním a principiálním řešením již roku 1927, které ale patentoval až po praktickém odzkoušení na stavbách roku 1943 (obr. VI. 14). K úspěchu zkoušek velmi přispěl materiál manžet z nové umělé pryže.



Obr. VI. 16:
Přehrada Serre-
-Ponçon ve Francii,
nejvýznamnější stavba
v nástupu injektáží
jemnozrnných zemin
manžetovými trubkami,
dokončená roku 1961

Druhým hlavním problémem na počátku vývoje těchto injektáží byla malá prostupnost klasických cementových směsí v prostředí zemin s malými póry. Již v počátcích injektáží se zjistilo, že cementová směs nesnadno proniká do těsných skalních puklin, ale především také do jemnozrnných zemin, zejména poříčních náplavů, jejichž utěsnění bylo pro vodní stavby stěžejní. V roce 1905 prokázal Francouz Portier svými pokusy v píscích, že zásadní problém spočívá v odfiltrování vody z cementové směsi. O tři roky později to ověřil Angličan H. P. Hill i s velmi naředěnou směsí. Ještě na konci 19. století se nakrátko zdálo, že řešení přinesou speciální chemické směsi, avšak v tomto ohledu došlo ke značným komplikacím (viz též str. 185–186). Na počátku 20. století se tedy stále hledaly vhodné injekční látky slučující výhody směsí na bázi **aktivovaných bentonitických jíílů** a zkušenosti s různými **chemickými přísadami**. Potřebných výsledků však nebylo v nesoudržné základové půdě možno dosáhnout dosavadními konvenčními postupy injektáže.

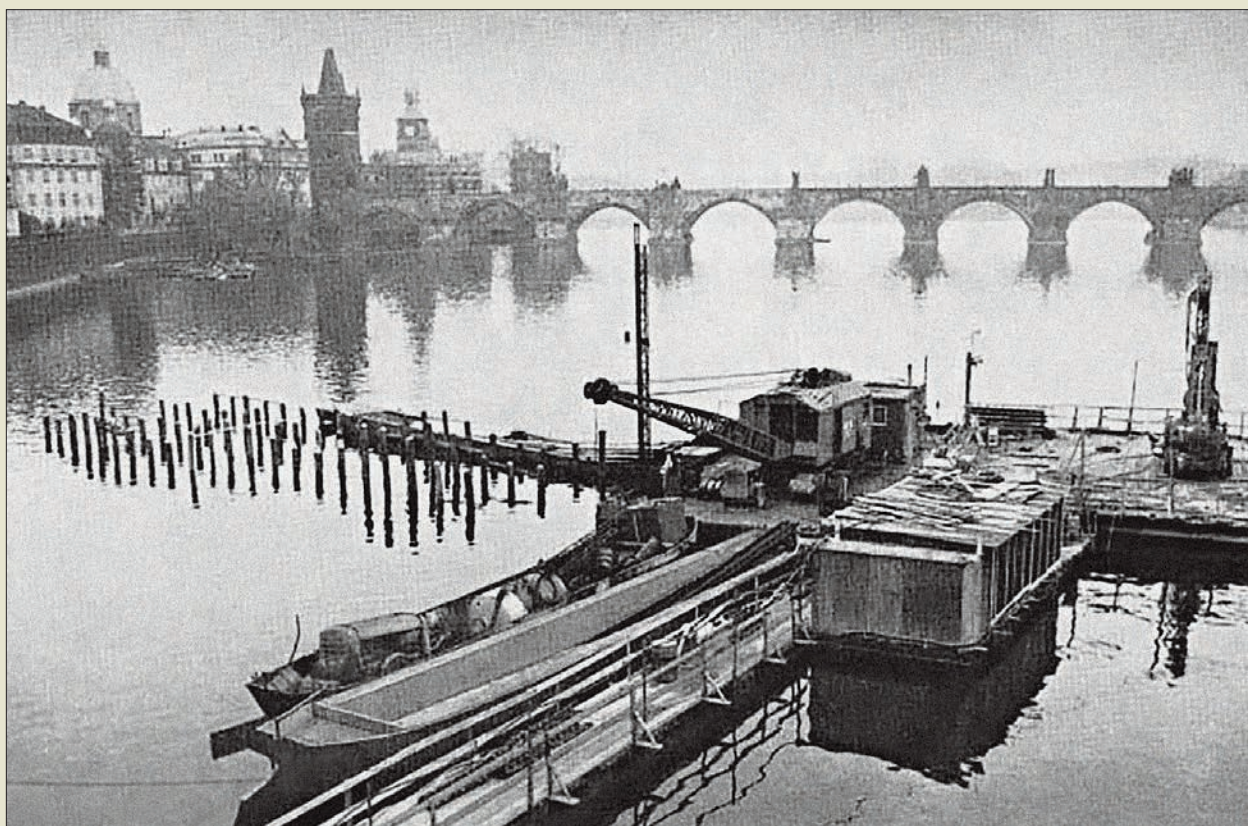
Zavedení manžetových trubek oba problémy rázem vyřešilo. Umožnilo přesné dávkování různých jednosložkových směsí ve zvolených časech a zvolenými tlaky do určených výškových etáží vrtu i opakovaně. Nyní bylo také možné provádět vícefázovou injektáž, tj. nejprve injektovat oblasti s hrubými póry jílocementovou směsí a následně zbylé jemné póry prostupnější chemickou směsí (obr. VI. 15).

Tím byla také alternativně vyřešena zásadní geotechnická námitka k dobově rozšířené chemické injektáží velmi náročnou Joostenovou metodou (viz str. 185). Tě se vytýkalo, že vlastně ignoruje měnící se geotechnické vlastnosti a je spíše řemeslným uměním než vědecky založenou technologií. Proti tomu bylo naopak řízení injektáže přes manžety, spolu se sledováním a interpretací odezvy prostředí, dokonalé. Přesně to odpovídalo přístupům rozvíjené komplexní geotechnické teorie, jak ji rozpracovávala nová generace specializovaných inženýrů geotechniků. Dospělo se k příkladnému setkání vědecké teorie s technologickou praxí.

Nové technologie injektování se chopily nejprve evropské firmy speciálního zakládání Rodio a Soletanche. První pokusné použití se realizovalo již v roce 1933, pro tu dobu charakteristicky v Alžírsku, neboť v předválečné Evropě už tehdy nebyly podmínky pro velké stavby. V nadcházejícím desetiletí proto přenesly mnohé firmy těžiště svých aktivit mimo Evropu, čímž se též omezilo sdílení technických informací. V Alžírsku se jednalo o injekční clonu 55 m vysoké a 460 m dlouhé zemní přehradu Bou Hanifia ve velmi složitém slínovcovém souvrství. Obě firmy zde spolupracovaly v konsorciu i s profesorem Terzaghim a založily tu také první evropskou geotechnickou laboratoř. Firma Rodio



Obr. VI. 17: Příklad velmi účinného hustého rozmístění injekčních vrtů pro vějíře při injektáži z podzemí firmou Soletanche na stavbě linky U3 vídeňského metra roku 1986



Obr. VI. 18: Injektáž nadloží tunelů metra v řečišti Vltavy na trase A roku 1975 (Zakládání staveb, a. s.)



Obr. VI. 19: Zvodnělé a kypře temžské štěrkopísky byly spolehlivě zainjektovány metodou Joosten i ve stropě při ražbě tunelu londýnského metra u stanice Bank Monument roku 1933.

pro stavbu rovněž vytvořila novou chemickou směs s gelem vodního skla. Ukázková spolupráce umožnila úspěšně optimalizovat a dokončit několikaleté obtížné práce na těsnící cloně. Stavba se tak stala inkubátorem technologických inovací, které v poválečném období slavily řadu úspěchů.

Předznamenala je v roce 1952 clona pro stavbu 124,5 m vysoké, tehdy nejvyšší v Evropě, zemní přehradu Serre-Ponçon na řece Durance v jižní Francii (obr. VI. 16). V převažujících štěrčích zde injekční clona dosahovala rekordní hloubky 100 m a sestávala z 19 hloubkově odstupňovaných řad.

Následovala série rýnských projektů firmy Soletanche pro několik velkých hydroelektráren. První z nich byla přehrada Fessenheim, zahájena roku 1953, kde byly vytvořeny proinjektované základové vany i s vodorovnou injekční clonou v příliš hlubokých písčitých náplavech. Od poloviny padesátých let sehrál svými odbornými publikacemi o podrobném navrhování injektáží mimořádně významnou úlohu Francouz **Henri Cambefort**. Od šedesátých let se pak injektáže široce uplatňovaly u tisíců nejnáročnějších inženýrských a dopravních staveb po celém světě, například u podzemních drah v městské zástavbě (obr. VI. 17).

V tuzemsku poprvé použil injektáž manžetovými trubkami podnik Vodní stavby na zkouškách pro výstavbu pražského metra u Karlova mostu a u Národního muzea roku 1969. Následně i na mnoha dalších objektech stavby metra i na nespočetném množství jiných projektů (obr. VI. 18).

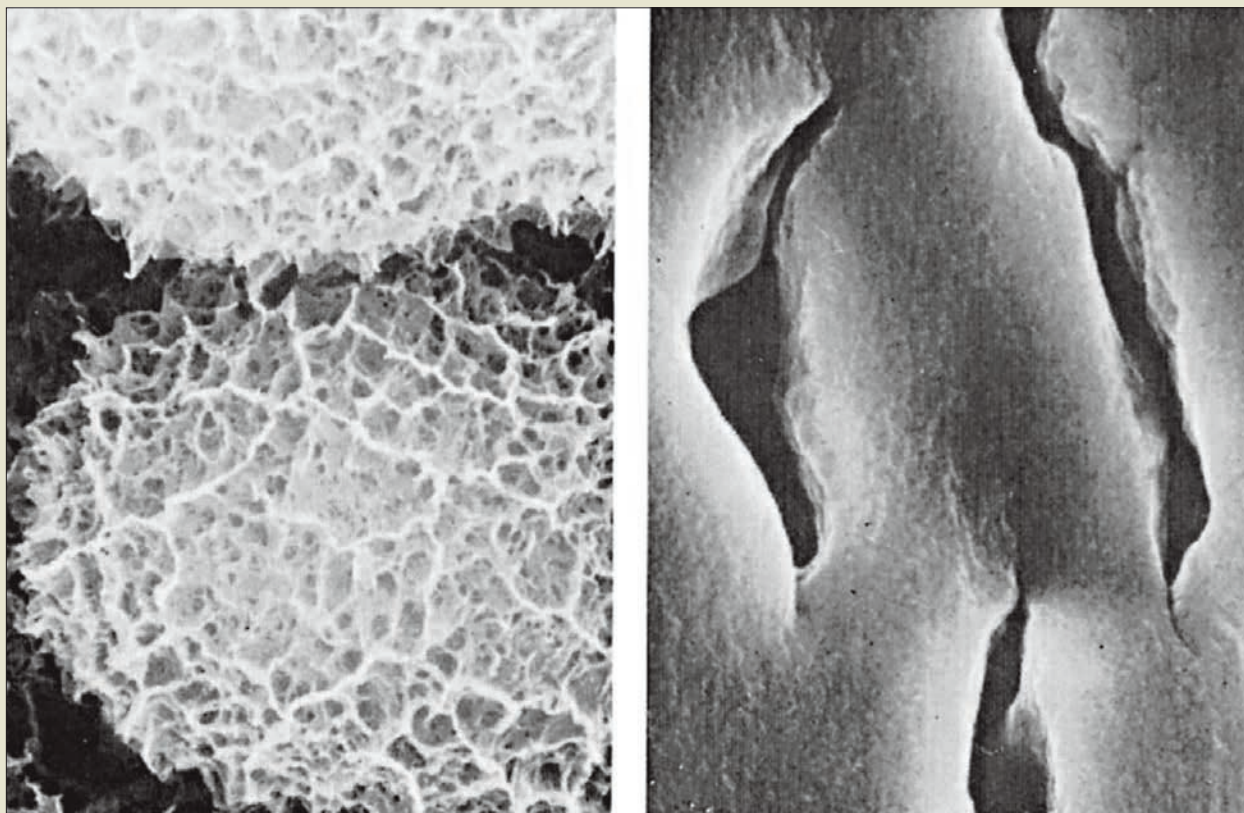
Při zavádění této technologie i u většiny dalších injektážních akcí v následujících desetiletích byl přítomen mimořádný a této práci zcela oddaný odborník Ing. **Jaroslav Verfel**, DrSc. Ti, kdo ho poznali, vědí, že směle zaujímá čestné místo po boku slavných jmen světové historie speciálního zakládání staveb (viz též str. 135 a 303).

Chemické injektáže

Průkopnickou cestu řešení injektáže nesoudržných zemin nastoupil roku 1887 německý inženýr **J. Jeziorski** použitím dvouřetokové injektáže s **nízkoviskózními chemickými směsmi** na bázi koncentrátu **vodního skla**. Praktické problémy s velice rychlým tuhnutím gelu, když do jednoho vrtu bylo vtlačeno vodní sklo a do sousedního gelovací minerální reagent, ovšem prokázaly problematickou provozní použitelnost. Hledání vhodných směsí pokračovalo až do roku 1925, kdy si holandský důlní inženýr **Hugo J. Joosten** nechal patentovat chemickou směs, opět na bázi koncentrátu vodního skla, s jiným reagentem, injektovaným následně do stejného vrtu. Vznikl opět **tvrdý chemický gel**, který velmi dobře solidifikoval písčité zeminy, s výslednou pevností až cca 6,9 MPa (obr. VI. 19).

Jednalo se o řemeslně náročný postup, kdy byla zaberaněna speciální injekční trubka a pak při injektáži povytahována hydraulickou stoličkou. Ve svých dalších modifikacích byla metoda atraktivní svou použitelností pro zpevňování i jemných písků. Měla však malý hloubkový a zejména příčný dosah jen cca do 30 cm. Výsledek byl přijatelně konstantní, ale náklady činily násobek klasických injektáží. Přesto se v nejobtížnějších podmínkách bez možnosti nasazení jiné metody její aplikace vyplatila, například tam, kde při injektáži alternativní hustší směsí hrozilo v blízkosti stávajících objektů jejich ovlivnění vzniklými deformacemi okolí. Používala se čteně zejména v Německu, ale i v Británii nebo USA až do šedesátých let. Až potom ji vytlačily všestrannější technologie manžetových trubek a nové chemické směsi.

Jinou cestou šlo hledání jednoroztokových směsí na bázi zředěného vodního skla. V roce 1909 patentovali takový postup s kyselinovým reaktivem Francouzi Lemaire a Dumont. Výsledný, poměrně **měkký silikagel** se však hodil pouze na těsnící účely. Pevnost zainjektovaného materiálu dosahovala jen 0,7 MPa. Podobných závěrů dosáhli během dalších desetiletí i další vynálezci s různými minerálními reaktivy. Od začátku padesátých let započalo velké zkoušení nových chemických směsí z materiálů vyvinutých díky obrovskému poválečnému vzednutí průmyslu. Ještě roku 1957 objevili v laboratořích firmy Soletanche nový **organický reaktiv pro tvrdý gel** při náhodném zjištění, že vzorky rychleji tvrdnou v hliníkových nádobách. Ale už o deset let později se těžiště vývoje postupně přesouvalo do odborných laboratoří velkých



Obr. VI. 20: Porovnání amorfni mikrostruktury konvenčního silikagelu (vpravo, 1000x zvětš.) a vytvořené krystalické struktury ze směsi Silacsol firmy Soletanche (vlevo, 4000x zvětš.), podobné jako u cementu

chemických firem, jako je francouzská Rhône-Progil. Kromě reagentů k vodnímu sklu a obdobných silikátů vznikaly zcela nové hmoty, jako například **organické monomery**, **polyfenolické polymery** a **pryskyřice**. Jejich nízká viskozita, newtonská reologie a zejména ovladatelné řízení tuhnutí poskytly rozsáhlé možnosti předtím nedosažitelných aplikací. Jedním z nejdokonalejších materiálů byla akrylamidová pryskyřice AM-9, vyvinutá americkou firmou Cyanamid v roce 1953. U nás se tato směs poprvé použila pro dotěsnění betonu přehrady Morávka v roce 1968.

Velký obrat představovaly od sedmdesátých let přísné ekologické a hygienické požadavky, které dokonce vedly od roku 1985 k **úplnému zákazu chemických injektáží** v některých zemích. Podobný dopad měly i zvýšené požadavky na **trvanlivost injektáží** v důsledku zkoumání deformačního krípu silikátových gelů. Tyto impulzy vedly k vývoji zvláštních nízkoviskózních minerálních směsí, například **křemičitanového roztoku** Silacsol, patentovaného roku 1985 firmou Soletanche. Místo gelování vytvářel v horninovém prostředí **anorganickou krystalizaci** podobně jako cement (obr. VI. 20).

Umožnilo to nejen omezení na jednofázovou penetrační injektáž, ale také snížení nebezpečí tlakem vyvolaných deformací. Podobné směsi byly vyvinuty i jinde ve světě. Jejich rozvoj byl ovšem tak spletitý a obsáhlý, že přesahuje záměr přehledného zachycení vývoje těchto injektáží a je třeba odkázat na odbornou literaturu.

U nás začal používat chemickou směs podnik Podzemní inženýrské stavby z rezortu Uranových dolů pro likvidaci havárie na štolovém přivaděči železné vody do Prahy roku 1967. Jednalo se o průmyslovou močovino-formaldehydovou pryskyřici Dukol. Uplatnil tuto injektáž ještě na několika důlních a stavebních dílech, ale bez využití manžetových trubek a hlavně pro neblahé následné hygienické vlivy tohoto materiálu celkově neuspěl. Úspěšný byl podnik Vodní stavby, který provozně zavedl metodu se směsí vodního skla a reaktivů podle licence Sol-expert v roce 1969 při injektáži pro podchycení budov na pankrácké trase pražského metra. Rozsáhle ji pak použil například roku 1972 na stavbě stanice metra Dejvická (viz obr. IV. 10).

Speciální injekční směsi

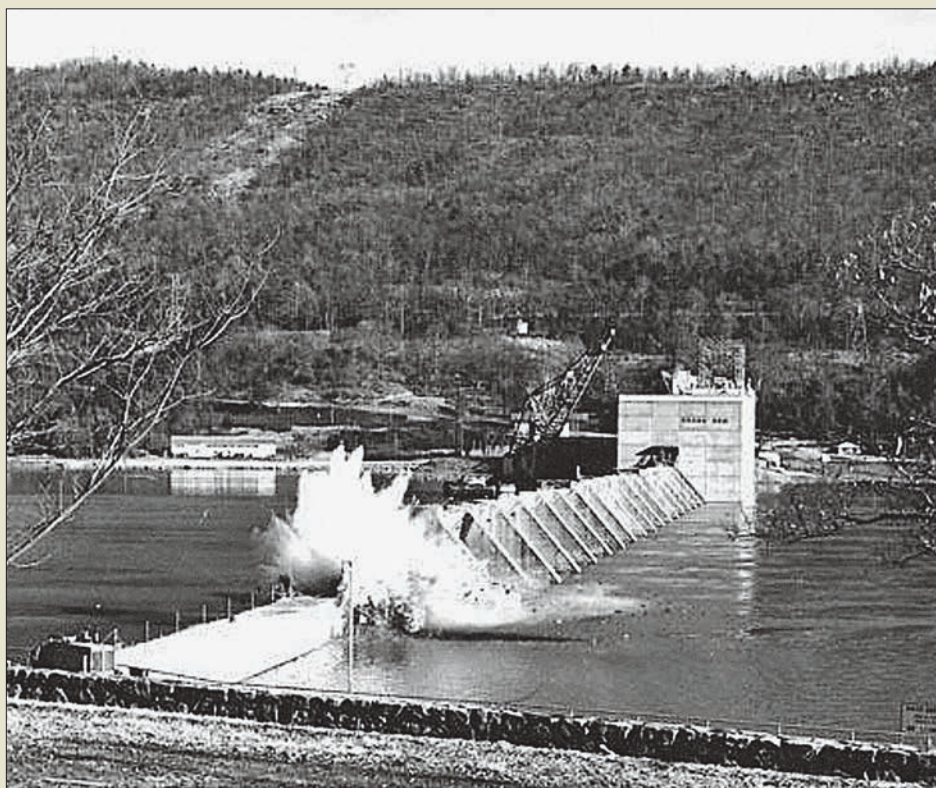
Kromě klasických suspenzí a chemických roztoků se pro injektáž užívaly i jiné speciální směsi, například **bitumenové emulze**. Jejich výhodou byla nízká viskozita a stabilita ve styku s podzemní vodou, takže se v určitých specifických podmínkách, například proudící vody, místy osvědčily. V třicátých letech byly bitumenové emulze rozsáhle, avšak neúspěšně použity pro nápravu podzákladí americké přehrady Hales Bar. Byla postavena v roce 1909 na řece Tennessee na málo prozkoumaném krasovém prostředí a ani padesátiletá snaha dodatečně různými způsoby utěsnit průsaky nevedla k nápravě. Nakonec vše skončilo v roce 1967 demolicí přehrady a tento případ pak nadlouho negativně ovlivnil postoj odborné veřejnosti v USA k technologiím injektáží (obr. VI. 21).

Využití bitumenové emulze se osvědčilo spíše pro zvláštní případy těsnění podzemních konstrukcí (obr. VI. 22). Postupně však byly nahrazeny širokou škálou nových chemických směsí.

Ke speciálním směsím lze rovněž zařadit **mikrocementové suspenze**, vyvinuté roku 1982 v Japonsku. Pro svou vynikající prostupnost a dlouhodobou trvanlivost se rychle rozšířily i do Evropy. V praxi se však u nich projevil problém s výskytem filtračního jevu a nerovnoměrného tuhnutí v horninovém prostředí. Proto se využívaly zejména pro opravné injektáže konstrukcí.

Faktory technických prostředků injektáží

V druhé polovině 20. století proběhly v mechanizačním vybavení a řízení injektáží velké změny. Technologie injektážních procesů prošla vývojovou etapou odrážející tehdejší strmé hospodářské vzepětí. Injektáž je považována za nejnáročnější disciplínu speciálního zakládání staveb, a proto je pro ni těsné sepětí se špičkou technologického rozvoje průmyslu



Obr. VI. 21: Demolice 34 m vysoké a 706 m dlouhé přehrady Hales Bar na řece Tennessee v USA roku 1967 po padesáti letech neúspěšných prací na utěsnění krasového podzákladí



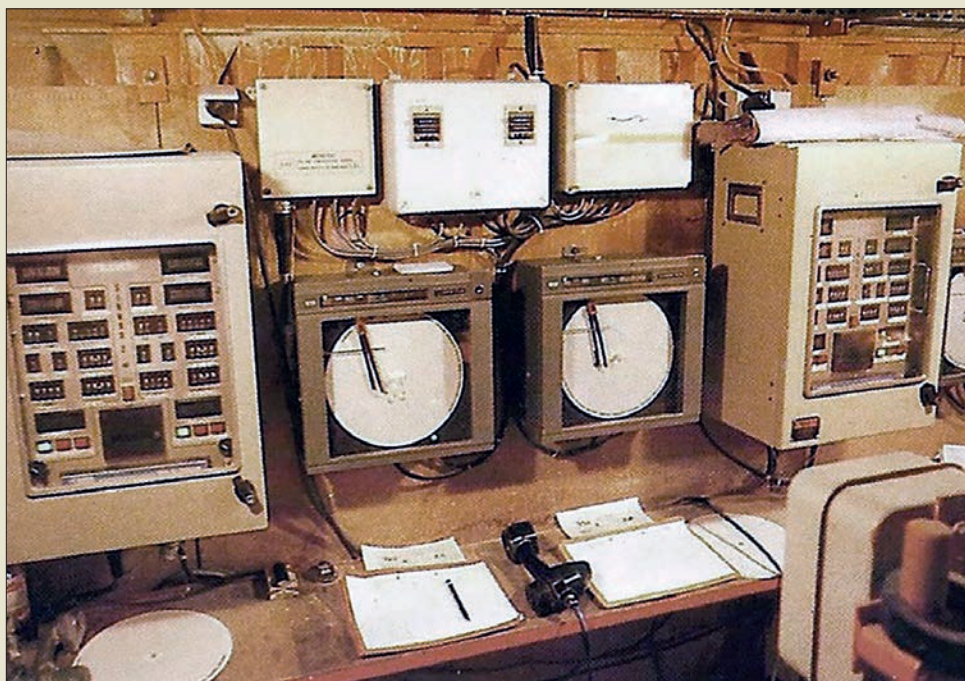
Obr. VI. 22: Gravitační injektáž firmy I.C.O.S. 160 °C horkým bitumenem pro utěsnění spáry konstrukce přechodu řeky Olony nad tunelem milánského metra roku 1962



Obr. VI. 23: Velká výrobní směsi a injekční stanice na počátku šedesátých let na stavbě injekční clony pro přehradu



Obr. VI. 24: Injekční stanice firmy Soletanche na stavbě pařížského metra na počátku sedmdesátých let



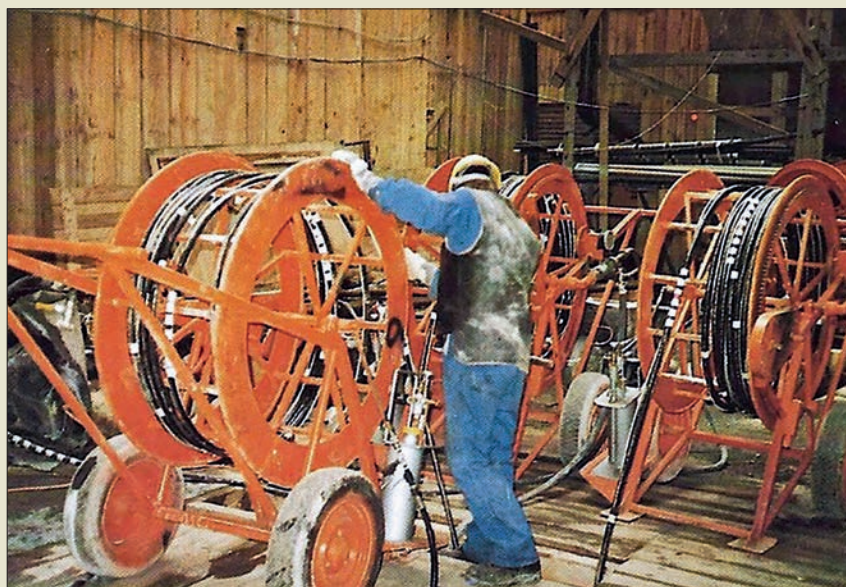
Obr. VI. 25:
Společná
elektronická
a mechanická
instrumentace
a monitoring
injektáží firmy
Soletanche
na stavbě
vídeňského metra
v osmdesátých
letech

příznačné. Do šedesátých let šlo pouze o extenzivní rozvoj mechanizačních prostředků s pozvolnou inovací čerpacích stanic a výroby směsí. Ty však stále ještě poněkud připomínaly manufaktury z předchozího století, i když se používala nejmodernější plunžrová čerpadla (obr. VI. 23).

V průběhu sedmdesátých let se však vývoj zintenzivňoval a injekční stanice s bateriemi výkonných čerpadel Clivio se již začaly podobat tovární výrobní lince, ale ještě s početnou ruční obsluhou (obr. VI. 24).

V následujícím desetiletí se pak prudce rozvinula elektronická **instrumentace** a **monitoring procesů** s digitalizací sběru dat vedoucí k poloautomatizaci provádění (obr. VI. 25). S tímto pokrokem bylo také nutno zavést **elektronický monitoring chování**, zejména deformací injektovaného základového prostředí a okolních objektů.

Nastalému zprůmyslnění injektování se musela přizpůsobit i zrychlená ruční operace zapouštění obturátorů na injekčním poli. Na velké stavbě bylo potřeba zvládnout zainjektování více než 2000 etáží denně. Tomu odpovídalo zavedení injekčních hadic na cívkových vozících se spolehlivým hydraulickým rozpínáním obturátoru (obr. VI. 26).



Obr. VI. 26: Cívkové vozíky
injekčních hadic s hydraulicky
rozpínanými obturátory
na injekčním poli stavby
vídeňského metra firmy
Soletanche v osmdesátých
letech

Od devadesátých let již došlo k podstatné **komputerizaci** řízení, sledování a vyhodnocování prací. Z provozních pracovišť tak mizely štáby techniků s přeplněnými regály a stohy papírových injekčních protokolů a svitky milimetrových papírů s ručně vynášenými údaji do diagramů. Nyní získal provozní inženýr geotechnik komplexní pohled na to, co se v reálném čase děje při injekčních operacích, a mohl ho srovnávat s předpokládanými modely a scénáři. Navrhování již v této době využívalo CAD s trojrozměrným znázorněním. Numerickému modelování opět pomohly paralelní pokročilé zkušenosti z oboru naftového vrtání. Byly k dispozici velmi propracované modely průsaku médií horninovým prostředím, které bylo možno modifikovat a využít. Provádění injektáže však nadále zůstalo náročnou empirickou vědou, založenou především na znalostech a zkušenostech vedoucího odborníka schopného adaptovat návrh podle odezvy skutečně zastižené variabilní geotechnické situace základového prostředí.

Kontaktní injektáž

Z klasických penetračních injektáží se časem vydělily samostatné metody injektáže puklin a trhlin ve skalních horninách nebo spár v kontaktu konstrukcí či mezi konstrukcí a základovým prostředím. Tyto technologie se sice odvinuly od konvenční cementové injektáže hornin, ale postupně u nich byly vypracovány zvláštní postupy odpovídající těmto podmínkám. Mnohdy se později uplatnily nové chemické a speciální injekční směsi (viz obr. VI. 22). Typickým příkladem zvláštní aplikace je injektáž smršťovacích spár v betonových přehradách a zejména kontaktů ostění u podzemních staveb, obzvláště tunelů. Časté použití je také pro opravy různých poruch stavebních konstrukcí.

U nás byla kontaktní injektáž poprvé uplatněna v rozsáhlém měřítku roku 1970 závodem 07 podniku Vodní stavby na stavbě klenbové hráze Vrchlice u Kutné Hory. Těleso hráze ze železobetonových bloků o výšce 40,8 m bylo při výstavbě zmonolitněno injektáží spár mezi bloky cementovou směsí (obr. VI. 27). Je jedinou přehradou tohoto typu v ČR.



Obr. VI. 27: Klenbová hráz Vrchlice u Kutné Hory, vysoká 40,8 m, s provedenou kontaktní injektáží mezi železobetonovými bloky tělesa

Obr. VI. 28: Hustá cementová injekční směs používaná pro zhutňovací injektáž firmy Bachy v Evropě od roku 1985



Výplňová injektáž

Zaplňování dutin obvykle velkých rozměrů, jako jsou kaverny jeskynních prostor nebo opuštěná důlní díla, je také zvláštní technologickou větví, oddělenou z klasických injektáží. Vyznačuje se používáním zrnitější injektážní směsi s objemnými přísadami levnějších materiálů, jako jsou například elektrárenské popílky. Obvykle se též používaly nižší tlaky nebo dokonce jen gravitace. Patrně první větší použití tohoto typu injektáže představovalo vyplnění vytěžených podzemních křídových dolů v anglickém Woolwichi roku 1956. Většina prostor byla zaplněna volným tokem suspenze přes vrty do hloubky 12 m. Směs byla vyrobena jen ze samotného popílku a využívala jeho přirozených pojivových vlastností. Spotřebovalo se zde celkem 45 000 m³ popílku z blízkých elektráren. Zbylé dutiny byly zainjektovány dodatečně. Jinak tento typ prací s výjimkou ojedinělých rekordních výkonů v objemech a vzdálenostech při vyplňování důlních děl nezanechal v historii injektáží výraznou stopu.

V tuzemsku bylo první velkou akcí tohoto druhu vyplňování havarijních kaveren vypláchnutých pode dnem plavební komory v Brandýse nad Labem roku 1977. Speciální závod 07podniku Vodní stavby provedl výplňovou injektáž z vrtů skrz dno a stěny komory zvláštní jílocementovou směsí a dotěsnil ji chemickou směsí z vodního skla. Jinými velkými projekty bylo vyplňování kaveren na dolech Viktorin a Döllinger u Duchcova v roce 1978 a starých důlních prostor na Mostecku roku 1979 (viz obr. IV. 33).

Zhutňovací injektáž

Samostatná a zvláštní injektážní metoda, původně výhradně americká, způsobující přetvoření základového prostředí v měkké nebo kypré zemině. Odlišnosti jsou v použité injektážní látce a tomu odpovídající technologii. Jedná se o vtlačování podstatně hustšího média, směsi malty s velkým vnitřním třením, k ústí zavrtané injektážní trubky (obr. VI. 28).

Postup injektování je vzestupný se současným povytahováním pažnice. Injektovaná malta vytváří roztlačením okolní zeminy **betonové inkluze** cibulovitého tvaru.

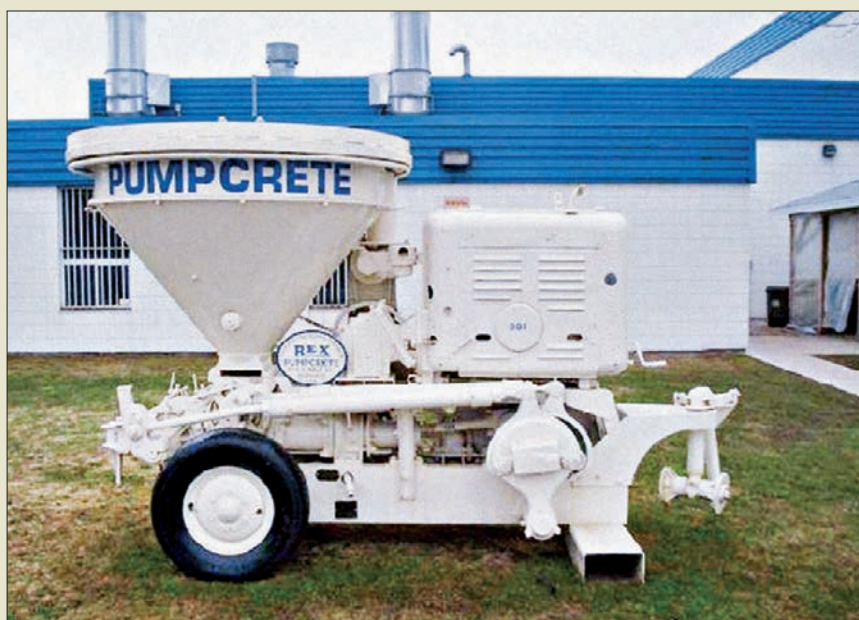


Obr. VI. 29: Oprava betonového chodníku pneumatickým zařízením Koehring-Mudjack s nožovým hnětačem směsi a pístovou pumpou v USA roku 1939

Všeobecnou inspirací byl ve Spojených státech již od třicátých let tradiční, dodnes široce využívaný způsob oprav betonových vozovek nazývaný „mudjacking“. Vynalezl ho v roce 1929 John Poulter v lowě při využití tehdy světově vůbec prvního patentu na čerpadlo malty z roku 1913. Šlo o jednoduché, pneumatically poháněné zařízení. Tím se do vrtu v proláklivé desky vozovky vtlačovala malta namíchaná z místní hlíny s cementem. Tlakem vpravované směsi se deska zvedla a výmol vyrovnal (obr. VI. 29). Pracovní tlak směsi byl však malý, jen do cca 2 MPa, a tak neumožňoval rozšíření zásahu na hlubší vrstvy.

Další inspirací pak bylo od poloviny třicátých let průmyslové zavedení čerpadla malty wisconsinské firmy Chain Belt Co. pod názvem Rex Pumpcrete (obr. VI. 30). Písty ale byly ještě poháněné mechanickými převody, proto čerpadlo trpělo při zvýšeném odporu čerpání poruchovostí. Rovněž dosahovalo jen mírně vyššího tlaku do cca 5 MPa, takže nepřicházelo v úvahu pro hlubinnou injektáž.

Tento nový mechanizační prostředek však inicioval využití pro jinou důležitou inovaci ve speciálním zakládání, a sice pro piloty CFA firmou Intrusion Prepackt v Ohio ve čtyřicátých letech (viz str. 91). Při aplikaci těchto pilot ve velmi měkkých zeminách se poté začalo diskutovat o možnosti roztlačovacího a zhutňovacího účinku tlakové betonáže v hlubší základové půdě.



Obr. VI. 30: Světově první průmyslově rozšířené čerpadlo cementové malty Rex Pumpcrete z konce třicátých let v USA po restaurování



Obr. VI. 31:
Typická sestava
vrtné soupravy
a míchačky
s injekční pumpou
Putzmeister,
používaná pro
zhuťňovací injektáž
menšího rozsahu
od roku 1986
britskou firmou
Cementation

Na začátku padesátých let se začal kalifornský inženýr **James Warner** zabývat myšlenkou využít mudjacking i pro zvedání pokleslých základů rodinných domů a hledal silnější model čerpadla. Tehdy již byly známé první prototypy hydraulických čerpadel malty s výhodnějším pracovním režimem při nárůstu odporu čerpání. Warner se spojil s inovátory těchto čerpadel, bratry Bennetovými, kteří vyvinuli první hydraulické rameno pro usnadnění čerpání z automobilu na staveništi. Warner s jejich pomocí připravil potřebné zařízení s vyšším tlakem směsi kolem 7 MPa a s ním pak začal svůj nápad realizovat. V průběhu dalších třiceti let se jeho metoda injektáže osvědčila pro rektifikaci sedání mnoha menších staveb a získala věhlas pod nynějším názvem „zhuťňovací injektáž“ (compaction grouting).

Roku 1977 byl konečně realizován velký a významný projekt na stavbě městské rychlodráhy v Baltimoru ve státu Maryland. Jednalo se o vyztužení kyprého šterkopískového nadloží nad budovanými tunely pro kompenzaci sedání povrchu. Injektáž se prováděla těsně před ražbou a ihned po prorážce tunelů. Po tomto úspěchu se metoda rozšířila v USA na řadu dalších aplikací, například pro zlepšování kavernózních vápenců nebo pro ochranu zemin před ztekucením při zemětřesení. Přispěla k tomu i nová dostupnost daleko lepších čerpadel na beton. Roku 1985 metodu převzala Evropa (obr. VI. 31) a v roce 1990 Japonsko.

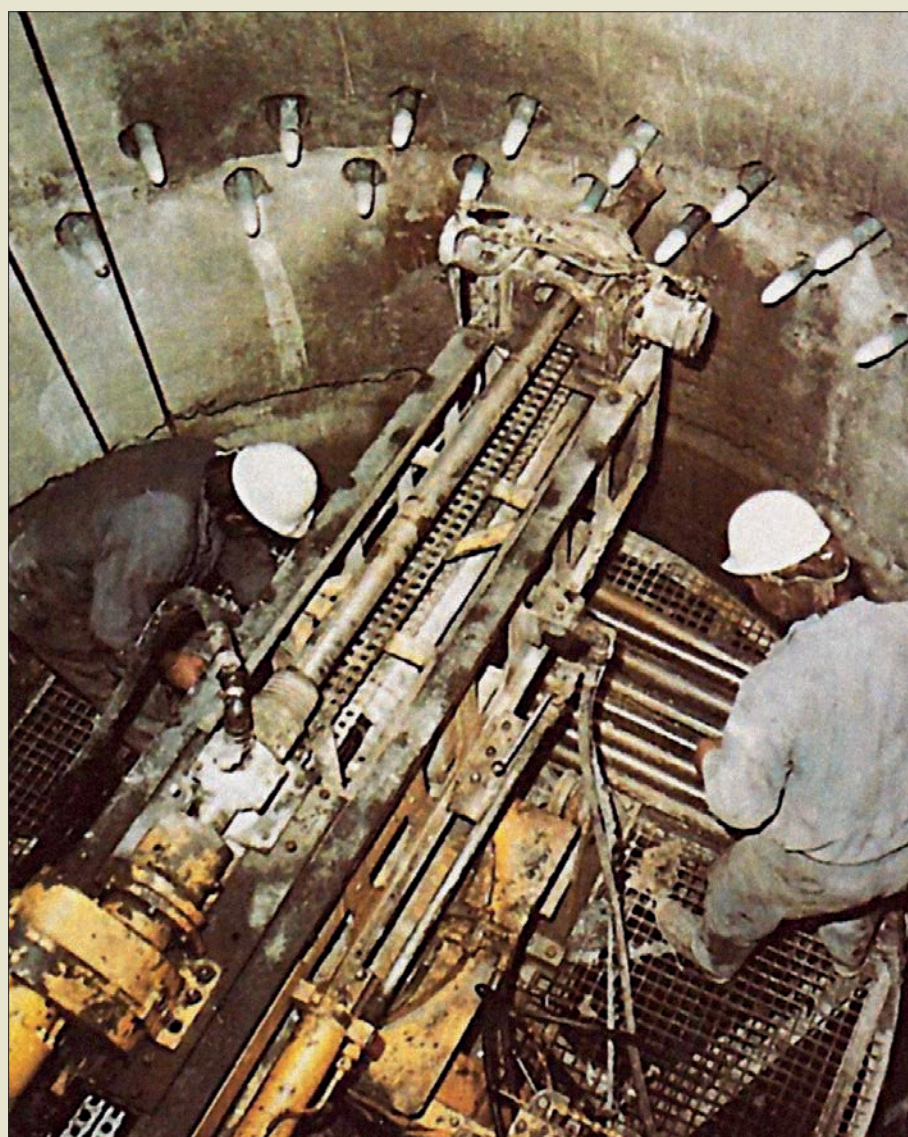
Ukázkovým příkladem bylo využití zhuťňovací injektáže firmou Soletanche pro stavbu rozsáhlého komplexu budov na ploše téměř 1 ha v monackém přístavu Fontvieille roku 1986. Hlubinným horizontálním účinkem byla takto zvýšena ulehlost podzákladí do hloubky až 20 m přes vrstvy náplavů a siltovitých písků (obr. VI. 32). U nás však vzhledem k malému výskytu vhodných zemin nebyla tato metoda využita.

Rektifikační a kompenzační injektáž

Nezávisle na americké praxi zhuťňujících injektážích se na jiných místech ve světě rodila myšlenka, jak pozitivně využít zatím nepříznivě hodnoceného jevu nadzvedání terénu v průběhu některých klasických injektáží. V Evropě se to nejprve zhruba od sedmdesátých let zkoušelo při metodách následné **rektifikace nadměrného sedání**. Využívalo se především



Obr. VI. 32:
Hlubkové zvýšení
ulehlosti podzákladí
z kyprých zemin
zhuňovací
injektáží na stavbě
obytného komplexu
v monackém
přístavu Fontvieille
firmou Soletanche
roku 1986



Obr. VI. 33: Vrtání
pro injektáž z pomocné
šachty k rektifikaci
tunelových pecí
ve Velkých Opatovicích
roku 1979
(Zakládání staveb, a. s.)



Obr. VI. 34: Skřínky elektronicky snímané hydrostatické nivelace (zakryté fólií) s okamžitým přenosem dat do centrály Hottinger, umístěné na podvozcích při přesunu mosteckého kostela Nanebevzetí Panny Marie roku 1975

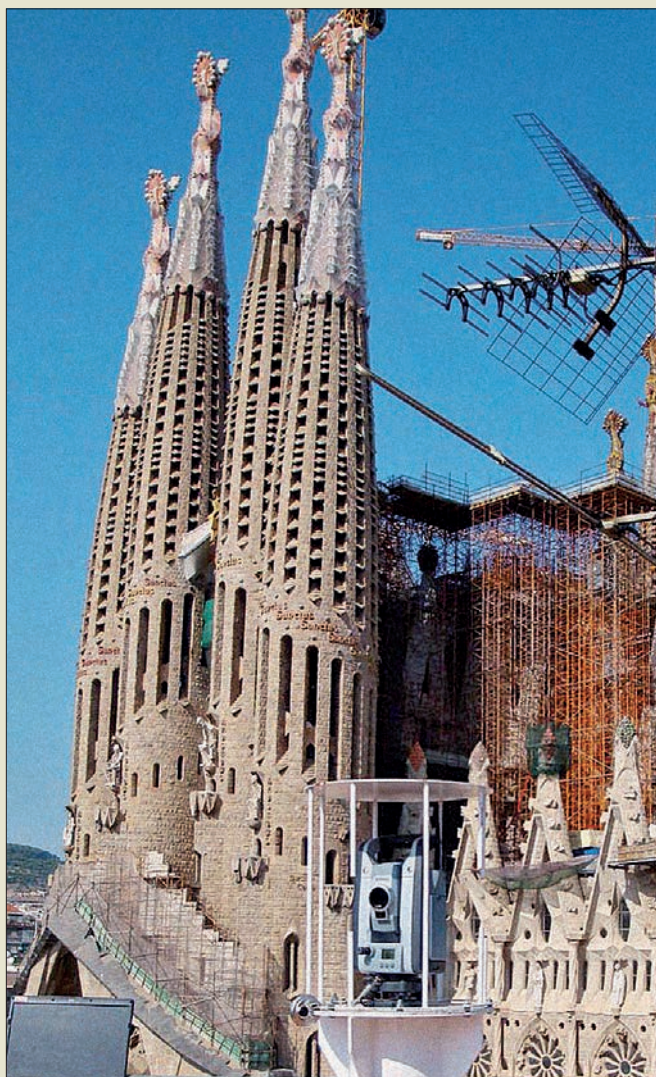
klakáže v hlubší vrstvě základové půdy při vyšších tlacích injektáže s konvenční jílocementovou směsí, což způsobovalo nadzvedávání nadloží. Testováno bylo rovněž vytváření **plochých intruzí** speciálními hustšími směsmi. Omezujícím činitelem řízení tohoto procesu byla tehdy schopnost měřit a vyhodnocovat i velmi malé reakční posuny konstrukcí v potřebné okamžité rychlosti. K dispozici byla jen pomalá a nedostatečně přesná ručně vyhodnocovaná optická nivelace.

V tuzemsku takto provedl první injektážní rektifikaci závod SZS, Vodní stavby, roku 1979 při sanaci poklesů tří 180 m dlouhých tunelových šamotových pecí ve Velkých Opatovicích. Sanační injektáž trhlin vysušených illitických jíílů v podzákladí byla prováděna z pěti pomocných šachet klasickým postupem s jílocementovou směsí (obr. VI. 33).

Ze zkušeností se postupně vyvíjela nová metoda **kompensační injektáže**. Dřívější výše uvedený příklad předběžného i následného vyrovnání sedání nadloží při ražbě baltimorských tunelů roku 1977 jí však ještě neodpovídal. Podle její definice má jít o průběžné vyrovnávání deformací v reálném čase při současně přímé reakci na probíhající budování stavby. První skutečně kompenzační akce se tedy mohly uskutečnit až s možností přesnějšího a rychlejšího měření pohybů konstrukcí. Tradiční optické sledování s ručně vyplňovanými tabulkami pro tento účel nepostačovalo. Hledal se proto **systém komplexního monitoringu** mnoha sledovaných míst se souběžným vyhodnocováním deformací stavby v bezprostředním čase průběhu injektážního zásahu. Ten mohl být jedině elektronický. Od sedmdesátých let se ve světě zkoušely různé elektronické snímače posunů a inklinometry. Dařilo se to zejména ve Velké Británii, kde předchází vývoj

Obr. VI. 35: Dodatečná injektážní rektifikace devítipodlažního domu v Brně-Jundrově roku 1989 (Zakládání staveb, a. s.)



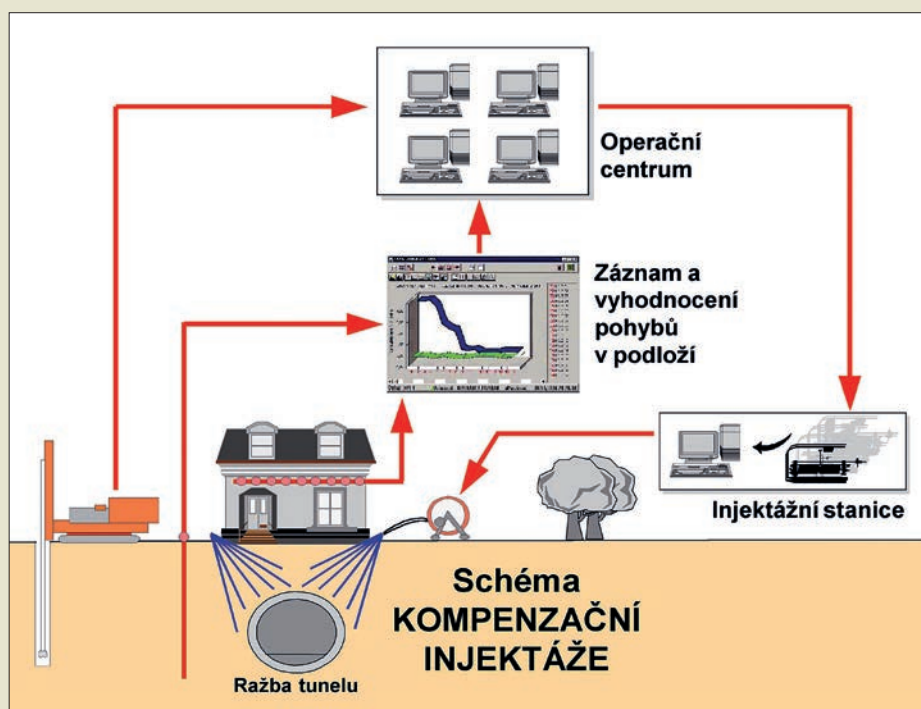


Obr. VI. 36: Optický systém firmy Soldata pro monitoring pohybů konstrukcí při kompenzační injektáži pomocí automatických teodolitů na stavbě metra v blízkosti katedrály Sagrada Familia v Barceloně roku 2003

průmyslu zásadně neomezila válka. Významného pokroku ve sledování vertikálních pohybů dosáhli ovšem v té době Němci. Sestrojili systém hydraulického okruhu hydrostatických vodováh vybavených indukivními snímači posunu plováků, zapojenými do elektronické sběrné datové centrály. Mezi prvními světovými aplikacemi byl tento systém použit i u nás podnikem Transfera při přesunu mosteckého kostela Nanebevzetí Panny Marie roku 1975 (obr. VI. 34).

Později využívala tento systém ve vylepšené verzi s počítačovým záznamem a výstupem tiskárny firma Zakládání staveb, a. s., pro různý komplexní monitoring konstrukcí. Výborně se například osvědčil při mimořádném projektu dodatečné injektážní rektifikace naklánějící se devítipodlažní obytné budovy z roku 1974 v Brně-Jundrově roku 1989 (obr. VI. 35). Po postupném nerovnoměrném sedání v důsledku promáčení spraší dosáhl v roce 1987 náklon domu v místě střechy 532 mm a dům musel být vystěhován. Rektifikační zásah zde měl i obecné technické rysy kompenzace deformací objektů. Nejprve vytvořil konsolidační injektáží 16 m hluboký blok zpevněného podzákladí a zastavil tak další sedání. Poté byl dům řízeně na přesně určených místech nadzvednut rektifikační injektáží opřenou o tento blok. Tak byly vyrovnány nerovnoměrné poklesy, jejichž difference byla až 250 mm.

Obdobné systémy sledování byly také zpočátku používány na projektech již reálných průběžných kompenzačních injektáží. První provedla firma Keller roku 1989 v německém Essenu při ražbě tunelů podzemní dráhy pod továrnou s citlivým zařízením. Na základě zejména této zkušenosti uspěla roku 1995 firma Bachy-Soletanche v Londýně při ražbě linky metra Jubilee Line. Ve velmi husté zástavbě použila složitější systém s rámcově propojeným počítačovým navrhováním a řízením injektáží. Další průlomové vylepšení monitoringu deformací pak zavedla roku 1996 monitorovací divize této firmy Soldata pomocí počítačem řízeného systému motorového teodolitu – **geoskopického modulu** (obr. VI. 36).



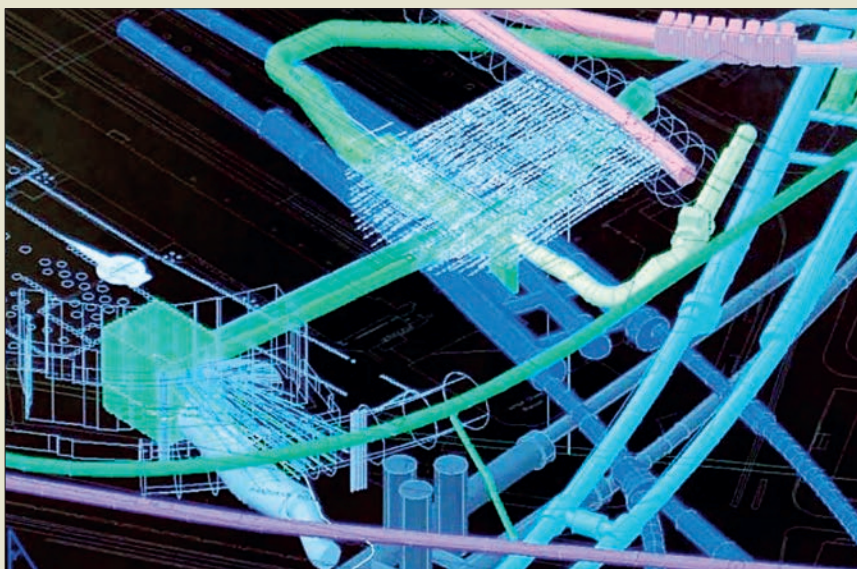
Obr. VI. 37: Znárodnění komplexního systému firmy Soletanche-Bachy pro počítačové řízení kompenzačních injektáží z mezinárodního programu COSMUS roku 1996

Geoskopický princip sledování povrchových posunů spolu s hlubinnými inklinometry se potom staly hlavními nástroji kontroly kompenzačních injektáží. Firma Soletanche-Bachy vedla v roce 1996 rozsáhlý mezinárodní projekt na optimální modelování a kompenzaci deformací základové půdy při podzemních stavbách v reálném čase (COSMUS). Na jeho základě pak principiálně sřetěžila veškeré navrhování, řízení a vyhodnocování injektáží do uzavřeného autoadaptivního cyklu počítačových programů (obr. VI. 37).

Bloky tohoto komplexu tvořily:

- předpověď sedání a definování odpovídajících programů kompenzační injektáže;
- projektování injekčních vrtů 3D (obr. VI. 38);
- monitorování procesu a kontrola injekčních čerpadel, záznam údajů o parametrech – tlaku, průtoku a objemu;
- geoskopický modul umožňující analýzu naměřených dat monitoringu chování objektů, automatických teodolitů a dalších senzorů;
- software na zpracování údajů a řízení prací.

Obr. VI. 38: 3D projekt umístění vějířů injekčních vrtů firmy Bachy-Soletanche mezi stávajícími konstrukcemi a sítěmi v podzemí pro rozšíření stanice metra King's Cross v Londýně roku 2006





Obr. VI. 39:
Hydraulické rozpojování
hornin tlakovým
paprskem vody
z hydromonitorů
v kalifornském
dolu Dutch Flat
v šedesátých letech
19. století



Obr. VI. 40:
Hydraulické rozpojování
jemnozrnných zemin
uvnitř přetlakového
kesonu v Nizozemsku
v padesátých letech
20. století

Tato komplexní koncepce nastavila pro kompenzační injektáže úroveň rozvoje a směřování na další roky. Stala se i příkladem k následování pro všechny ostatní. V tuzemsku provedla první kompenzační injektáž firma Zakládání staveb, a. s., při ražbě pražského tunelu Mrázovka 2001. Byly tak zajištěny obytné domy v poklesové kotlině v Ostrovskeho ulici.

TRYSKOVÁ INJEKTÁŽ

Metoda je odvozena od původních klasických injektáží cementem, ale ty se zde uplatňují značně transformovaně. V tryskové injektáži hraje podstatnou a trvalou roli princip nové dílčí technologie vysokotlakého **hydraulického rozpojování** základové půdy. Cesty vývoje této technologie jsou zajímavě klikaté s velmi hlubokými historickými kořeny.

Stopy jejího původu lze nalézt již v předrománské době, kdy se využíval soustředěný proud vody z blízké vodoteče k těžbě vzácných nerostů. V severoitalské alpské oblasti tak byly vystupující zlatonosné žíly obnažovány povrchovým rozplavováním a odplavováním měkčí horniny. Římané pak tuto praxi zdokonalili a používali ji pro těžbu kovových rud i leckde jinde v Evropě. Na vhodných místech se uplatňovala po dlouhý čas až do 18. století. A ojediněle i později, například při těžbě zlata v Kanadě a na Aljašce.

K novému technologickému skoku došlo roku 1850 v době kalifornské zlaté horečky. Pro masivní hydraulické rozpojování zlatonosných sedimentárních hornin paprskem vody se tam vyvíjely hydraulické systémy vykazující co nejvyšší dosažitelnou energii tryskání. Používala se silná čerpadla dodávající textilní hadicí vodu o tlaku 4–5 MPa do zvláštní kované trysky, označované tehdy **hydromonitor**. Tento název se pak trvale vžil (obr. VI. 39).

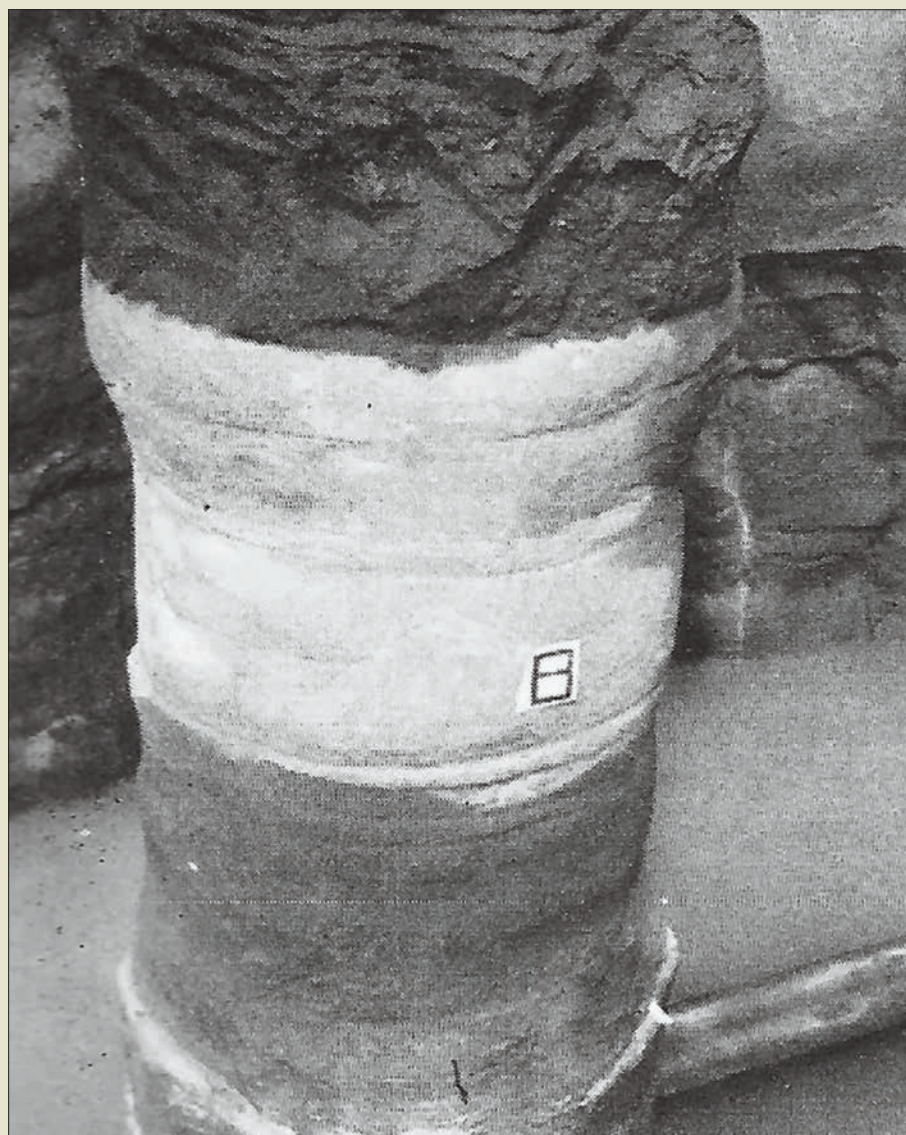
Tento postup rozrušení matečné horniny byl sice vysoce efektivní, ale pro životní prostředí značně devastující. Přesto se rychle rozšířil i do dalších oblastí Ameriky a na jiné kontinenty. Brzy tato technologie pronikla také do metod zemních prací ve stavebnictví. Využívala se například pro těžbu bahnitých nâplavů v otevřených kesonech při stavbě mostů v USA (viz obr. V. 16) nebo v první polovině 20. století v pneumatických kesonech pro hydraulickou těžbu jemně písčité zemin v Nizozemsku (obr. VI. 40).

První impulz pro její využití u injektáží se zrodil ve Skotsku na začátku padesátých let minulého století při provádění klasické injekční clony pro 49 m vysokou a 354 m dlouhou pilířovou přehradu Errochty. Přehrada byla založena na metamorfovaných slídnatých krystalických břidlicích, v nichž byly vrstvy ledovcového jílu o tloušťce až 350 mm. Britská firma Cementation tam začala úspěšně experimentovat s odstraňováním výplně těchto vrstev kolem injekčních vrtů v horní části injekční clony. Používala vysokotlaké tryskání v patě vrtů při střídání média vzduchu a vody. Teprve po tomto vyčištění následovala nejdříve výplňová a pak klasická tlaková injektáž cementem.

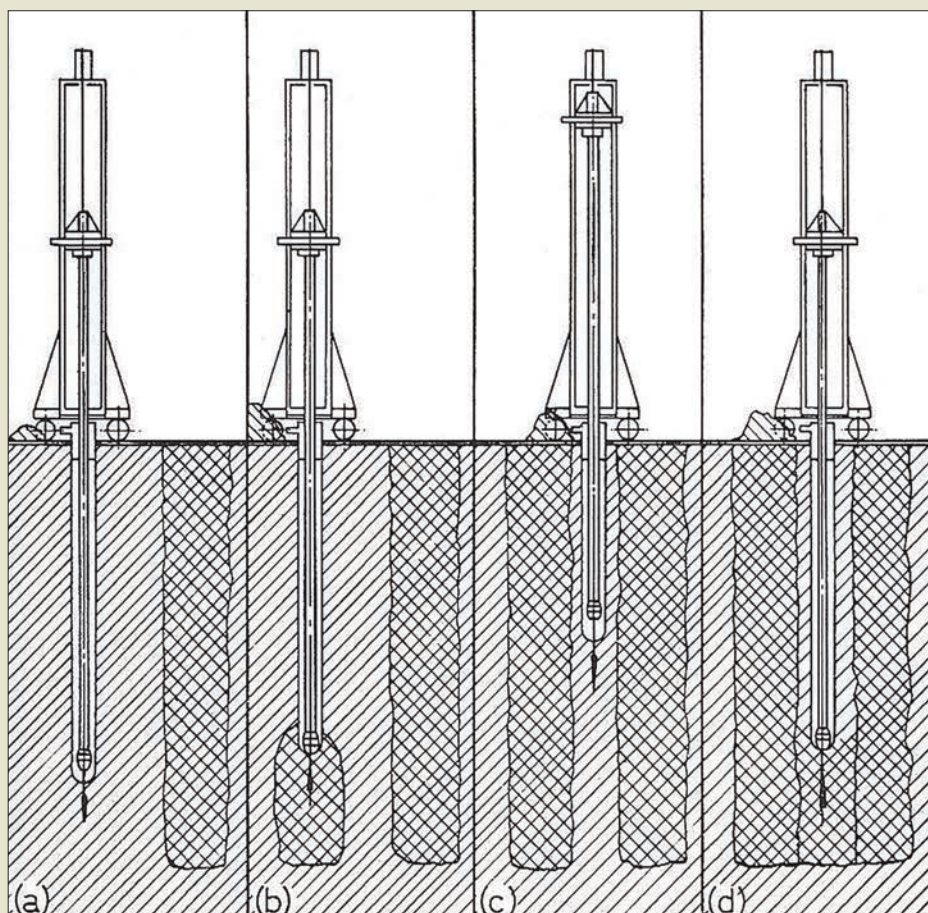
Na základě této zkušenosti prováděla v roce 1955 firma Cementation obdobné vysokotlaké rozrušování a vyplavování výplně puklin v části podzákladí klenbové přehradě Kariba na řece Zambezi v tehdejší Severní Rhodesii. Byla to však u 128 m vysoké a 579 m dlouhé přehradní hráze práce mnohem rozsáhlejší a komplikovanější. Tentokrát byl hlavní rozpukanou horninou pevný křemenec a výplň puklin byla částečně jílová, částečně slídnatá. Roku 1959 byla přehrada úspěšně dokončena a ve své době byla největší na světě (obr. VI. 41). Výstavba tohoto význačného díla je vrcholnou ukázkou inženýrského umu. Byla již v průběhu budování dvakrát zasažena ohromnou povodní, která vždy převýšila předpoklady historicky omezeného hydrologického průzkumu, takže projekt musel být opětně přepracován. V současné době je však symbolem nešťastného stavu rozvojového světa, neboť po desetiletích zanedbávání provozního režimu a údržby hrozí vzhledem k jejímu havarijnímu stavu celému regionu katastrofa.



Obr. VI. 41:
Klenbová přehrada
Kariba na řece
Zambezi mezi
Zambií a Zimbabwe
při plné funkci
povodňových
výpustí. Pro
zřizování její těsnicí
clony bylo v roce
1955 rozsáhle
uplatněno tryskové
vyplachování
horninových puklin.



Obr. VI. 42: Zkušební
sloup tryskové injektáže
firmy Cementation
o průměru 0,8 m,
zhotovený tlakem
10 MPa v pokusné
vodní jímce na stavbě
v Pákistánu roku 1962



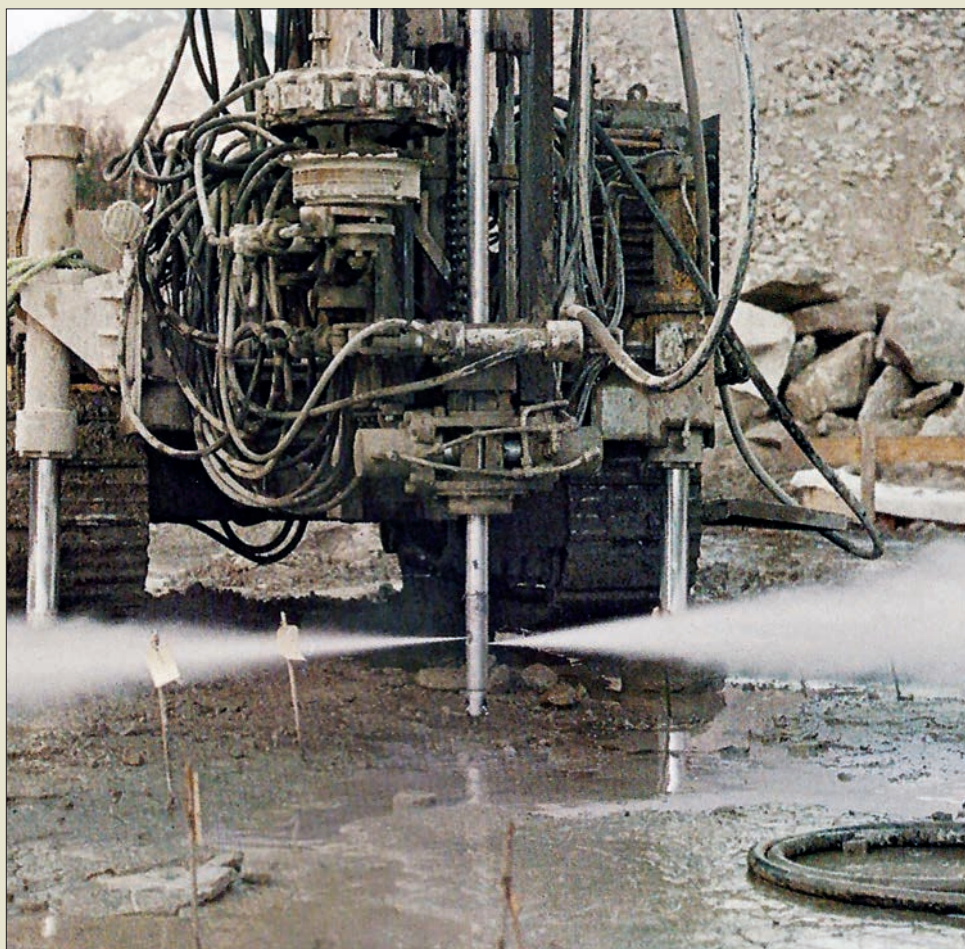
Obr. VI. 43: Původní schéma firmy Cementation pro pracovní postup technologie tryskové injektáže, zveřejněné na londýnské konferenci roku 1963

Další vývoj umožnil pokrok v mechanizaci a zejména v hydraulickém ovládní strojů. Vedl i k používání čerpadel poskytujících výrazně vysoký tlak. Určité typy byly dokonce uzpůsobené k vysokotlakému čerpání cementové suspenze, nejprve především pro cementace hlubokých naftových vrtů (viz obr. VI. 10). Roku 1960 začala firma Cementation na stavbě vodního díla v Pákistánu pokusně spojovat a kombinovat obě nové technologie – tryskové rozpojování horniny a vysokotlakou cementaci – do jednoho systému pro vytváření základových elementů. A metoda **tryskové injektáže** byla na světě. Jejím prvním dílem byly roku 1962 překrývající se sloupy pro pažení provizorní vodní jímky (obr. VI. 42).

Byly tak nalezeny a ustaveny obecné principy a postupy tryskové injektáže, výrazně se odlišující od konvenčních technologií injektáže. Systém kombinoval **vysokotlaké injekční vtlačování** média do základové půdy současně s jejím **rozušováním hydraulickým paprskem**, ale také s **promícháváním** vznikající směsi in-situ. Docházelo i k částečnému **nahrazování** promíchávaného objemu již více homogenizovanou směsí a k **vytlačování** přebytečné směsi materiálu ústím vrtu na povrch. Další vývoj tohoto technologického systému si poté razil cestu i pomocí politické podpory v některých zemích, v dřívějších dobách neobvyklé.

V roce 1963 uveřejnila firma Cementation čerstvé informace o svých experimentech na londýnské konferenci o injektáži. Mimo jiné tam představila dnes již klasické a stále výstižné schéma prováděcího postupu (obr. VI. 43).

V západním světě sice tato informace poněkud zapadla, ale velmi živě se jí ujali v Japonsku. Tam naopak její využití podpořilo subvencemi tehdejší značně aktivní a silné ministerstvo rozvoje. Došlo tehdy k velkému vývojovému skoku. Studium technologie byli pověřeni bratři Akio a Makoto Yamakadovi, kteří roku 1965 provedli dlouhou řadu podrobných pokusů a výsledky si patentovali. Svými výzkumy přispěli zejména k upřesnění funkce trysek monitoru a k užívání tlakové vzduchové obálky paprsku tryskání na podporu jeho účinnosti, ale stejně tak k efektivní konstrukci vrtacího a tryskacího monitoru, který zůstal přes různé modifikace typickým nástrojem po další desítky let (obr. VI. 44).



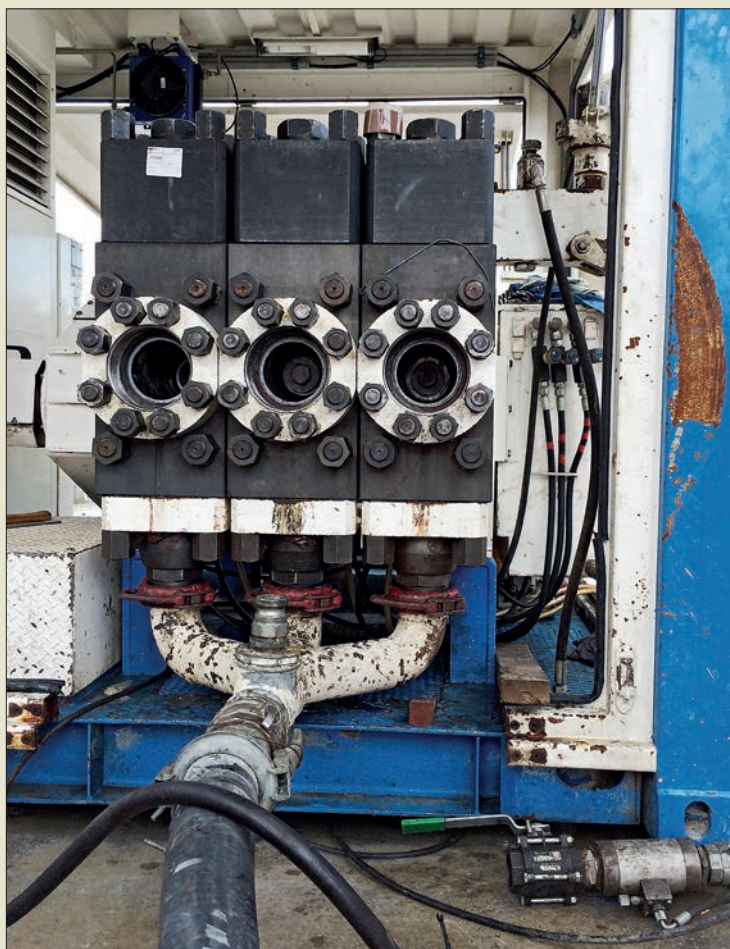
*Obr. VI. 44:
Ustálený tvar
vrtacího monitoru
pro jednofázovou
tryskovou injektáž
při kontrole
tryskání před
zahájením prací
na stavbě firmy
Rodio roku 1985*

Následně odvodily v Japonsku různé firmy ze státem poskytnutých podkladů sedm variantních metod tryskové injektáže. Roku 1972 pak prezentovali T. Yahiro a H. Yoshida jejich přehled na 8. konferenci ISSMFE v Moskvě a odstartovali tím živý mezinárodní zájem o novou metodu. Trend vývoje již v následujícím roce dále podstatně ovlivnil italský geotechnický dodavatel Romano Colia, který jako první experimentoval s tehdy už velmi vysokými tlaky 35 MPa. A roku 1975 uveřejnili oba uvedení Japonci spolu s K. Nishim v mezinárodním přehradním sborníku nejnovější praktické zkušenosti s těmito metodami. Na základě různých aplikací nakonec postupně došlo ke sjednocení tří hlavních variant metod tryskové injektáže podle jejich technologických faktorů. Vyhranily se následovně:

- **jednofázový systém** – používá pro tryskání jen jednu injekční kapalinu, obvykle cementovou suspenzi;
- **dvojfázový systém** – pracuje obdobně a využívá navíc podporu stlačeného vzduchu nebo samostatně řezání vodním paprskem;
- **trojfázový systém** – je při něm osamostatněno úvodní vysokotlaké rozrušování zeminy vodou s podporou paprsku vzduchem, a teprve za ním následuje výplň prostoru injekční směsí prováděná jen nižším tlakem.

V tomto období se také všeobecně vyjasnily technologické podmínky a parametry používání základních tryskacích médií – cementové suspenze, vody a vzduchu, spolu s rozměry trysek, používanými tlaky a průtoky, rychlostmi posunů soutyčů a otáčkami.

Zásadní roli začal též hrát výběr patřičných mechanizačních prostředků, zejména vysokotlakých a obslužných čerpadel. Pro tryskovou injektáž cementovou suspenzí byla zprvu používána **plunžrová vysokotlaká čerpadla**, běžně sloužící pro tlakové cementace naftových vrtů již od počátku 20. století. Jejich přímočinný píst je zároveň robustní písní tyčí, takže lze lépe řešit častou údržbu tlakové ucpávky. Ale až v sedmdesátých letech byla tato čerpadla u specializovaných výrobců transponována pro větší objemy, jež vyžadovala trysková injektáž ve stavebnictví. Velmi rychle se pak ustavila jako naprosto klíčový stroj této nově vyvinuté metody speciálního zakládání (obr. VI. 45).



Obr. VI. 45: Robustní trojité tělo vysokotlakého čerpadla firmy Soilmec pro tryskovou injektáž s odkrytými hlavami plunžrů pro maximální pracovní tlak až 90 MPa a s širokým přívodem injekční směsi pro maximální dodávané množství až 600 l/min., počátek 21. století



Obr. VI. 46: Pohled do vnitřku hadicového čerpadla firmy Bauer Maschinen na husté stavební kaly se zřetelnými rotačními excentry tlačícími na hadici při vnitřním obvodu skříně



Obr. VI. 47: Zkušební pole s odkopanými sloupy pro zavádění technologických systémů tryskové injektáže firmy Bauer roku 1983

Obr. VI. 48: Zakládání pilířů nové železniční estakády Moggio Udine, probíhající údolní nivou řeky Felly, v jámkách vytvořených v kyprých náplavech s balvanů tryskovou injektáží italskou firmou Rodio roku 1983



Velice významný byl také doprovodný pokrok v objemovém čerpání cementem obzvláště zatěžkaných odpadních kalů. Pro dlouhodobě problémové čerpání suspenzí s velkým podílem pevných částic byl na začátku 21. století úspěšně zaveden zvláštní **typ peristaltických hadicových čerpadel**. Jejich princip si patentoval již v roce 1881 Eugene Allen ve Spojených státech. Používala se však převážně v lékařství pro čerpání aseptických látek. Až roku 1936 byla z tohoto systému v USA vyvinuta hadicová čerpadla betonové směsi. V Evropě je vyráběla ještě v osmdesátých letech německá firma Wibau. Prohrála ovšem konkurenční boj s mnohem výkonnějšími pístovými čerpadly dnešního typu Schwing či Putzmeister a ustoupila do pozadí. Takže když německá firma Bauer inovovala důvtipný princip pro efektivní čerpání stavebních kalů, zejména z tryskové injektáže (obr. VI. 46), uplynulo od původního vynálezu více než století.

Od konce sedmdesátých let začaly k dalšímu vývoji tryskové injektáže přispívat i velké evropské firmy, které ke svým vlastním inovacím usilovně zakupovaly licence na již vyvinuté technologie. A od začátku osmdesátých let převzala Evropa vývoj v širokém proudu konkurenčních subjektů. Všechny firmy na počátku zavádění této technologie prováděly rozsáhlé poloprovozní zkoušky na zkušebních polích. Upřesňovaly své vlastní postupy a volby kombinací s nejméně šesti a více hlavními parametry pro různé podmínky všech tří variantních metod. Vytvořené sloupky z tryskové injektáže bylo pak vždy třeba odkopat, podrobně proměřit a vyhodnotit (obr. VI. 47).

Časem se vyladřovaly různé technologické finesy, jako **předvrtávání** a **předřezávání** apod. Každá firma prohlašovala, že má něco trochu jiného, a odlišovala svůj „brand“ výrazně jiným názvem. Jisté je, že dokonalé zvládnutí tohoto komplexního technologického systému vyžadovalo nejen široké znalosti a nutné penzum zkušeností, ale také cosi, co



Obr. VI. 49: Pažení stavební jámy firmou *Fondazioni Speciali* v ideálních podmínkách štěrkové základové půdy pomocí sloupů tryskové injektáže o průměru 1,2 m v Itálii roku 1982



Obr. VI. 50: Podchycování základů rekonstruované budovy subvertikální tryskovou injektáží, prováděné v italské Parmě roku 1982

důrazem na technickou intuici hraničilo s uměním. Nutnou součástí takového odborného přístupu je i silné zanícení pro věc. Odtažitý a jen řemeslný přístup může vést k přehlédnutí vlivu některého z mnohačetných technologických faktorů a následně k poruše výsledného produktu.

Evropa měla v té době celou generaci výtečně připravených odborníků, vybavených bohatými dlouholetými zkušenostmi, mezi nimiž byla řada výrazných osobností. Zrovna koncem sedmdesátých let narazil obor na hranice využitelnosti injektáží kvůli tehdejším ekologickým restrikcím pro nové injekční směsi. Mohl proto plně vrhnout své síly na rozvoj nové slibné technologie. Evropský vývoj byl rovněž politicky ovlivněn italskými státními subvencemi pro podporu nových technologií k rychlé výstavbě plánovaných tras dálnic, metra a železnic (obr. VI. 48). Na těchto velkých stavbách nová metoda rychle dosáhla standardů průmyslové sériové výroby.

Italské firmy tak získaly dočasný krátký předstih před ostatními a udávaly další směr vývoje. Jejich následovníci měli ovšem výhodu, že se mohli vyhnout některým slepým uličkám. Zpočátku se totiž přistupovalo ke sloupům tryskové injektáže s jistou opatrností jako k jakýmsi novým druhům pilot (obr. VI. 49).

Potom ale poměrně rychle převážil odlišný přístup, který odpovídal návrhovým metodám zlepšení existující základové půdy. Výsledné **vlastnosti materiálu** prvku ze zeminy stmelené cementem jsou daleko variabilnější než standardní stavební materiál a musí se zvažovat význam průměrné hodnoty. Přitom průměrné pevnosti takového materiálu závisí nejvíce na druhu zeminy, v níž se pracuje. Je zde značný rozptyl hodnot od jílu po šterky zhruba v rozmezí od 2 MPa až po 15 MPa. Chování takto instalovaných bloků multiprvků v základovém prostředí je také odlišné od prvků klasicky vyrobených.

První stavební aplikace metody se od roku 1979 většinou prováděly pro dočasné zajištění výkopů stavebních jam, sesuvných svahů, jímků a hrází vodních staveb. Brzy byl rovněž objeven potenciál metody pro podchycování rekonstruovaných budov. To se výhodně spojovalo se zajištěním přilehlého výkopu nové stavební jámy a stalo se tak velmi typickou aplikací (obr. VI. 50).

V Itálii bylo rovněž zavedeno a široce využíváno zajišťování nadloží tunelů pomocí subhorizontální tryskové injektáže v jejich klenbě, vytvářející tzv. „deštníky“ pro ochranu následné ražby v nestabilních podmínkách základové půdy. Jako první ji provedla roku 1983 firma Rodio pro stavbu železničního tunelu Campiolo na trati Udine–Tarvisio (obr. VI. 51).

Podobné akce firma Rodio ještě několikrát úspěšně zopakovala a dominovala tak v osmdesátých letech na trhu se svým technologickým systémem **Rodinjet**. Italské firmy koncem sedmdesátých let rovněž rozšířily novou metodu do zemí Latinské Ameriky, zejména do Brazílie, a také do USA. Ve Spojených státech byla sice tato metoda poprvé použita již roku 1983, potom se ovšem její rozvoj značně zpomalil v souvislosti s tamní celkovou problematikou injektáží. K ní významně přispěly právě i některé neúspěšné akce s neobornou tryskovou injektáží.

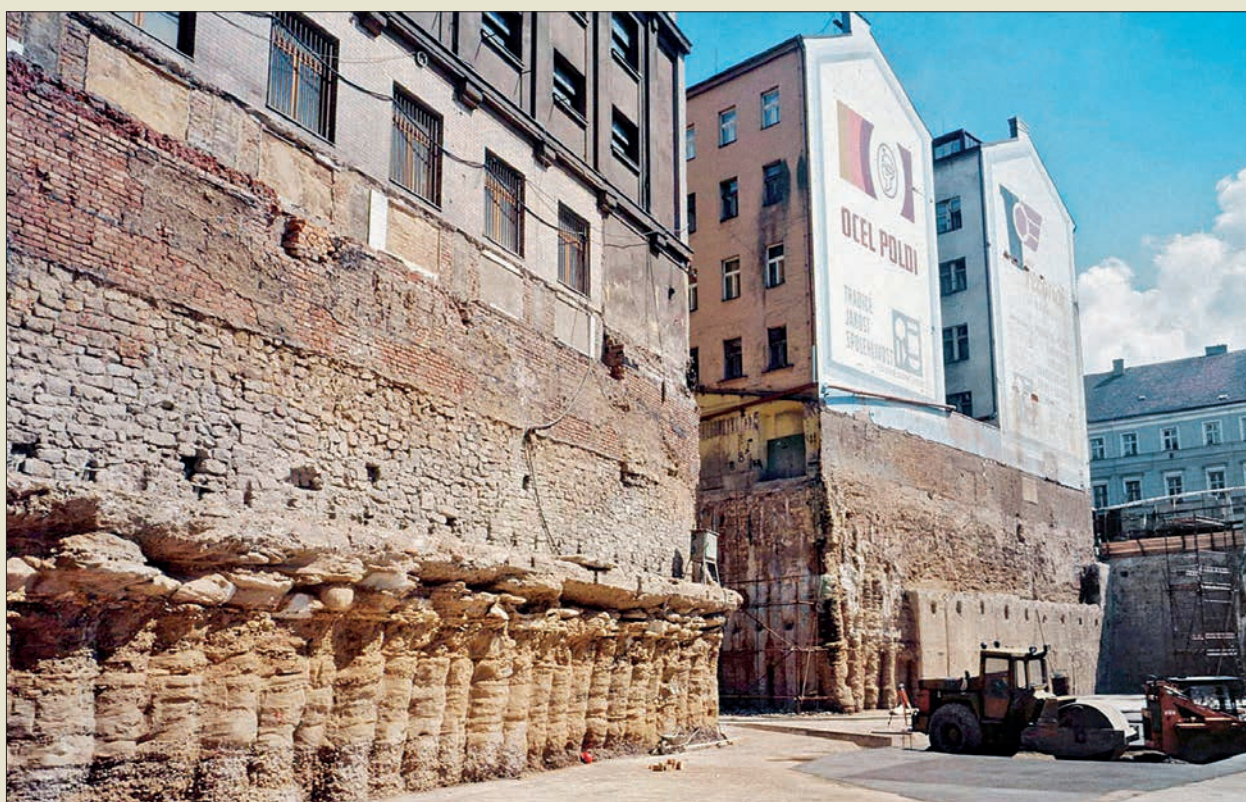
V anglicky a německy hovořících evropských zemích nastoupila na přední pozici této technologie v devadesátých letech firma GKN Keller. Soustředila se na využívání dvou- a třífázové metody, a to zejména pro vytváření základů a pažení stavebních jam. Právě ona nejuplněji uplatnila principy subvertikálních elementů z tryskové injektáže jako gravitačních opěrných stěn zapojených do spolupůsobení s okolní základovou půdou. Od samého počátku zdůrazňovala, že jde o metodu zlepšování základové půdy vytvářením masivních bloků z vytryskaných prvků. Po určitý čas si vytvořila konkurenční výhodu díky odvážným semiempirickým návrhovým a prováděcím postupům pro takto formulované zlepšení základových podmínek. Pro svůj výsledný produkt razila název **Soilcrete** (zemino-beton).



Obr. VI. 51: Zajištění nadloží pro ražbu tunelu Campiolo pomocí „deštníků“ ze 40 subhorizontálních sloupů jednofázové tryskové injektáže o délce 13 m firmou Rodio roku 1983



Obr. VI. 52: Výkopem obnažený kontrolní úsek těsnicí clony firmy Bachy z lamel tryskové injektáže roku 1993. Hloubka stěny byla 7 m, vzdálenost vrtů 3 m, úklon protínajících se lamel 45 a jejich tloušťka 15–35 cm.



Obr. VI. 53: Zajištění výkopu základové jámy současně s podchycením základů sousedních budov tryskovou injektáží pro výstavbu hotelu Renaissance v Praze roku 1990 (Zakládání staveb, a. s.)



*Obr. VI. 54:
Zkušební pole
se sloupy
tryskové injektáže
o průměru až
5,5 m zhotovenými
inovativním
postupem „V-JET
Technology”
japonské firmy JBP
roku 2013*

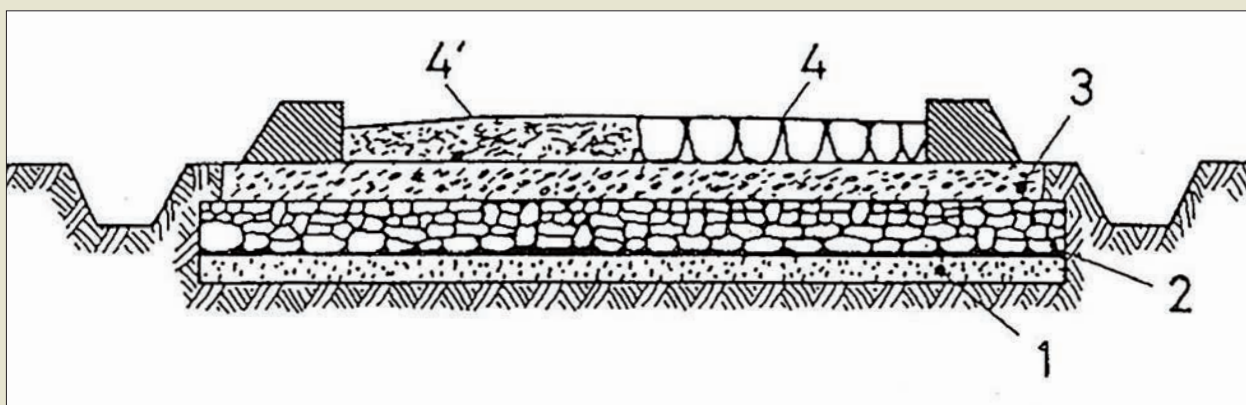
Francouzské firmy naopak dočasně poněkud uvízly ve svém technickém zaměření na exaktnější metody speciálního zakládání a zpočátku tak ztrácely ve využívání tryskové injektáže srovnatelné tempo. Výjimkou byla britská pobočka firmy Bachy, která dosahovala vysoké úspěšnosti v různých aplikacích tryskové injektáže, například i při realizaci náročných lamelových stěn (obr. VI. 52).

U nás byla první poloprovozní aplikace usměrněné tryskové injektáže realizována pro těsnicí clonu přehrady Josefův Důl v letech 1981 až 1985. Akci prováděl závod Speciální zakládání staveb podniku Vodní stavby. Vedl ji zkušený technolog Ing. **Jaroslav Verfel**, DrSc., který načerpal podněty z výše uvedené moskevské konference roku 1972. Byla to tehdy pro odborníky ze zemí RVHP zcela mimořádná příležitost, jak se osobně setkat a diskutovat se špičkovými odborníky ze světa. Uplatnil nové poznatky v rámci svých širokých znalostí a navrhl jejich použití v místních podmínkách. Tehdy bylo pro práce využito dočasně pronajaté cementační vysokotlaké čerpadlo z podniku Naftové doly Hodonín. Na základě získaných zkušeností pak roku 1988 závod SZS dosáhl povolení k nákupu licence k provádění tryskové injektáže od firmy Rodio. Od té doby byla tato metoda úspěšně praktikována i v tuzemsku (obr. VI. 53) a stala se postupně velmi využívaným všestranným nástrojem speciálního zakládání.

V následujících desetiletích probíhal další rozvoj technologicky již ustálené metody tryskové injektáže způsobem, který byl obvyklý i u jiných technologických systémů. Jednalo se o plynulý vývoj v rámci vzájemného konkurenčního soutěžení předních světových dodavatelů. Intenzifikace spočívala zejména v dosahování co největších průměrů sloupů, takže bylo možné speciálně upravenými postupy dosahovat průměrů až několika metrů (obr. VI. 54). Otevřelo se tak aplikační pole pro zřizování konvenčních základů k přenosu svislého zatížení dokonce i pro výškové budovy. S tím souvisel i vývoj monitoringu operací a kontrolních metod, zvláště pro průběžné ověřování dosahovaného geometrického tvaru zřizovaného prvku již v průběhu provádění.

SOIL-MIXING

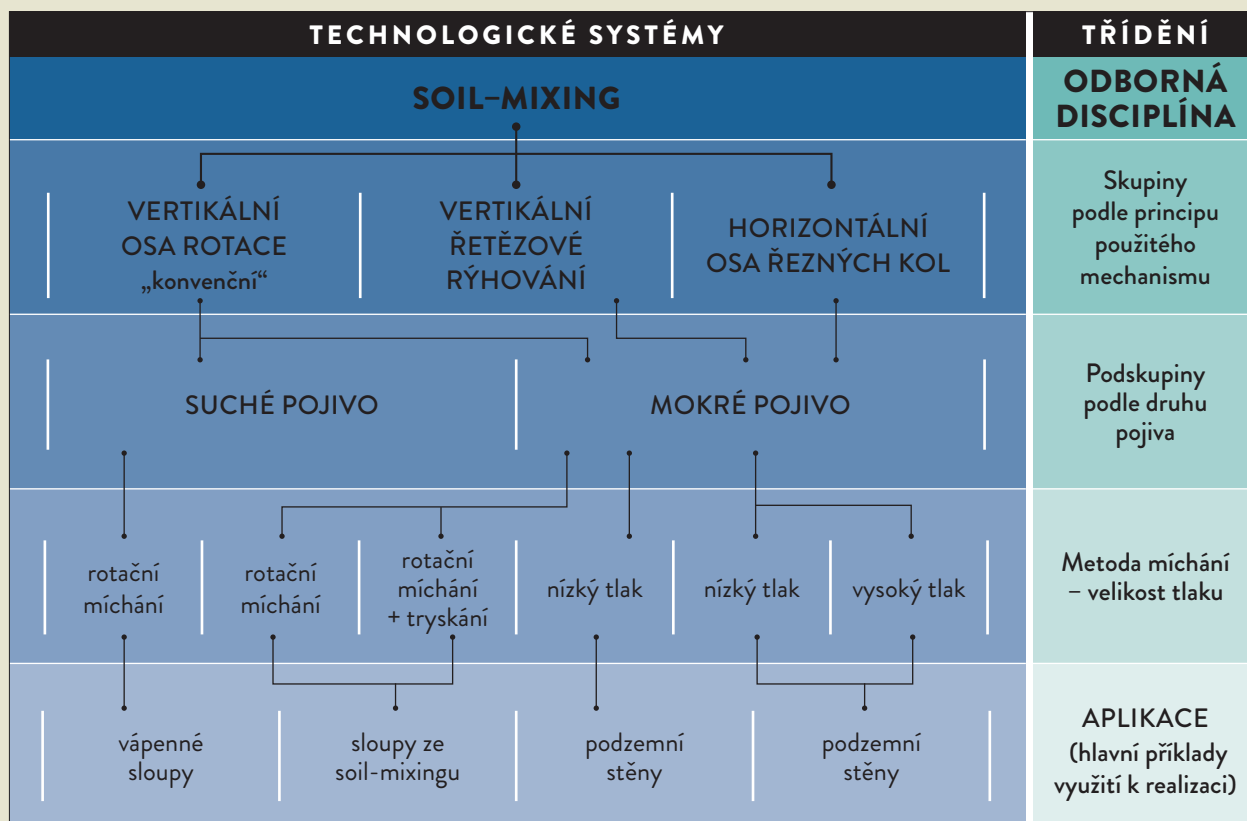
Metody **soil-mixingu** patří také do třídy metod zlepšování základové půdy odvozených od technologií injektáže. Souvisí s nimi sice jen částečně, protože se používají i jiná než jen kapalná média, ale obecně se uplatňuje primární účín tlakového dodávání pojiva do základové půdy. Jednoduše jde o technologie, které různě kombinují systémy **mechanického vpravování a promíchání** pojiva vytlačeného z nástroje do hloubky v základové půdě.



Obr. VI. 55: Typický řez starořímskou vozovkou. Prvním principem byly hluboké odvodňovací příkopy. Těleso konstrukce pak sestávalo ze souvrství o celkové tloušťce 1,4–1,5 m, viz: 1 – vyrovnávací malta na vrstvě písku 20–30 cm; 2 – bloky a desky kamene na cementovou maltu 30–50 cm; 3 – štěrka a úlomky kamene smíchané s vápnem 30–50 cm; 4 – kamenné desky na cementovou maltu nebo štěrkový beton.

Většinou pro tuto metodu svět přejal anglický název Deep-Soil-Mixing (DSM), ale české názvosloví se dosud neustálilo. Navrhovaný překlad hlubinné vmíchávání je technicky nedostatečně výstižný a pro praxi nelibozvůčný. Takže se zde přidržíme v odborném žargonu nejčastěji užívaného zkráceného označení soil-mixing.

Historické kořeny této metody sahají až do starověku, kdy se před několika tisíci lety přimíchávalo vápno do zemin pro podklad důležitých vozovek nebo vrstev zemních valů sakrálních staveb. První stopy používání vápna ve stavebnictví pocházejí z Jordánska již z 8. tisíciletí př. n. l. Se zlepšováním vápnem se také třeba stavělo zemní jádro Velké čínské zdi



Obr. VI. 56: Utřídění technologických systémů v odborné disciplíně SOIL-MIXING



Obr. VI. 57: Dlouholetou praxí osvědčený typ soupravy pro SMW s trojitým paralelním vrtákem o průměru 86 cm a dosahem do hloubky 20 m; metoda japonské firmy Seiko na počátku osmdesátých let

od 3. století př. n. l. Jiným příkladem je mísení zemin s bitumenem pro podklad cest v novobabylonském paláci krále Nabopolassara v 7. století př. n. l. Systematicky obdobné zlepšování už prováděli staří Římané při stavbě slavných trvanlivých silnic v 1. století i s příměsmi pucolánových zemin nebo sopečné strusky. Tento případ je ostatně i zajímavým příkladem zapomenutí dávno zavedené výtečné technologie, a to na téměř dva tisíce let po rozpadu říše římské (obr. VI. 55).

Znovu se předchůdkyně metody soil-mixingu objevila až za obou světových válek při naléhavém provizorním zlepšování povrchů letišť a jiných komunikací spojeneckých vojsk. Do zeminy se tehdy plošně zaorávala pojiva z vápna nebo cementu. S poválečným nástupem výkonnější mechanizace se začalo na konci čtyřicátých let v silničním stavitelství v USA experimentovat s prvními rotavátory a zapojila se i geotechnická teorie. V šedesátých letech se pak při nedostatku vhodného kameniva tato metoda ujala naplno. Technologicky se standardizovala a rozšířila do celého světa pod názvem **úprava zemin** podkladu vozovky. Podle pozdějších normových definic zahrnuje úprava jak výsledné zlepšení zeminy, tak i její stabilizaci. Existence této povrchově zaměřené technologie byla následně impulzem pro její hlubinné použití.

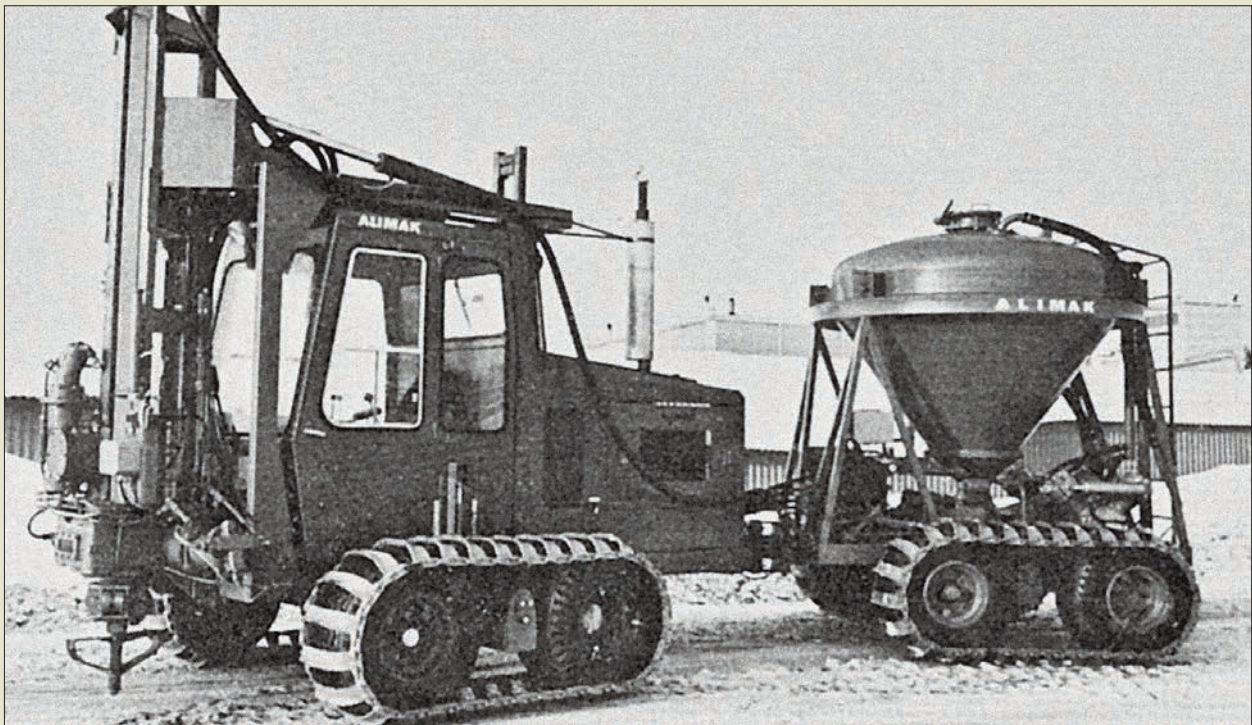
Na rozdíl od poměrně ucelené metody pro provádění povrchových dopravních konstrukcí se v oboru speciálního zakládání technologické systémy soil-mixingu rozvětvily do velmi pestré rodiny. Rozvoj této disciplíny byl neporovnatelně komplikovanější. Například se experimentovalo s třiceti rozličnými hydraulickými pojivy a nepočítaně dalšími přísadami, stejně jako s různými druhy prováděcích zařízení. Projevil se tu ovšem také příznak typický pro konec 20. století, kdy na opačných koncích zeměkoule pracovaly na stejném úkolu kolektivy odborníků obdobně motivované politickou, a tedy i finanční státní podporou. Přes oficiální vyhlášení globální spolupráce ve vědě své výsledky vzájemně nesdílely, například Japonci a Švédové.

S odstupem od dějinných peripetií jsou dále pojednávány technologické systémy uspořádaný zjednodušeně a přehledně podle hlavních principů a faktorů na obr. VI. 56.

Počátek vývoje odstartovala roku 1954 americká firma Intrusion Prepakt, známá vynálezem předchůdce pilot CFA ve čtyřicátých letech (viz str. 91). Začala experimentovat s promícháváním zeminy průběžným **spirálovým vrtákem** při současném tlakovém dodávání vápenné či cementové suspenze. Ve Spojených státech se tato nová technologie příliš neujala, zakoupenou licenci však při své poválečné výstavbě úspěšně rozšířili Japonci. Roku 1961 již touto technologií provedla firma Seiko Kogyo více než 300 000 metrů těchto zvláštních pilot. A pokračovala v intenzivním vývoji, který měl pro budoucnost této disciplíny klíčový význam. Předně zavedla vrtné soupravy s mohutným krouticím momentem, schopné dosáhnout průměrů 60 cm a hloubek do 20 m s účinným promícháním. Roku 1971 dále vyvinula pro aplikace podzemních stěn soupravu s multivrtací baterií, sestávající z paralelních dvou až tří vrtacích dřívků v řadě na jednom nosiči (obr. VI. 57). Takto vzniklé vertikální lamelové prvky byly vzhledem k menšímu počtu dělicích spár výhodné i pro zřízení průběžných podzemních stěn. Byla také zavedena výztuž takových pažicích elementů z dodatečně zavibrovaných ocelových I-profilů. Pro metodu se ujal název Soil-Mixed-Wall (SMW) a jen během prvních deseti let od jejího obchodního nasazení roku 1976 byla úspěšně uplatněna na více než tisícovce projektů.

Uvedených prvotních zkušeností se chopil již roku 1967 japonský Výzkumný institut přístavů (PHRI) a zahájil rozsáhlý výzkum využití této metody pro úpravy měkkých mořských zemin, ovšem pro aplikace pod vodou pochopitelně „suchým“ postupem s dodáváním **praškového** vápna na břit nástroje. Vedoucími vývojového týmu byli inženýři T. Okumura a M. Terashi. Roku 1974 již metodu průmyslově využívala firma Fudo Construction na přístavních stavbách v měkkých mořských základových půdách nejen v Japonsku, ale i jinde v jihovýchodní Asii.

Obdobný proces probíhal od roku 1967 souběžně ve vzdáleném Švédsku z iniciativy inženýra Kjelda Pauluse z firmy **Linden-Alimak** na podkladě jeho vlastního pozorování původního soil-mixingu v USA. Švédové od počátku vsadili na „suchou“ metodu s nehašeným vápnem, která nejvíce vyhovovala jejich potřebám stabilizovat velmi měkké



Obr. VI. 58: Švédská samohybná jednodřívková souprava vrtačky a připojeného pneumatického zásobníku vápna Linden-Alimak LPS-3 do těžkého terénu pro provádění vápenných pilířů o průměru 0,5 m a hloubky do 10 m z roku 1977

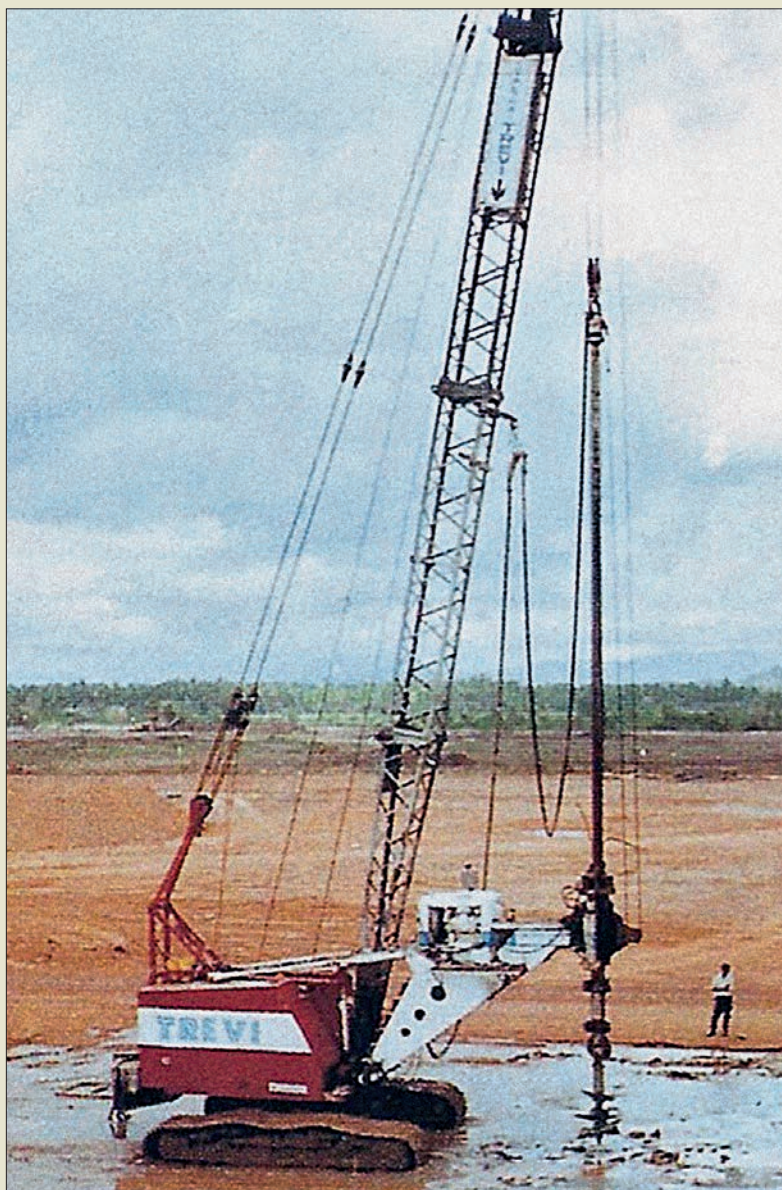


Obr. VI. 59: Souprava systému Colmix firmy Bachy s dvěma protiběžnými spirálovými vrtáky pro soil-mixing o výsledné tloušťce tělesa podle parametrů režimu od 410 do 875 mm, nasazená roku 1987 na sanaci náspu rychlodráhy TGV ve Francii

jíly v bažinatých oblastech. Roku 1974 zavedli pod vedením profesora **Bengta B. Bromse** z Geotechnického Institutu metodu **vápenných pilířů** do praxe (obr. VI. 58). Princip tohoto výrobního schématu se během následujících desetiletí v zásadě nezměnil, byť byl podstatně vylepšen pro dosažení vyšších prováděcích parametrů.

Roku 1975 tak japonští a švédští odborníci přednesli na konferenci v indickém Bangalore ke svému vzájemnému překvapení velmi podobné příspěvky. Jejich odlišné zacílení mělo ovšem své logické důvody. Japonsko jako hustě zalidněná země s pestrou geologií se orientovalo na intenzivní přestavbu válkou zrušovanou země. Proto potřebovalo mohutné a výkonné stroje k výstavbě rozsáhlých průmyslových, obytných a dopravních celků, navíc zejména v geotechnicky náročných pobřežních oblastech. Švédové se zase zaměřovali jako země řídké osídlená, převážně hornatá a válkou nedotčená na projekty rozvíjející povětšinou lineární stavby infrastruktury. Tam se nárazově střetávali s problémy plošně a hloubkově menšího rozsahu, například při nutnosti překročit území s výskytem měkkých jílovitých náplavů a rašelinových půd. Proto vystačili s jednodřívovými a spíše snadno pohyblivými a transportovatelnými prováděcími soupravami. Z těchto podmínek se pak odvíjely tak odlišné cesty vývoje.

Dosažené výsledky podnítily v Japonsku další výzkum použitých technologií. Roku 1975 ověřil PHRI „mokrou“ metodu, tedy s cementovou **suspenzí**, z níž se během pěti let vyvinula řada modifikací. Následující rozvoj zásadně inspirovala souhrnná zpráva o těchto nových metodách, kterou přednesl roku 1981 na konferenci ISSMFE ve Stockholmu americký profesor **J. Mitchel**, a zároveň ho urychlila všeobecně dosažená úroveň nabídky speciálních, vysoce výkonných mechanizačních prostředků pro zakládání, neboť robustní účinné míchání byl důležitým technologickým faktorem.



Obr. VI. 60: Na stavbě Bang Saphan v Thajsku zvolila roku 1992 firma Trevi pro dané podmínky písčitojílovitých náplavů „suchý“ způsob jednodřívového soil-mixingu metodou Trevi-Mix. Sloupy o průměru 100 cm s hloubkami 8–15,5 m prováděla upravená konvenční pilotovací souprava Soilmec RTS-3 s pevným rotačním stolem a křídlovým míchacím nástrojem.

Švédská firma Linden-Alimak během několika málo dalších let zavedla prakticky v celé Skandinávii svůj model „suchého“ technologického systému s jednodřívovými soupravami. Ve Finsku z nich ale později vyvinuli pro potřebu rozsáhlejší poválečné výstavby vlastní hybridní modifikaci, která již dosahovala při průměru 80 cm hloubek přes 20 m.

Úspěšná japonská expanze do světa vyvrcholila roku 1986 ustavením pobočky firmy Seiko Kogyo pro „mokrou“ metodu SMW ve Spojených státech. Získala zde velké projekty, jako například seismické zajištění přehrady Jackson Lake ve státě Wyoming roku 1987. Zároveň se však již v té době začaly prosazovat s vlastními modifikacemi i první evropské a americké firmy. Na začátku osmdesátých let vyvinula svůj „suchý“ systém s jediným spirálovým vrtákem britská firma Cementation. A roku 1987 zavedla svůj „mokrý“ systém Colmix s baterií dvou až tří protiběžných paralelních spirálových vrtáků francouzská firma Bachy (obr. VI. 59).

Během několika let vyvinuly své verze soil-mixingu také další firmy, zejména evropské Keller, Rodio, Bauer a Trevi, nebo americká Geo-Con. Většina jich začínala se strojním zařízením z jednodřívových, převážně jen mírně upravených pilotovacích vrtných souprav s nástroji z jednoduchých míchacích křídel (obr. VI. 60).

V posledním desetiletí 20. století tyto firmy dohnaly vývojový náskok Japonců. Rozběhl se rozsáhlý a zároveň velmi spletitý vývoj dalších verzí technologických systémů, které byly modifikovány podle odlišných konkrétních okolností

místní potřeby. U systémů vertikální rotace byly vyzkoušeny různé druhy míchacích nástrojů a soupravy s multibateriemi vrtných dřívků nebo i s protiběžným mícháním křídel na jednom dřívku. Japonská firma Raito Kogyo dokázala na počátku 21. století zvýšit výrobní kapacitu metody používáním dokonce šestidřívkové vrtací baterie (obr. VI. 61).

Od dosavadního konvenčního vertikálního systému míchání zeminy se na počátku devadesátých let odvinuly i nové technologie využívající odlišný **horizontální princip** osy rotace nástroje míchání. Tak se například pro určité homogenní základové podmínky osvědčily i technologické systémy, které pro aplikace podzemních stěn adaptovaly stroje svislého **řetězového rýhování**. V Japonsku zvolila roku 1993 firma Seiko Kogyo cestu svislé řetězové frézy známé jako TRD, zasouvané na počátku hloubení do předem připraveného velkopřůměrového vrtu. Tato zařízení byla po dalším vývoji schopna ve vhodné základové půdě proniknout až do hloubek 60 m. V Německu zase rozvíjeli od roku 1994 strojní zařízení známá z provádění rýh pro hloubkové horizontální drenáže, označovaná nyní jako soil-mixing FMI. Ty pak dosáhly až do hloubek 25 m (obr. VI. 62). Obdobná zařízení vyvinuly i další firmy.

Na začátku 21. století byla pro metodu soil-mixingu speciálně vyvinuta i technologie přímo odvozená z metody těžby podzemních stěn na principu **hydrofrézy** s horizontální osou řezných kol. Ponorný řezný agregát ovšem musel být adaptován tak, aby ho promíchaná zemina při vytahování obtékala a přitom neustále vyplňovala rýhu. Roku 2004 představily dvě nejzkušenější firmy v této oblasti, Soletanche-Bachy a Bauer, společnou soupravu CSM (Cutter Soil Mixer), kterou následně úspěšně používali dodavatelé po celém světě (obr. VI. 63).



Obr. VI. 61: Šestidřívková vrtací a míchací baterie soupravy pro soil-mixing americké pobočky firmy Raito Kogyo na konci první dekády 21. století



Obr. VI. 62: Řetězová fréza typu FMI pro soil-mixing německé firmy Allcon během stabilizace železničního tělesa St. Wendel do hloubky 9 m při tloušťce 0,5 m roku 2014



Ve vhodných základových podmínkách našly vyrobené, materiálově úsporné a přiměřeně homogenní elementy všestranné využití (obr. VI. 64). A to například i pro aplikace dočasného pažení stavebních jam s výztuží z dodatečně zavibrovaných ocelových prvků.

Obr. VI. 63: Hydrofréza pro soil-mixing CSM na nosiči Bauer BG22 ve verzi s úpravami firmy Soletanche-Bachy pro elementy 2,4 x 0,5 m nebo 2,8 x 1,2 m roku 2009

Obr. VI. 64: Ukázka vytěženého vzorku elementu soil-mixingu zhotoveného hydrofrézou typu CSM na zkušebním poli firmy Bauer roku 2009



Na vzdáleně podobném principu frézování byl v Japonsku vyvinut technologický systém **mělkého soil-mixingu** s dvěma rotačními kuželovými hlavicemi na konci výložníku hydraulického rypadla. Hloubkový dosah byl sice relativně menší, ale daly se tak velmi výhodně zřídít rozměrné deskovité bloky in-situ (obr. VI. 65).

Jiným vrcholem modifikace soil-mixingu byla u metody vertikální rotace **kombinace s technologií tryskové injektáže**. Vysokotlaká injektáž pojiva vhodně umocnila účinnost promíchání pro dosažení větších



geometrických rozměrů a vyšší kvality prvků. Začali ji zkoušet Japonci v roce 1984 a roku 1992 ji tamní firma Fudo zavedla do praxe. V Evropě s ní poté začala experimentovat italská firma Rodio a po jejím úpadku převzala zkušenosti jiná italská firma Trevi. Ta postupně přes několik zkušebních verzí uvedla metodu do provozu pod názvem Trevi-Jet (obr. VI. 66).

Obr. VI. 65: Souprava finské firmy Allu s frézovou míchací hlavicí na výložníku hydraulického rypadla při provádění „suché“ metody roku 2011



Obr. VI. 66: Souprava Soilmec SR-90 s dvojitým vrtákem systému Trevi-Jet při práci na zpevnění protipovodňové hráze v New Orleansu roku 2009. Prováděly se elementy ze sloupů o průměru 1,6 m do hloubky 24,4 m.

Ve své době byly inovativní varianty uvedených systémů vyzdvihovány jako univerzálně nejlepší, avšak výsledek vždy závisel na přizpůsobivosti metody daným okolnostem, především na schopnosti zeminy účinně se poddávat zvolenému postupu promíchání. Ve srovnání s metodou tryskové injektáže bylo od samého počátku atraktivní, že je takto možno dosahovat uniformnějších rozměrů prvků, vyšší homogenity jejich materiálu i vyšších průměrných pevností (obr. VI. 67).

Velkou roli hraje u soil-mixingu také vyšší měrná produktivita na objem vytvořeného prvku při značné minimalizaci odpadu. Trvalým aspektem však zůstalo, že i na tuto disciplínu bylo obecně pohlíženo především jako na metodu hlubinného zlepšení základové půdy vytvářením elementů zpevněného prostředí spolupůsobících in-situ.

Tržní poptávka po zmíněných efektivních výhodách podnítila jejich pestrou technologickou nabídku na mnoha místech ve světě. Příkladem je velký podíl na trhu speciálního zakládání v Polsku na počátku nového století. Tam se také dobře uplatnily aplikace pro konvenční zakládání na kombinaci těchto bloků v lokální základové půdě. U nás však vzhledem k převládajícímu výskytu hrubozrnné kvality základového prostředí v dané geologické situaci území příliš velké

Obr. VI. 67: Porovnání tvarů odkopaných výsledných elementů z trojfázové tryskové injektáže (vlevo) a z kombinace soil-mixingu s tryskovou injektáží systémem Trevi-Jet na zkušební poli pro rekonstrukci přehrady Tuttle Creek v americkém Kansasu roku 2007





Obr. VI. 68: Lehké ruční beranění relativně krátkých dřevěných pilot ve velmi těsných roztečích v základovém prostředí nekonsolidovaných mořských náplavů v Benátkách v 18. století

uplatnění nenalezly. Prvně byla u nás technologie soil-mixingu použita při založení administrativního centra Titanium v Brně firmou Keller roku 2008. V písčité zemině zde byly provedeny jednodřívkovou soupravou a mokrou metodou sloupy o průměru 60 cm do hloubky 4–6 m.

SLOUPOVÉ INKLUZE

Velmi mladý soubor metod, které byly definovány pod tímto názvem (rigid inclusions) poměrně nedávno. Jejich zrod se přímo odvinul od určité aplikace technologie injektáže, při níž bylo pro vznik souvislé **tuhé slouповé inkluze** využito nízkotlaké vtlačování pojivového materiálu do svislého otvoru zhotoveného vrtem. Inovace spočívala ve vytvoření nového **kompozitního bloku inkruzemi vyztuženého podzákladí**. Tím mělo být dosaženo schopnosti zajistit v samostatně málo únosné základové půdě nejen požadovanou únosnost, ale hlavně uniformní i poměrně nízké sedání. V praxi se prokázalo, že to funguje, a princip těchto metod zobecněl a rozšířil se i při využívání dalších instalačních technologií. Dodatečně se tak do tohoto souboru zahrnují i různé starší a kombinované technologické systémy, z nichž některé ani injektáže nepoužívají.

Inspiraací pro tuto inovativní koncepci byl vlastně dávný způsob tradičního pilotového zakládání v samých jeho počátcích před několika tisíci lety. Tehdy byly pro jezerní obydlí zaráženy do nekonsolidovaných náplavů dřevěné kůly hustě vedle sebe. V průběhu dějin se pak tato idea občasně využívala ve zvláště obtížných podmínkách na různých místech světa, třeba v předhispánské době v Mexiku. Masivním příkladem její aplikace je výstavba Benátek v jadranském zálivu od 5. století. Původní obyvatelstvo této části římské říše uprchlo před nájezdy barbarů ze severu pevniny do mořských bažin se stovkou ostrůvků, bezpečně vzdálených od pobřeží. Nouze je donutila vyvinout pro tak nehostinné prostředí



Obr. VI. 69: Speciální roztlačovací vrták technologického systému původní metody CMC použitý firmou Soletanche-Freyssinet/Ménard ve zvodnělých heterogenních násypch a měkkých organických jílech až do hloubky 30 m na stavbě rezidenčního komplexu v New Yorku roku 2004

vhodný způsob trvalého přežití a postupně zde vybudovali pozdější největší středověké město. Jeho stavby jsou vesměs založené na skupinách těsně blízko sebe zaražených krátkých dřevěných pilot plovoucích v mocných, velmi různorodých náplavech (obr. VI. 68).

Pro technický vývoj k vytvoření metody kompozitních základů ale nebyly dlouho k dispozici výkonnější technické prostředky, natož návrhová teorie. V moderní době zase tento směr uvažování zpočátku zastínil obdiv k efektům těžké mechanizace a vysoké únosnosti jednotlivé piloty. Původní stará myšlenka základu ze skupiny štíhlých prvků se vynořila jako inovativní nápad až při zvažování, jak spojit získanou vysokou produktivitu strojů s požadavky na výrazně nižší materiálovou nákladovost založení stavby.

Prakticky se začala idea kompozitního základu částečně projevovat již ve dvacátých letech minulého století u metody zřizování pískových a štěrkových pilířů využitím těchto snadno dostupných a levných materiálů. Nejprve to bylo při aplikaci technologie ražení Franki a později i u průchozích ponorných vibrátorů (viz kapitola III., str. 29 a 32). Tyto pilíře však ještě nejsou těmi pravými zástupci sloupových inkluzí, protože jejich tělesa jsou z dezintegrovaného materiálu, a pro mobilizaci své funkce proto vyžadují boční oporu základové půdy, zatímco inkluze nikoli. Mechanismus jejich interakce se základovou půdou je tedy odlišný a svébytný (viz str. 228).

Sloupové inkluze byly odvozeny z těchto starších souvislostí a z nových zkušeností s pozdějšími technologiemi injektáží. Jsou sice nevyztužené, ale musí být ze soudržného, pevnějšího materiálu, který vytvoří cementová suspenze nebo malta, aby zcela nezávisely na okolní velmi měkké zemině. Úvodní teorii chování takovýchto základových prvků vypracoval z prvních úvah a experimentů roku 1988 francouzský inženýr **Olivier Combarieu**. Do praxe ji pak plně uvedla roku 1994 francouzská firma **Ménard Soil Treatment**. Stalo se tak až poměrně dlouho po smrti jejího inovativního zakladatele Louise Ménarda

v roce 1978. Autoři pojmenovali svůj nový vynález **sloupy s řízeným modulem** (Controlled Modulus Columns – CMC). Jednalo se v podstatě o technologii zavrtávané výpažnice vedené speciálním roztačovacím vrtákem. Vrtná kolona byla při vytahování řízeně plněna tlakem cementové směsi tak, že v průběhu uvolňování pažení vrtu byly z ústí vrtáku měkčí vrstvy prostředí více roztačeny (obr. VI. 69). Vytvářely se tím sloupy o proměnlivém průřezu 250–450 mm.

Tyto nové štíhlé základové prvky byly nevyztužené a instalované v poměrně malých roztečích cca 1–2 m. Byly výtečně využitelné v měkkých či kyprých stlačitelných základových půdách, obvykle pro plošné stavby s uniformním svislým zatížením. Tím, že byly integrovány svým pojivem i proměnlivým profilem do základové půdy a měly vyšší pevnost a tuhost než okolní zemina, došlo skutečně k výraznému zlepšení přenosu zatížení z konstrukce do půdy podzákladí. Výsledkem bylo snížení celkového sedání a vyrovnání jeho nerovnoměrnosti na ploše stavby.

U počátků této nové metody byli tedy francouzští odborníci, a proto také zásadně ovlivnili její pojmosloví. Jimi zavedené a dříve málo frekventované slovo „inkluze“ se rozšířilo i do jiných oblastí, takže se udrželo i pro tuto novou disciplínu speciálního zakládání. Po úspěšném prosazení metody se totiž začalo experimentovat i s dalšími technologickými variantami provádění. Byly vyzkoušeny různorodé technologie instalace a prvky od malého průměru 15–50 cm a více. Pro větší průměry jednotlivých prvků se výhodně uplatnily i dvě další technologie zlepšování základových půd vtlačováním pojiva – trysková injektáž a soil-mixing. V tabulce na obr. VI. 70 je uveden přehled aplikačních metod shrnující hlavní typy zřizování těchto inkluzí.

TYP TECHNOLOGIE – METODA
CMC – sloupy s řízeným modulem
Soil-mixing
Trysková injektáž
Zhutňovací injektáž
CFA sloupy
Ražená/vibrovaná dočasná výpažnice s botkou
Ražené a betonované sloupy průchozím vibroflotem
Ražené speciální dočasně pažící formové elementy

Obr. VI. 70: Přehled hlavních typů sloupových inkluzí ve speciálním zakládání staveb

Inkluze prováděné metodou CMC se v určitých podmínkách prosadily nejširěji, zejména svou technologickou jednoduchostí a robustností prováděcích prostředků (obr. VI. 71).

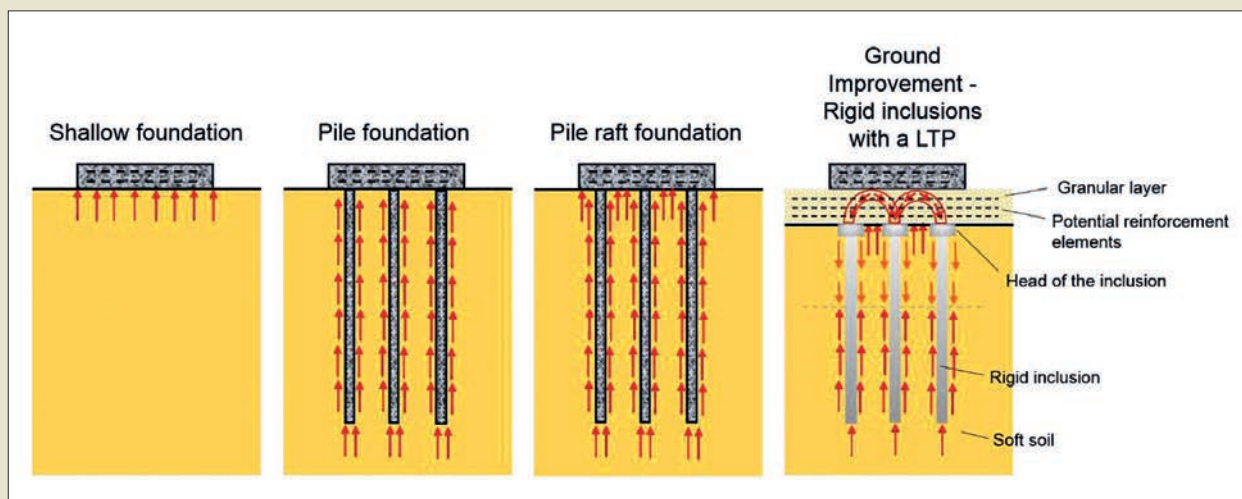
Velmi se též rozšířilo využívání technologických systémů na principu ponorného průchozího vibrátoru (vibroflotu – viz str. 33) s dvěma hlavními typy metod nazývanými podle konzistence čerstvého betonu buď **mokrý**, nebo **suchý způsob**. Při mokřím způsobu se používá začerpávání tekuté směsi do otvoru vytvořeného vibroflotem při vytahování s dočasně omezenou vibrací. Při suchém způsobu se plní vrt suchou směsí skipem a vibroflot ji při vytahování intenzivně opakovaně roztačuje vibrací (obr. VI. 72).



Obr. VI. 71: Typická technologická sestava robustního zařízení firmy Vibro-Menard k provádění sloupových inkluzí CMC z čerpané betonové malty roku 2010



Obr. VI. 72: Plnění skipu suchou betonovou směsí pro zhotovení betonových sloupových inkluzí technologií průchozího ponorného vibrátoru na pražské stavbě firmy Keller roku 2002



Obr. VI. 73: Konceptní obecné modely založení stavby. Na schématu sloupových inkluzí je v roznášecí vrstvě naznačeno vytváření kleneb přenosu zatížení (ISSMGE).

Ačkoli se zakládání na inkluzích podobá konvenční skupině pilot, je třeba zdůraznit existující zásadní rozdíly. Především v šíři uplatnění, kde oproti téměř univerzálním pilotovým skupinám je zakládání na tuhých inkluzích specificky vhodné do podmínek měkkých základových půd a pro plošné svislé zatížení. Tam ovšem ekonomicky vyniká v rychlosti provádění a ve výrazně nižších nákladech. Naprosto nejdůležitější rozdíl je však v návrhovém posuzování mechanismu chování, protože tuhé inkluze nepřenašejí zatížení z vrchní konstrukce do hlubších únosných vrstev jako piloty.

Doprovodná teoretická **koncepte zakládání na sloupových inkluzích** krystalizovala postupně a zpočátku byla dosti kontroverzní, proto je třeba ji náležitě osvětlit. Před nástupem této zvláštní koncepce se zjednodušeně uvažovalo, že založení může být obecně buď plošné, anebo na pilotách. Později se v závěru 20. století úvahy rozšířily i na spolupůsobení skupin pilot s plošným základovým roštem. Zcela nově se ale také začalo objevovat řešení komplexní interakce základové půdy, spolupůsobící se zlepšením sloupovými inkluzemi. Součástí tohoto systému, nazývaného někdy **kompozitní založení**, byla mnohdy i vyztužená roznášecí vrstva zeminy na povrchu terénu (obr. VI. 73). Obě posledně uvedené odlišné koncepce hlubinného zakládání se ovšem někdy v okrajových podmínkách dotýkají či překrývají, a sloupové inkluze se tak považují za jakousi hybridní alternativu ke skupinám plovoucích pilot.

Hlavní problém, který nastíněné inovativní uplatnění metod sloupových inkluzí v praxi přineslo, byl střet jejich poměrně vágních a chabě vymezených realizačních pravidel s dosavadními klasickými koncepcemi speciálního zakládání, spoutanými zejména u pilot do přísných standardů a předpisů. Je to další příklad toho, jak v posledních desetiletích prudký vývoj technologické praxe předbíhal teoretické a návrhové přístupy. Některým prováděcím firmám, které se této nové, bouřlivě prosazované zakládací disciplíně bystře chopily, například francouzské firmě Ménard nebo britské Keller, to přineslo znásobenou konkurenční výhodu. Je proto přirozené, že se tento segment speciálního zakládání na počátku nového století rozvíjel nejdynamičtěji. Potřebné kroky pro institucionalizaci návrhových a prováděcích postupů sloupových inkluzí se ale objevily až po deseti letech, nejprve ve Francii (ISRA 2012) a pak v Belgii a Nizozemsku, s návazností na aktuálně upravované zásady Eurokódů.

V tuzemsku tato disciplína našla vzhledem k převažující geologické situaci uplatnění jen v lokálně omezených a zvláště geotechnicky vhodných podmínkách. Jako první ji použila ve verzi betonových nevyztužených pilířů, zhotovených ponorným průchozím vibrátorem suchým způsobem, při výstavbě pražského prodejního centra Černý Most firma Keller roku 2002 (viz obr. VI. 72).

PÍSKOVÉ PILOTY A ŠTĚRKOVÉ PILÍŘE

V odborné disciplíně zlepšování základové půdy příměsmi mají historicky významnou pozici soubory metod využívající technologie pro náhradu málo kvalitní zeminy lepším materiálem písku nebo šterku. V klasifikaci ISSGE (viz obr. VI. 1) jsou zahrnuty do třídy C. Do této třídy jsou zařazovány rozmanité soubory metod s technologiemi zřizování sloupů či pilířů z materiálů, které nahrazují původní zeminu v místě vytvářeného vertikálního otvoru po jejím **roztlačení a bočním přemístění**.

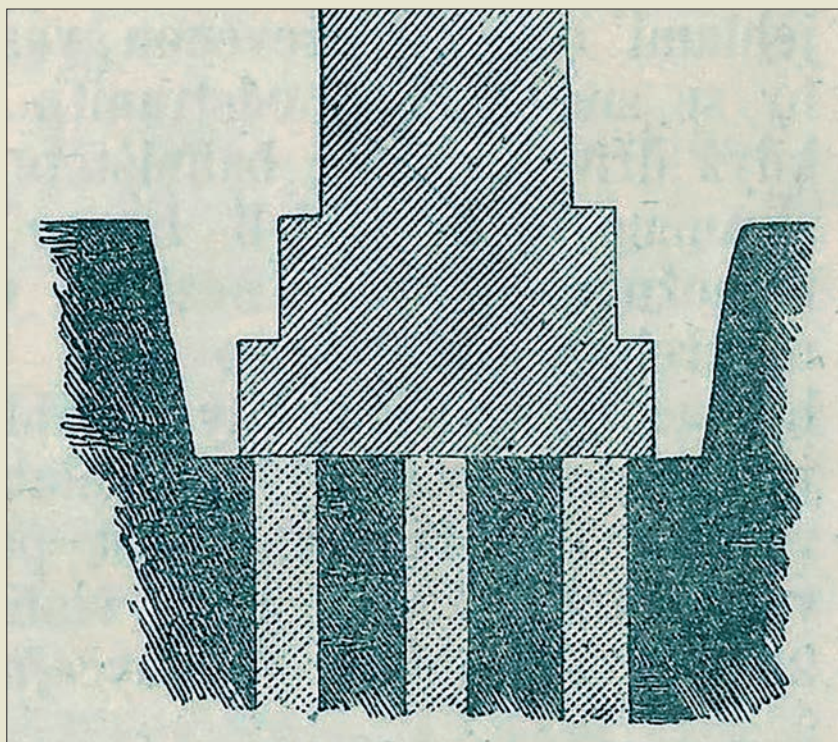
U těchto metod lze vysledovat historickou linku až do vzdálené minulosti. Samotná myšlenka využít pro zlepšení velmi měkké základové půdy jejího bočního roztlačení při současné náhradě jiným, lepším materiálem je velmi stará. Lze ji například vystopovat až do románského období starověku v bažinatých oblastech jižní Francie. Do měkkých jílu zde byly napěchovány velmi krátké dřevěné, kónicky rozšířené piloty a na hlavách zatěsněny jílem proti vysychání a hnilobě.

Pískové piloty

V průběhu staletí došlo u této idey k různým obměnám, takže například rakousko-uherská učebnice stavitelství z roku 1840 doporučuje užívat ve stlačitelných zeminách „... *takových prostředků... z nichž nejvydatnějším bývá skutečné stlačení země... což potom tak účinkuje, jakoby stavení na jehlách písečných spočívalo*“. (J. P. Jöndl)

Metoda tkvěla v zarážení jen metrových dřevěných kúlů, které byly ihned vytaženy a otvor byl zasypán hrubým pískem (obr. VI. 74). Bylo tak například založeno roku 1869 letní divadlo Na hradbách v Praze v místě dnešního Národního muzea. V té době se tam nacházel starý bastion městského zděného opevnění, jehož prostor byl vyplněn různorodou a neulehlou navázkou.

Podstatným krokem v tomto směru byl pak rozvoj beranění ocelových prvků na začátku 20. století, který vedl i k inovaci s předrážením výpažnic se ztracenou botkou (viz kapitola III., str. 29). Průkopníkem metody takto instalovaných **pískových zhutňovacích pilot** byl roku 1925 kalifornský inženýr **Daniel E. Moran**, spolupracovník slavného výzkumníka zhutňování zemin R. R. Proctora. Moran se inspiroval evropskými předráženými pilotami systémů Franki a VibroPile, jež byly vyvíjeny od desátých let. Vynalezl systém pro konsolidaci měkkých pobřežních jílu spojeným



Obr. VI. 74: Úprava měkké zeminy pomocí tzv. „písečných jehel“ s vyplněním otvorů vyražených dřevěnými kúlů hrubým pískem, použita roku 1869 v navázkách pro stavbu divadla Na hradbách v Praze



Obr. VI. 75: Jihokorejská těžká námořní plně automatizovaná souprava ESC-50 firmy Eunsung O&C pro provádění pískových zhutňovacích pilot s třemi výpažnicovými jednotkami o průměru 80 cm a s dosahem do hloubky 50 m pod hladinu roku 2010

účinkem nejen roztlačení, ale i drénování. Tyto účinky byly v roce 1923 vědecky zdůvodněny teorií konsolidace profesora Terzaghiho (viz část C této kapitoly, str. 250). Moranův nápad byl prvně použit pro výstavbu pobřežní komunikace k sanfranciskému mostu Golden Gate Bridge. Výplň byla provedena z hrubého písku do zaražených dočasných výpažnic o průměru cca 30–60 cm.

Evropské experimenty se více zaměřovaly na roztlačovací efekt silně hutněného pískového tělesa piloty. U Franki metody se tak sice dosahovalo obzvláště velkého bočního roztlačení, avšak nevýhodou byl zdoluhavý postup. Velmi slibně se ale tato metoda jevila pro potřebu konsolidace stále častěji se vyskytujících mezerovitých navážek. Evropský rozvoj tohoto směru však značně zbrzdila 2. světová válka a po ní se využívání těchto technologií obnovilo především pro běžné pilotování.

Japonci se v poválečném období této metodě naopak věnovali velmi specificky a intenzivně. Viděli v ní velkou budoucnost pro diverzifikaci své nové vertikální vibrační technologie. Hlavními rysy variant japonského technologického systému byl mohutný vibrátor, trvale svrchu nasazený na razicí výpažnici. Ta měla naspodu na břitu značně zesílený límec. Rozšířený břit významně přispíval k roztlačování zřizovaného pískového dříku do boku, při formování tělesa piloty vibračním hutněním, s opakovaným zapouštěním výpažnice. Těžké námořní soupravy užívaly větších průměrů výpažnic. Koncem století tak vytvářely s výpažnicí o průměru 1 m roztlačené pískové piloty o průměru až 2 m (obr. VI. 75).

Tato regionálně preferovaná japonská metoda byla zacílená na rozsáhlé námořní stavby a především na opatření proti ztekucení podzákladí při tamních častých zemětřeseních. Ovšem kromě Asie, kde ji převzaly koncem 20. století hlavně Jižní Korea a Čína, se do světa příliš nerozšířila. V jednoduché pozemní verzi se tato technologie například používala od sedmdesátých let ve vhodných podmínkách základové půdy v Indii (obr. VI. 76).

Obr. VI. 76: Jednoduchá technologie zřizování pískových pilot pomocí vibračně ražené výpažnice používaná od sedmdesátých let v Indii



U nás se prováděly šterkopískové piloty zhruba od roku 1975 v podniku Geoindustria metodou Franki. Roku 1984 pak zavedl závod SZS, Vodní stavby, do provozu soupravu vlastní konstrukce typu podobného pilotám Vibrex. Prvně byla použita k pokusné konsolidaci mezerovité navážky v podzákladě jeřábové dráhy pro přesun velkorypadla na výsypce Jana u Duchcova (obr. VI. 77).

Šterkové pilíře

Hlavní inovativní cesta vývoje této oblasti zlepšování základové půdy vedla přes využití dynamických účinků ponorných horizontálních vibrátorů. Jejich počátek se odvíjel od vynálezu ponorného vibrátoru (vibroflotu) pro zakládání roku 1934 (viz str. 32). Původní vynálezce vibroflotu **Wilhelm G. Degen** koncem padesátých let objevil, že s ním lze pracovat i v soudržných zeminách, ale pouze za pomoci intenzivního vzduchového výplachu. Tímto postupem zatlačování



Obr. VI. 77: Souprava pro zřizování předražených pilot s dieselberanem Delmag a vibrační elektricky poháněnou odpažovací objímkou vlastní konstrukce závodu SZS, Vodní stavby, na východoněmeckém nosiči RDK na stavbě u Duchcova roku 1984

Obr. VI. 78: Mokrý způsob zřizování štěrkových pilířů ponorným vibrátorem firmy Keller na stavbě rozsáhlého bytového komplexu Al Khobar v Saúdské Arábii koncem sedmdesátých let. Tuto úpravu vyžadovalo písčité souvrství podzákladí o hloubce 4–8 m, které obsahovalo nezhutnitelné čocky siltů.



s dynamickým **bočním roztláčením** zeminy bylo možno vytvořit svislou dutinu obdobnou vrtu. Při **suchém svrchním plnění** hrubým štěrkem a po jeho dobrém zhutnění byl původní objem měkké zeminy nahrazen pevnějším **štěrkovým pilířem**. Postačilo tak dodávat plynule štěrk do ústí vytvářené dutiny z povrchu terénu. Tento vynález rozšířil možnosti aplikací technologického systému ponorné vibrace směrem ke dvěma novým významným metodám.

Obr. VI. 79: Strojní plně hydraulická souprava HBM 4 firmy Bauer z roku 1988 pro provádění štěrkových pilířů do hloubky až 12 m



Obr. VI. 80: Přídavný hydraulický průchozí ponorný vibrátor firmy Soletanche-Bachy zvaný „stitcher“, nasazený na konvenční hydraulické rypadlo při provádění štěrkových sloupů o hloubce 4–6 m pro zlepšení jílovitého podzákladí pod násypem opěry mostu na stavbě dálnice D8 v ČR roku 2004

Nejprve, na začátku šedesátých let, zpětně ovlivnil původní metodu hlubinného vibroflotačního zhutňování písčitých zemin s vodním výplachem (viz část C této kapitoly, str. 250), z níž byla odvozena nová jednoduchá metoda tzv. **shora vyplňovaných mokrých štěrkových pilířů**. Byla v těchto zeminách prakticky ihned využitelná. Postačilo k tomu jen vhodně použít stávající zařízení a uplatnit potřebné zkušenosti k novým postupům. Značnou nevýhodou ovšem bylo, že tyto práce vyžadovaly zpracování a zadržování značného množství vody přímo na terénu staveniště. Za vhodných okolností zato ale nabízely velmi rychlé a efektivní provádění díla (obr. VI. 78).

Úspěch druhé, mnohem významnější metody se dostavil až o hodně později, ale s velmi podstatným dopadem na paletu technologií speciálního zakládání. V soudržných zeminách původní způsob se vzduchovým výplachem umožnil zpočátku provádět štěrkové pilíře jen za určitých zvláště příznivých podmínek a většinou jen do malé hloubky. Pro výrazné zvýšení účinnosti metody bylo zapotřebí dořešit tři další nezbytné a logické kroky ve vývoji prováděcích prostředků. Prvním byl v sedmdesátých letech vynález zmíněného **průchozího ponorného vibrátoru**. Ten umožňoval plynulé dodávání štěrku do kolony vibroflotu až dolů k jeho vyústění na hrot vibrátoru bez ohrožení zavalením a přerušením vrtu. Druhým přirozeným úkolem bylo nutné zapojení **funkce přítlaku** na kolonu vibroflotu, aby se zajistilo rychlé pronikání do tužší zeminy. Došlo tedy k posuvnému osazení kolony na lafetu pásové samohybné soupravy s obvyklým hloubkovým dosahem až do 15 m. A třetím krokem bylo zajištění plynulé **dodávky štěrku přímo na hrot** vibroflotu. Znamenalo to vyřešit technicky dodávku do násypky na vršku kolony. Osvědčilo se řešení lanovým skipem vedeným na lafetě soupravy. Na začátku osmdesátých let se tohoto celkového vývoje jako první úspěšně zhostila firma Keller. Začala pak používat konstrukčně nová komplexní zařízení pod svým názvem **Vibrocat**. Během jednoho desetiletí tím získala firma v disciplíně štěrkových pilířů technologickou dominanci.

U této inovace také došlo k nebývale dokonalému souběhu praxe s teorií, když firma Keller iniciovala výzkum chování těchto základových prvků pro upřesnění přiléhavé návrhové metody. Teorie chování skupin štěrkových pilířů se pak zásadně opírala o práce jejího inženýra **Heinze-Joachima Priebeho**, postupně rozvíjené hlavně od roku 1976. Priebe stanovil především základní teorém **stupně zlepšení** základové půdy těmito prvky, přičemž zdůraznil klíčový vliv bočního odporu zeminy proti expanzi deformujícího se pilíře pod zatížením. I tento počín přispěl k přechodu všech specializovaných firem oboru na stejný technologický systém a výrobu i používání vlastní verze obdobného prováděcího zařízení (obr. VI. 79).

Za dalších dvacet let byla koncem století vyvinuta i zařízení pro větší hloubkový dosah, zejména pro práce na mořském dně v hloubce pod hladinou. Pro tyto případy bylo obvykle možno vystačit s volným zavěšením, protože samotná tíha dlouhého výpažnicového zařízení vyvolala dostatečný přítlak. Při pracích pod vodou bylo ovšem nutno nově vyřešit začerpávání štěrkové výplně proti účinku vztlaku. Byla také sestrojena značně mobilnější přídavná zařízení pro osazení na konvenční hydraulická rypadla k běžným pracím do hloubky cca 8 m (obr. VI. 80).

U nás začala provádět vrchem vyplňované štěrkové pilíře firma Zakládání staveb, a. s., v roce 2001, ale byly využívány jen ojediněle. Spodem plněné štěrkové pilíře zřizovala firma Keller svou soupravou Vibrocat od roku 2002.

Dynamická konsolidace a náhrada štěrkovými pilíři

Původní metoda dynamického hutnění se postupně vyvinula pro nesoudržné zeminy (viz část C této kapitoly, str. 255). Její hlavní inovátor v sedmdesátých letech **Louis Ménard** odvozoval od samého počátku i její verzi pro dynamickou konsolidaci v soudržných zeminách. Vypracoval k tomu také teoretické zdůvodnění, založené na hypotéze působení **hydraulických vlnových rázů** v zemině (třída B.7 dle klasifikace ISSMGE), vybuzených dynamickými účinky tak, že následně dojde k vypuzení plynné a kapalné fáze ze struktury zeminy a ta zkonsoliduje. Pro tyto případy upravil pracovní postup, aby hutnění soudržné zeminy probíhalo přes krycí písčitou vrstvu, z které také bude postupně doplňován materiál do prostoru vtisků vyražených pěchem. Jednalo se vlastně o náhradu zeminy krátkými vytloukanými písčitymi pilíři.

Logicky z toho vznikla potřeba poměrně odlišné úpravy technologického postupu v měkčích partiích základové půdy, kde opakovaným vyražením vznikaly větší krátery. V těchto případech byl do kráteru doplněn hrubý kamenitý štěrk a menšími údery zformován pilíř. Vzdáleně to kopírovalo též historickou francouzskou metodu beranem vytloukaných štěrkových pilířů z 18. století. Nyní mohly takové pěchem mnohem mocněji **vytloukané štěrkové pilíře**, vybudované do zeminy z náhradního materiálu, dosahovat hloubek až 8 m a průměru 2–5 m. Tento postup odpovídal tehdy novým zkušenostem z provádění štěrkových pilířů jinými technologiemi. Později se tato metoda kombinovala i s odvodněním geodrény a vakuováním.

V tuzemsku byla metoda dynamické konsolidace a náhrada zeminy vytloukanými pilíři velmi úspěšně aplikována roku 1994 při sanaci skládky Spolany Neratovice v místech hloubkového výskytu nedefinovaných měkkých zbytků chemických kalů (viz obr. VI. 115).

Č Á S T B

VYZTUŽOVÁNÍ ZÁKLADOVÉHO PROSTŘEDÍ

Všeobecně

Metody vyztužování zemin a hornin jsou sice v klasifikaci ISSMGE zařazeny do společné souhrnné třídy E., avšak zahrnují především dva dosti odlišné soubory prováděcích disciplín. Jelikož se na konkrétních projektech někdy prolínají, je vhodné je předem řádně vymezit. Obecně se vyztužením zemin či hornin rozumí zvýšení jejich schopnosti přebírat tahová napětí. V praktických úkolech se však někdy jedná o stabilizaci zemního nebo horninového prostředí určitými technologiemi. Podle námi užitě metodiky formálního třídění lze oddělit tyto odlišné disciplíny podle principů a účinků dané činnosti zlepšování. Zde především podle druhu používaných prvků a charakteristik zlepšovaného prostředí. Navíc se v našem přehledu zaměřujeme zejména na technologie provádění speciálního zakládání a z tohoto hlediska přikládáme pojednávanému předmětu i odpovídající význam.

Disciplína, kterou se tedy přednostně zabýváme podle naší zvolené metodiky na rozdíl od klasifikace ISSMGE, zahrnuje obecně definované **štíhlé základové prvky**. Toto specifické utřídění obsahuje jak **výztužné prutové a lanové prvky**, tak i nosné **mikropiloty**. Uvažujeme zde proto i přenos namáhání mikropilotami v tlaku. Neomezuje se tudíž jen na **kotvení a hřebíkování** dle zatřídění ISSMGE (viz obr. VI. 1), zaměřené na stabilizaci existujících zemních a skalních svahů. V těchto případech se jedná o diskretní, samostatné prvky v bloku **rostlého přírodního prostředí**, sloužící k vytvoření kompozitního megabloku geotechnické konstrukce. Zahrnujeme však i kotvení všech druhů pažicích a stavebních konstrukcí, kde jde i o interakci stavby se základovou půdou. Z hlediska všeobecného dělení prováděcích technologií speciálního zakládání je tato disciplína úzce spojena také s principy širší skupiny technologií injektáží (viz část A této kapitoly, str. 171).

Druhá odborná disciplína této třídy zlepšování, v níž se shodujeme s klasifikací ISSMGE, zahrnuje metody vlastního **vyztužování sypaných zemin** nebo **rostlých hornin**. Spadají tedy většinou do samostatného oboru zemních geotechnických konstrukcí a jen částečně do oboru speciálního zakládání (viz níže v této části, str. 241).

Princip podpůrné injektáže

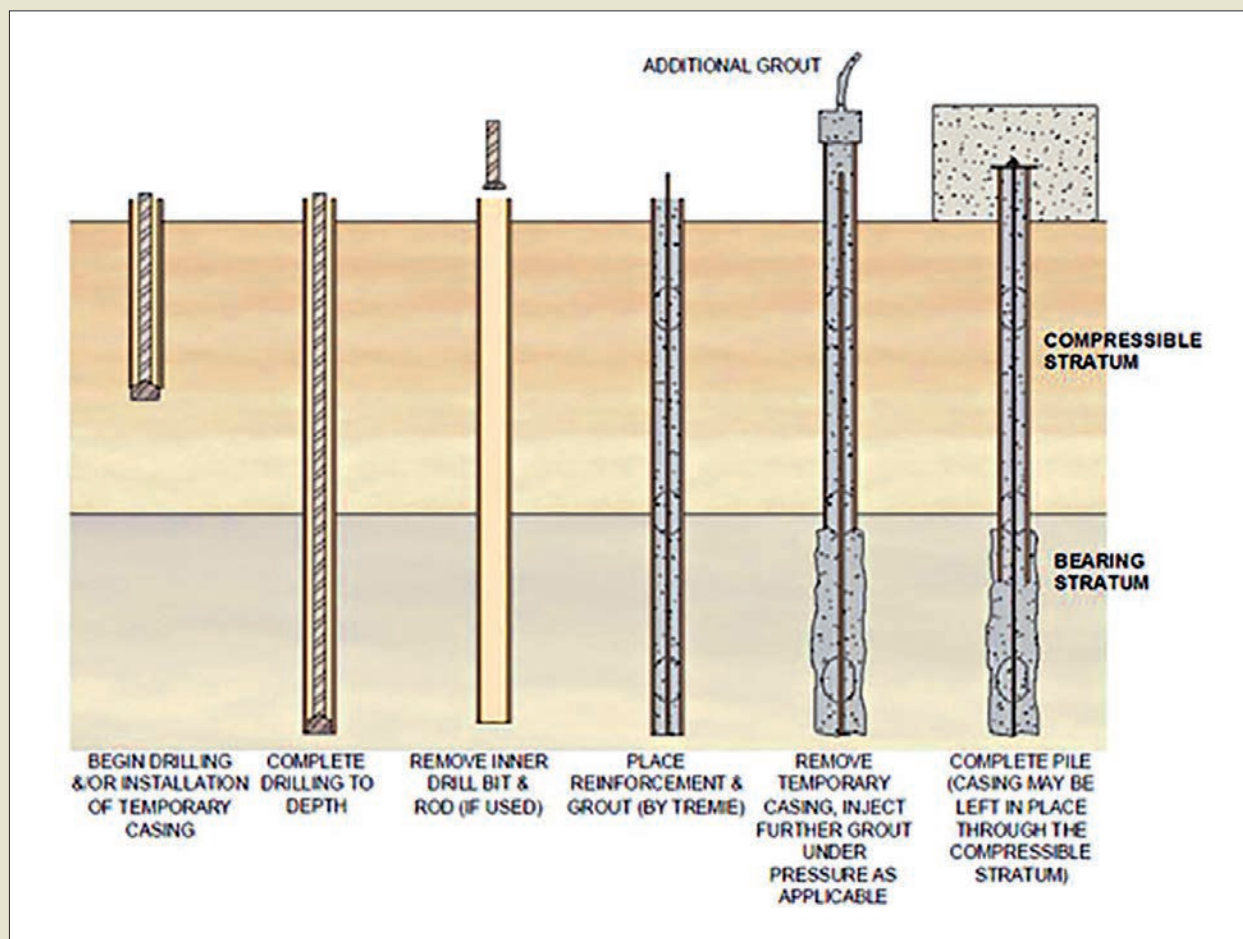
V technologických systémech provádění štíhlých základových prvků, jako jsou typicky mikropiloty, kotvy a hřebíky, je pro zásadní zvýšení jejich schopnosti přenosu zatížení do základové půdy využívána **podpůrná injektáž** (viz též část

A této kapitoly, str. 173). Obvykle zde míváme injektáž tlakovou, ale v zásadě může někdy jít i o injektáž tzv. gravitační, jako v případě instalace prvku do zálivky u hřebíků. Většinou ovšem nejde jen o pouhé zlepšení plášťového tření prvku po instalaci do vrtu, ale o skutečné vytvoření roztláčeného a do základové půdy předpjatého kořene. Na vnesené zatížení pak reaguje větší komplex přilehlého základového prostředí. Jelikož jsou způsoby využití uvedených prvků velmi rozmanité a jejich vlastnosti různě upravovány a kombinovány, nelze je zcela striktně rozřadit. Obecně je možno pro hrubé rozlišení říci, že u aplikací mikropilot i hřebíků probíhá interakce se základovou půdou mnohdy po celé délce prvku, přičemž u mikropilot je často úloha kořene zvýrazněna injektáží, zatímco u hřebíků obvykle ani není použita tlaková injektáž. U kotev je ale zásadně oddělena funkce volného táhla od kořene, nejčastěji upnutého právě injektáží.

Další specifickou oblastí těchto technologií jsou různé druhy speciálně vytvářených kořenů prvků, které zde ponecháváme stranou.

MIKROPILOTY

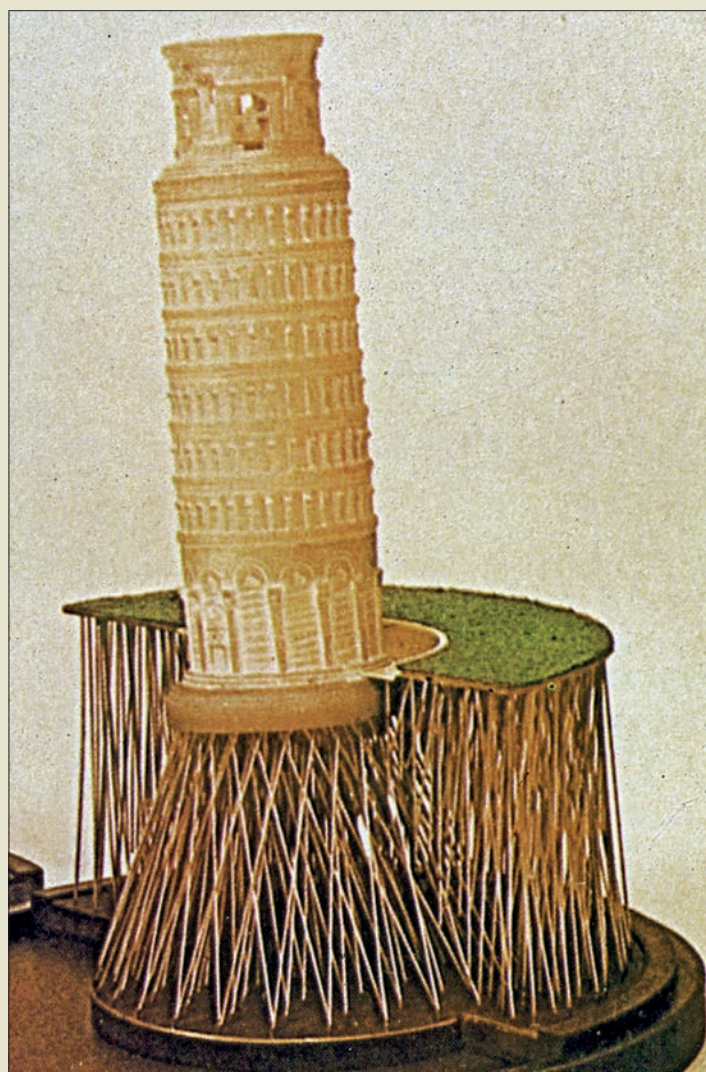
Zřizování velmi štíhlých základových prvků je závislé na vrtání a injektáži. Injektáž se stala základní podpůrnou technologií mnoha odvozených samostatných metod, které byly nově zaváděny až zhruba od padesátých let minulého století po dostatečném osvojení zkušeností s klasickými injektážemi. Historický vývoj metod provádění mikropilot je příběhem prudkého zrychlení během pouhých několika desetiletí. Na tomto poli došlo totiž k souběhu a vyvrcholení pokroku ve vrtací, injekční a předpínací technice, které umocnilo jejich vzájemné ovlivnění. Rozvinula se velká technologická a materiálová pestrost, již není možno stručně popsat a utřídit. Proto se soustředíme jen na hlavní historické vývojové posuny.



Obr. VI. 81: Diagram původního postupu F. Luzziho z roku 1952 pro výrobu mikropiloty s podporou injektáže přes uzávěr na vršku pažnice



Obr. VI. 82: Vrtání pro mikropiloty 108/14 mm soupravou Wirth B0 a příprava jejich instalace uvnitř kostela sv. Mikuláše v Jaroměři roku 1972 závodem 07 podniku Vodní stavby (Zakládání staveb, a. s.)



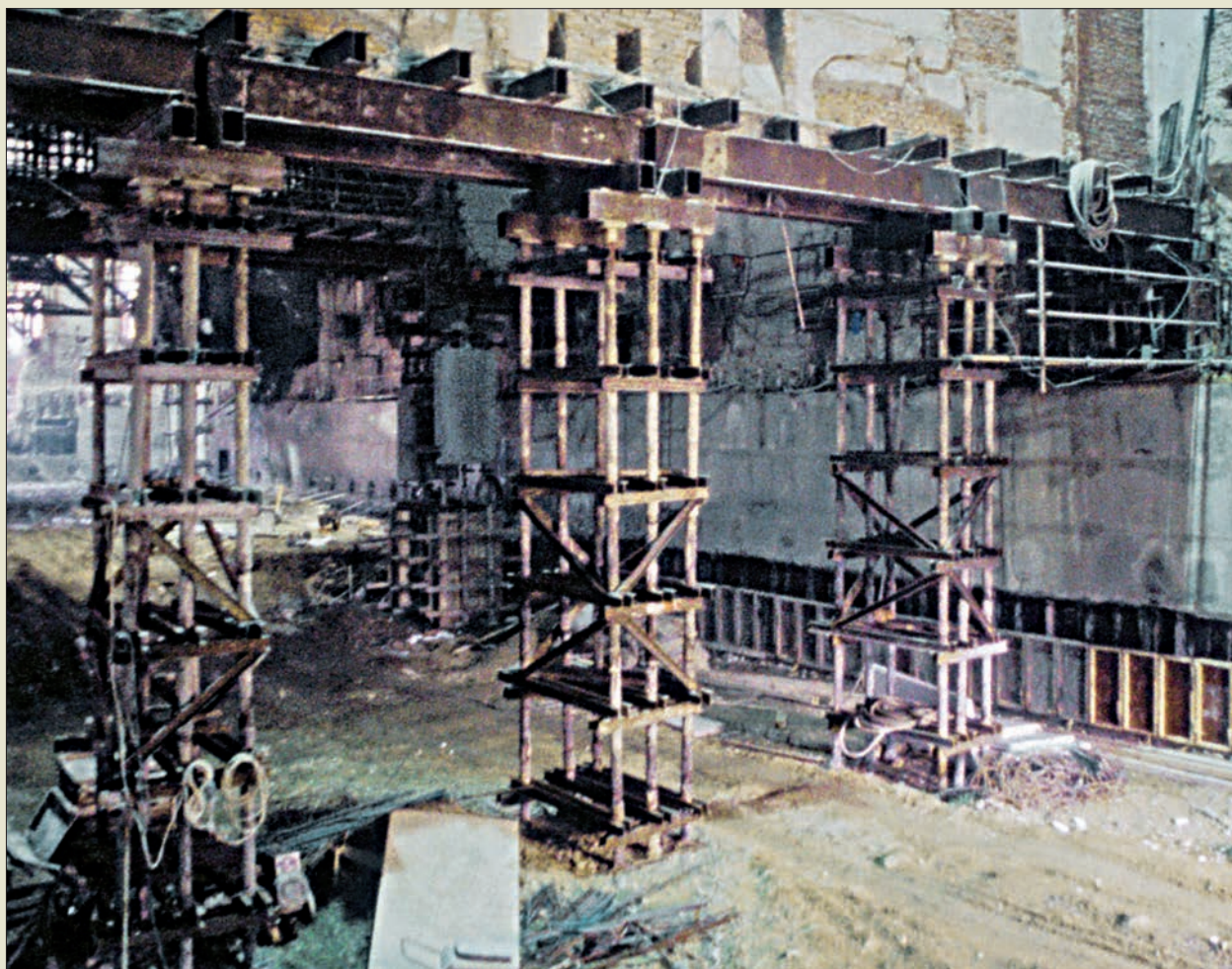
Obr. VI. 83: Model firmy Fondedile pro řešení konsolidace náklonu šikmé věže v Pise pomocí hustého roštu z mikropilot podle teorie F. Lizziho z osmdesátých let 20. století

Mikropiloty se staly první metodou, v níž figurovala podpůrná injektáž jako velmi podstatná složka postupu instalace. Jejich historickým předchůdcem byly **tahové ocelové trny**, osazované jen volně do cementové zálivky ve skalním podzákladí, například již na stavbě Panamského průplavu roku 1915 (viz obr. VI. 7). Dnes je ovšem někdy právě tento způsob faktické **zálivky** nazýván **gravitační injektáží**.

Dalším technologickým předpokladem pro využití velké kapacity výztužného ocelového prvku v různých základových podmínkách bylo ovládnutí technologie malopřůměrového vrtání v obtížně prostupné základové půdě, a také v nepříznivých poměrech stavby, kdy bylo možno výhodně využít prvky sestavené jen z krátkých dílů. Dařilo se to obzvláště v Itálii při poválečné obnově. Prvně se tam zkoušely technologie vrtání s nastavovanými pažnicemi skrz existující základy konstrukcí pro jejich podchycení, a to i zevnitř objektu (viz kapitola IV., str. 73).

A právě v Neapoli, při opravě poškozených historických budov, přišel na počátku padesátých let **Fernando Lizzi** z firmy **Fondedile** na novou myšlenku: zvýšit klíčovou funkci přenosu zatížení ze štíhlého prvku do základové půdy tlakovou injektáží v jeho spodní délce. Nechal si poté roku 1952 tuto inovativní metodu patentovat pod názvem **kořenové piloty** (pali radice/root piles). Metoda se pak nebyvale rychle rozšířila po celém světě (obr. VI. 81). Někde se pod tímto tradičním názvem provádějí mikropiloty dodnes.

Lizziho první injektáže se ovšem prováděly velmi jednoduše shora přes uzavírací hlavu pažnice. Injektovalo se postupně, při povytahování a zkracování pažnic, tlakem jen do 5 bar. Výztuž byla zpočátku z prutových armokošů jako u pilot, takže vše bylo poměrně nedokonalé a pomalé. Konkurenční nápady a vylepšení během následných let zaplavily



Obr. VI. 84: Nosné bárky z příčně vyztužených injektovaných mikropilot 108/12 mm při přestavbě suterénu Stavovského divadla roku 1987 (Zakládání staveb, a. s.)



Obr. VI. 85: Vrtané mikropiloty většího průměru firmy StumpBOHR, středově vyztužené silnostěnnou injekční manžetovou trubicí o průměru 100 mm pro injektáž kořene k podchycení budov bárkami na stavbě stanice vídeňského metra Messeplatz roku 1981

trh nesčíslnými modifikacemi původního patentu s různými druhy ocelové výztuže nebo způsoby instalace a injektáže. Objevily se také rozličné druhy roznášecích patek a způsobů upnutí do nadzákladové konstrukce, včetně umělého předtížení. Tyto technické podrobnosti však přesahují rámec našeho přehledu. Nicméně je třeba poukázat na několik důležitých směrů z tohoto dalšího vývoje.

V šedesátých letech to byl hromadný přechod od armokošové výztuže ke speciálním tyčovým prvkům z kvalitní oceli a zejména k silnostěnným ocelovým trubkám. U nás se používaly takové mikropiloty pro podchycování historických budov od roku 1972, poprvé při rekonstrukci kostela sv. Mikuláše v Jaroměři závodem 07 podniku Vodní stavby (obr. VI. 82). Využívala se zde výztuž z nastavovaných ocelových trubek, ale postupovalo se ještě jen s osazením do cementové zálivky bez injektáže.

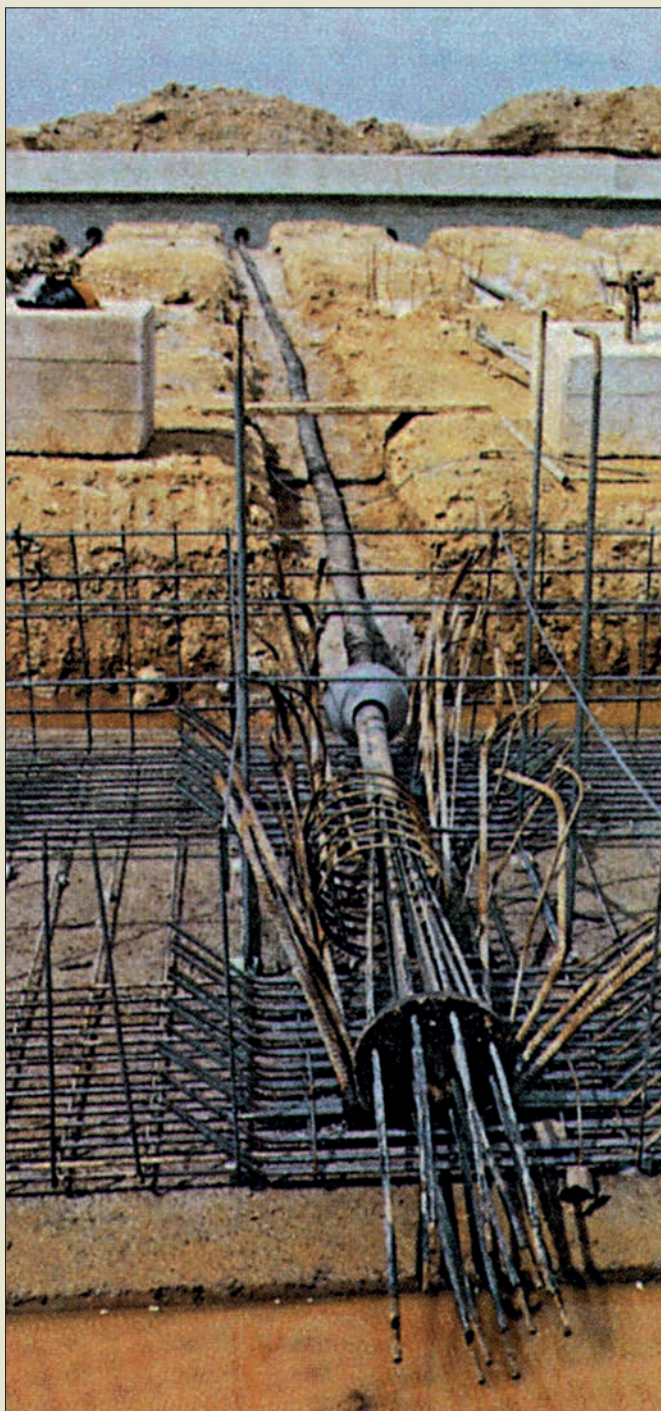
Podstatným vylepšením technologie bylo provedení výztužného ocelového tělesa mikropiloty jako vlastní manžetové injekční trubky se závitovými spoji. To umožnilo efektivní injektáž podél celého kořene, v případě potřeby i různých etážích opakovaně. Mezi prvními je uvedla roku 1974 na trh firma Soletanche pod názvem **injektované metalické piloty** (I. M. Pieux). Využila tak svých intenzivních výzkumů injektáže kořene kotev z konce šedesátých let. Od té doby jsou mikropiloty s injektovaným kořenem standardním a vysoce užitečným prvkem speciálního zakládání. Obzvláště výhodně jsou využitelné při rekonstrukcích budov a podchytávání stávající zástavby. U nás byly mikropiloty, vybavené manžetami pro injektáž, poprvé použity při rekonstrukci objektů Novotného lávky v Praze roku 1974 podle tehdy ještě dobíhající zahraniční licence Sol-expert.

Lizoho dalším významným přínosem bylo rozpracování skupinového účinku mikropilot. V roce 1972 představil **koncept mikropilotových roštů**. Přišel tak s myšlenkou kompozitního spolupůsobení bloku základové půdy vyztužené skupinou různě ukloněných mikropilot. Uspořádání tvořilo lineární nebo prostorové sítě nebo mříže (obr. VI. 83). Tento záměr, směřující k maximálnímu využití účinku přirozené zemní klenby, byl i na počátku 21. století stále ještě předmětem podrobného zkoumání vědeckých týmů.

Standardně se začal využívat skupinový účinek mikropilot při vynášení podchytávaných objektů nad následně prohloubenými suterény. Provádělo se to pomocí nosných mikropilotových **bárek** vytvořených příčným vyztužením skupin mikropilot. V tuzemsku byl takový systém poprvé využit ve velkém rozsahu závodem SZS, Vodní stavby, při generální rekonstrukci Stavovského divadla v Praze roku 1987 (obr. VI. 84).

Logické vylepšování těchto postupů zaváděním čím dále silnější vrtací techniky se pak ve světě rozšiřovalo zhruba od osmdesátých let. Umožnilo zvětšovat průměry vrtů ve vhodné základové půdě až na rozměr okolo 300 mm. Takové prvky se tudíž již často spíše nazývaly **minipiloty** (obr. VI. 85).

V tuzemsku byly podobně rozměrné mikropiloty, ale armokošové a ve skalním prostředí použity poprvé roku 1978 závodem SZS, Vodní stavby, pro založení pilířů Barrandovského mostu v Praze (viz obr. IV. 20).



Obr. VI. 86: Ukázka vodorovného protikotvení konstrukcí s předpínáním lanových táhel na stavbě přístavu Bandar Abbas firmou Trevi v Íránu roku 1980

KOTVENÍ

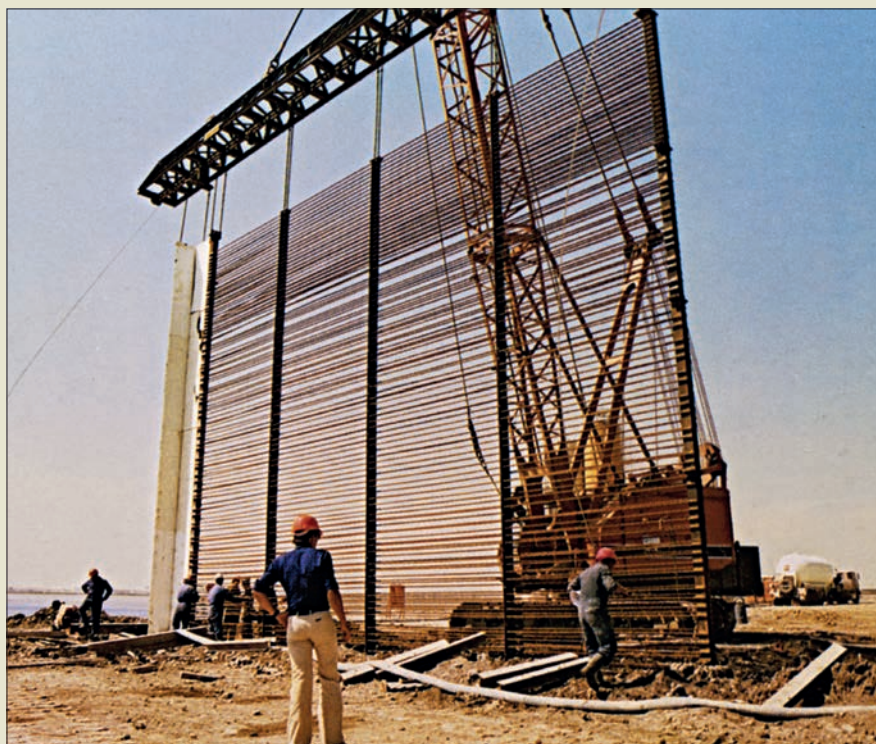
Počátky kotvení základů staveb zabudovanými železnými tyčovými táhly jsou dokumentovány zhruba od poloviny 19. století. Často se využívalo při opevnování břehů u návodních staveb. Větší kapacity se dosahovalo při vodorovném kotvení ocelovými **pasivními táhly** uloženými v mělké rýze. Ta byla tzv. „mrtvě“ upnuta do nepřilíživé protilehlé konstrukce, třeba z ražených pilot, nebo do masivního základového bloku. Tento způsob sice představoval výhodnou alternativu oproti rozpírání nebo podpírání pažicích konstrukcí, ale vyžadoval poměrně velký prostor okolo stavby. Navíc kapacita tohoto kotvení zpravidla nebyla velká. Později byl proto i tento typ jednoduchého vodorovného kotvení doplňován předpínáním (obr. VI. 86).

Avšak i pasivní princip se dal v určitých podmínkách inovativně a radikálně přizpůsobit, jak dokládá řešení pomocí zvláštních kotevních podzemních stěn coby pasivních stěnových táhel na stavbě přístavu v Marseille-Fos roku 1988 (obr. VI. 87).

Na začátku 20. století se začaly používat pro zachycení tahových sil vzlaku svislé tyčové prvky, v podstatě tahové mikropiloty zabudované do podzákladí. Příkladem je výše zmíněná stavba Panamského průplavu. Obdobně byly v té době vyvíjeny a zkoušeny pro výztuž nadloží podzemních výrubů **horninové svorníky** s mechanickým upnutím. Ty byly poprvé použity roku 1918 v uhelném dole v německém Horním Slezsku a také v USA. Na delší čas se pak od této metody upustilo, ale navrátila se do praxe v období dynamického rozvoje amerického válečného průmyslu. Po válce se naplno začala využívat i v Evropě. Vývoj technologie svorníků se poté prolínal s technologiemi mikropilot a kotvení. U nás byly poprvé použity svorníky délky 6 m a průměru 30 mm podnikem Vodní stavby roku 1959 pro kotvení skalního svahu pod hradem Orlíkem.

Na konci čtyřicátých let se při rostoucím používání zejména štětových a záporových pažicích stěn naléhavě hledal způsob **aktivního kotvení** s možností předepnutí konstrukce pro následný odkop. Velkým impulzem pro vyvinutí efektivního kotvení v základové půdě byl příklad napínání výztuže u **technologie předpjatého betonu**. První patenty na princip předpjatého betonu jsou známy z konce 19. století, ale praktická realizace se dlouho nedařila. Proto tehdy došli odborníci k závěru, že je předpínání betonu nevyužitelné. Rozhodující objev učinil až francouzský mostařský inženýr **Eugène Freyssinet** ve dvacátých letech. Tento inženýr-umělec, posedlý svým oborem a nadaný mimořádnou

Obr. VI. 87: Výztuž pasivního kotevního prvku osazovaná do podzemních jílocementových stěn sloužících pro kotvení nábrežní zdi stavby přístavu v Marseille-Fos firmou Soletanche roku 1988





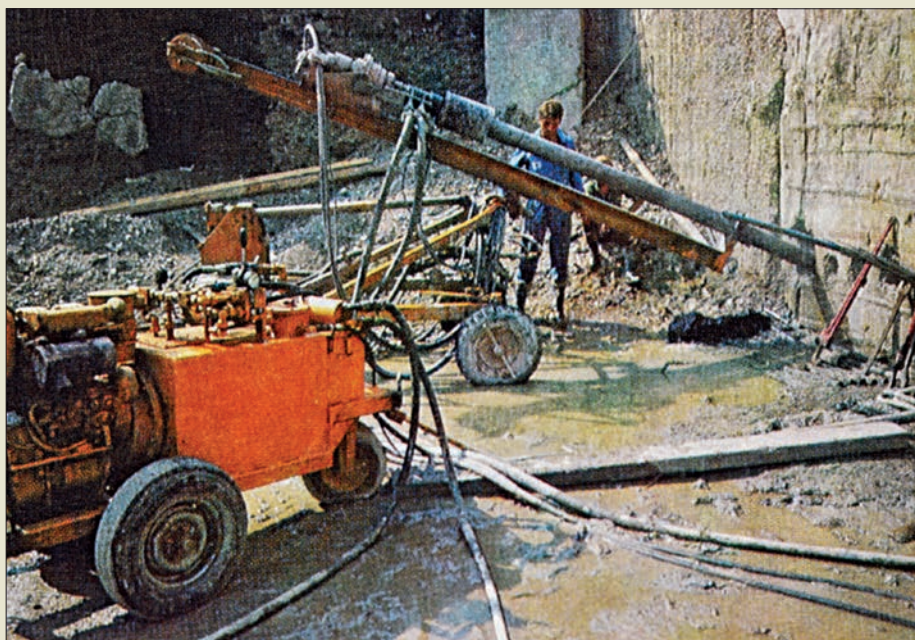
Obr. VI. 88: Bretaňský maják
La Jument v bouřlivé mořské oblasti
dodatečně přikotvený do žulového
podloží v roce 1930

vynalézavostí, studoval na svých stavbách **kríp** (dotvarování) betonu a zjistil, že v předpjatém betonu musí být použit kvůli předcházení ztrátám únosnosti pouze vysoce kvalitní beton a ocel mimořádně odolná v tahu. Navrhl pak systém předpínání, který si roku 1928 patentoval. V roce 1939 dále vyvinul kotevní systém pro napínání svazku z 12 patentovaných drátů o průměru 5 mm.

Realizoval pak mnoho staveb v úzké spolupráci s firmou Campenon Bernard a prodal licence do řady firem po celém světě. Tím své jméno navždy spojil s předpínacím systémem. K úspěchu jeho metody přispěl i přenos zkušeností z injektáží cementem, využitých k výplni dutin kanálků v konstrukcích pro zasouvanou dodatečnou předpínací výztuž. Nedostatek



Obr. VI. 89: Přehrada
Cheurfas v Alžírsku byla
roku 1934 přikotvena v koruně
37 kabelovými kotvami.



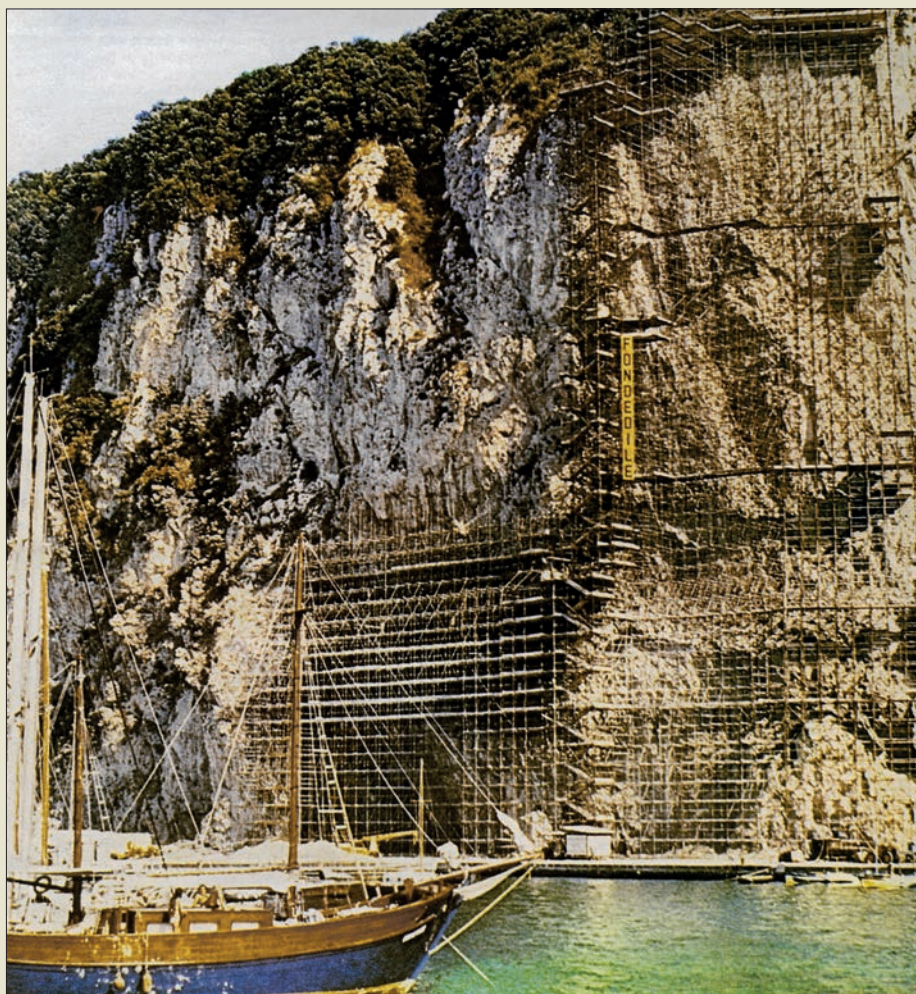
Obr. VI. 90: Vrtání v problematické geologii pro instalaci drátových kotev zapůjčenou jádrovací hydraulickou soupravou Hagby Bruk ke kotvení podzemních stěn suterénu na stavbě obchodního domu Kotva v Praze roku 1973 (Zakládání staveb, a. s.)

oceli v poválečné Evropě velmi podnítil úspornou technologii předpjatého betonu a pomohl k jejímu intenzivnímu rozvoji, neboť takto konstruované mosty mohly konkurovat ocelovým. Následně pak vznikaly obdobné předpínací systémy, například německý Dywidag, švýcarský VSL apod.

Francouzští inženýři měli k této metodě obzvláště blízko, a proto začali jako první experimentovat s jejím využitím i pro kotvení v oboru zakládání. Úvodní počín realizoval již roku 1930 inženýr **André Coyne**, Freyssinetův spolupracovník, dodatečným přikotvením majáku La Jument d'Ouessant v obzvláště bouřlivé mořské oblasti Bretaně. Maják byl odvážně postaven v roce 1911, ale brzy se zjistilo, že je třeba jej proti divokému žvlu více zakotvit do žulového podzákladí. Umožnil to i nový pokrok ve vrtací technice. Šest **kabelových kotev** bylo osazeno do jádrových vrtů, jdoucích 15 m přes betonový základ a 20 m do tvrdého granitu. Cementová injektáž kořene izolovaného od táhla byla provedena centrální trubkou. Každá kotva byla předpjata na 15 MN (obr. VI. 88).



Obr. VI. 91: Typická ukázka zajištění svahu kotvením vybraná z nesmírného počtu podobných staveb realizovaných v závěru 20. století po celém světě s obvyklou účastí úzce specializovaného výrobce kotev a napínací techniky Dywidag



Obr. VI. 92: Zajišťování skalního svahu v přístavu ostrova Capri roštem z mikropilot firmou Fondedile roku 1975

Coyne se pak ještě více proslavil v roce 1934 při spolupráci s italskou firmou speciálního zakládání Rodio. Dodatečně a ve velkém rozsahu přikotvili gravitační zděnou alžírskou přehradu Cheufas z roku 1882 o výšce 30 m. Pro potřebné zvýšení její stability bylo zhotoveno 37 kusů 50 m dlouhých kotev, každá ze 630 galvanizovaných drátů tloušťky 5 mm a předpjatá na sílu 10 MN (obr. VI. 89).

Krátce nato v roce 1936 použila stejnou metodu firma Soletanche na alžírské přehradě Bou Hanifia pro svislé předpjetí až 50 m hluboké betonové části podzemní clony zhotovené klasickým výkopem. Účelem bylo předejít průsaku clonou případnými smršťovacími trhlinami v masivním betonu. Tehdy použité kabelové kotvy, sestavené vždy z mnoha drátů, byly pak obdobně unikátně využívány u dalších případů kotvení přehrad. V tuzemsku tuto metodu poprvé aplikoval roku 1967 podnik Ingstav Brno pro dodatečné kotvení přehrady Bystřička instalací 27 kotev o předpětí 3,7 MN.

Uvedené období užívání kabelových kotev zapadalo do historického vyvrcholení aktivit velkých osobností inženýrského stavitelství, jež byly schopny obsáhnout široké pole odborných disciplín. Po útlumu stavebních aktivit ve válečném období vypukla celosvětová soutěž o to, kdo objeví nejlepší metodu kotvení základových konstrukcí specializovaného oboru. V poválečných letech nejprve všeobecně převládaly **tyčové kotvy**. V padesátých letech již byly v USA zřizovány kotvy tehdy dostupnou technikou při šikmém vrtání. V Německu se prováděly jednodušším ražením, nejprve vodorovně a pak také šikmo. Kotvy měly obvykle kořen zabetonovaný různě improvizovaným postupem a izolované táhlo. Jejich hlavy byly vzhledem k pažící konstrukci předepjaty pomocí hydraulických lisů. Obdobným principem byly například na stavbě milánského metra kotveny podzemní stěny šikmými vrtanými mikropilotami. Mnohé další firmy postupovaly stejnými cestami. Tyto kotvy však byly relativně krátké, s táhly obtížně nastavitelnými. K jejich nízké kapacitě přispívala mimo jiné problematická vytváření a upínání kořene v základové půdě, pokud se nejednalo o vhodné horninové poměry.



Obr. VI. 93: Zajištění svahu hřebíkováním v písčitých zeminách pro rozšíření železnice ve Versailles firmou Soletanche roku 1972

V tuzemsku vrtané tyčové kotvy poprvé použil roku 1965 podnik SSŽ pro zakládání pilířů Nuselského mostu v Praze. Výraznou postavou dalšího vývoje předpínání se u nás v té době stal Ing. **Hynek Hlasivec**, pracovník podniku SSŽ, jinak věhlasný mostař. Svými zkušenostmi a znalostmi z předpínání stavebních konstrukcí výrazně přispěl k propracování nezbytných řemeslných postupů pro napínání kotev.

Samostatným směrem vývoje se ubírala francouzská firma Soletanche. Snažila se spojit Freyssinetův dokonalý betonářský kotevní systém z flexibilních drátů s vlastním efektivním upínáním kořene kotvy injektáží manžetovými trubkami. Roku 1964 takto zhotovila první předpjatý kotevní blok na stavbě budovy Peugeot v Paříži. Po sérii několikaletých důkladných zkoušek zavedla roku 1967 do praxe na stavbě Porte de Bagnolet předpínané injektované **drátové kotvy** pod názvem I. R. P. Jejich výhodou byla snadná a spolehlivá instalace i pro velké délky při vysoké kapacitě únosnosti. U nás tyto kotvy poprvé použil podnik Vodní stavby na stavbě stanice pražského metra Kačerov roku 1971. Jednalo se o kotvy I. R. P. dodané v licenci Sol-expert. Ve větším rozsahu pak byly aplikovány za stejných podmínek na stavbě obchodního domu Kotva v Praze roku 1973 (obr. VI. 90). Tehdejší přední evropskou pozici naši země v oboru speciálního zakládání dokládá i časný návrh československé normy pro kotvení z roku 1972.

Jen o pár roků později po zavedení drátových kotev se začala v osmdesátých letech využívat kotevní táhla také z **pramencových lan**. Tyto kotvy již byly často předvyrobené od specializovaných předpínacích firem, jako byla německá firma Dywidag a postupně i další. Lanové kotvy měly velké výhody – snadnější výrobu, lehčí manipulaci při přepravě, snazší instalaci i předpínání a hlavně účinně dosažitelnou vysokou únosnost (obr. VI. 91).

Technický rozvoj kotvení se pak stal téměř nepřehledným s nespočtem různých konstrukcí kotev a technologií instalace, takže již přesahuje naše zaměření na hlavní vazby historického vývoje. V tuzemsku použil první lanové kotvy závod SZS, Vodní stavby, roku 1981 pro stavbu radotínského přístavu na řece Berounce.

HŘEBÍKOVÁNÍ

Metoda hřebíkování (soil nailing) se vyvinula z různých experimentů s pasivními tyčovými kotvami koncem šedesátých let. Jedním z impulzů byly časně práce F. Lizzioho pro zajištění skalních svahů roštem mikropilot ve smyslu skupinového účinku prostorového vyztužení. Na rozdíl od prvně používaných mikropilot, ukloněných mírně od svislice k podchycování základů, byly tentokrát mírně ukloněné od vodorovné roviny. Názorným příkladem bylo v roce 1975 zajištění 100 m vysokého vápencového útesu v přístavu ostrova Capri proti sesuvu z místy až 25 m dlouhých mikropilot (obr. VI. 92).

Jiným podnětem byl vývoj Nové rakouské tunelovací metody (NATM) od začátku šedesátých let, kdy se pro zajištění klenby a boků výrubu kombinovala pasivní svorníková výztuž a nástřik betonu (torkret) vyztuženého ocelovou sítí. Následně se z těchto pokusů a zkušeností vyvinul ucelený systém zajištění skalních i zemních svahů in-situ. Jednalo se o roštové vyztužení relativně kratšími tyčovými prvky, hlavně ocelovými, se zajištěním povrchu terénu stříkaným betonem. Pro tuto metodu se vžil název **hřebíkování**.

Poprvé bylo zcela samostatně hřebíkování použito roku 1972 při rozšiřování železniční trati u Versailles ve Francii pro zajištění 18 m vysokého svahu z písčitých zemin. Spojily se zde znalosti a zkušenosti firmy Soletanche ze speciálního zakládání a firmy Bouygues z tunelování NATM. Instalováno bylo 25 000 kusů 4–6 m dlouhých zainjektovaných ocelových hřebů (obr. VI. 93). Ukázalo se, že tato metoda je při posouzení „cena/výkon“ velmi efektivní a může redukovat čas nutný pro stabilizaci svahu až na polovinu.

Stejně jako u předchozích metod zlepšování se i tato rychle rozšířila do celého světa. Zpočátku uspěla zejména v Německu po velmi zevrubném výzkumu firmou Bauer. Ale ani Spojené státy nebo Japonsko nezůstaly pozadu. Vyvinula se pestrá škála technologií instalace a materiálů, již nelze zjednodušeně zachytit. Podpurná injektáž se často omezovala jen na gravitační závluku podél hřebíku nebo jeho dutinou, jsou však i propracovanější technologie. Postupem času došlo rovněž k prolínání této metody s jinými technologiemi konvenčního vyztužování základových půd. Na rozdíl od nich se však hřebíkování používá pro nenarušenou přírodní základovou půdu a postupuje se **shora dolů**. Z toho se též odvozuje odlišné chování výsledné základové konstrukce.

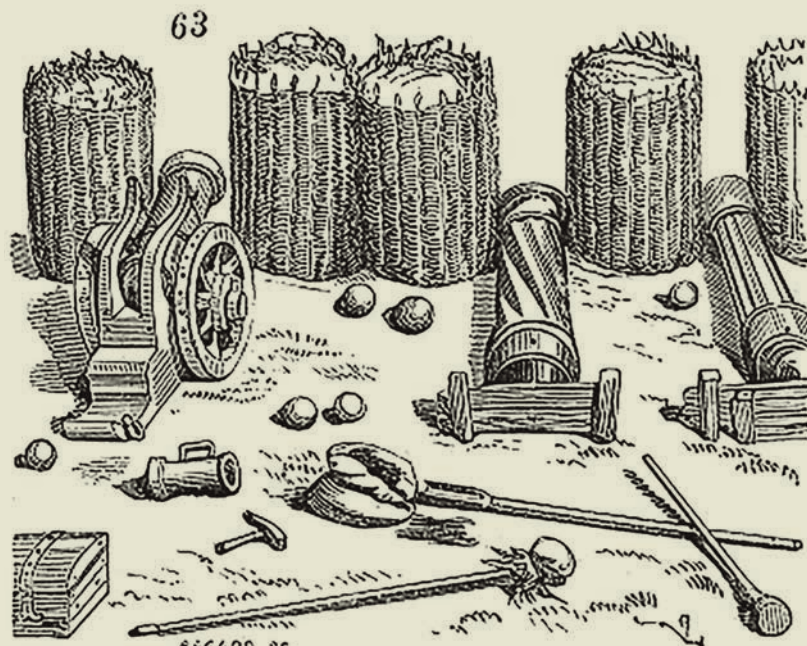
VYZTUŽOVÁNÍ ZEMNÍHO PROSTŘEDÍ

Všeobecně

Metody vlastního **vyztužování zemin** se týkají obecně nově zřizované gravitační konstrukce ze **zeminové sypaniny** určitého druhu. Obvykle se jedná o budování kompozitního makrobloku z připravené sypaniny nebo kamenné rovnaniny postupně **odspodu nahoru**. Diskrétním výztužným prvkem zde bývá výztužný materiál, obvykle z geosyntetik. Většinou je zabudovaný ve vodorovné mezilehlé vrstvě nebo jako prostorové mříže, klece apod. Někdy jde ovšem o výztuž difuzní, rozptýlenou v sypanině. Tyto metody se specificky využívají jednak v násypch pro dopravní stavby, ale velmi různorodě i v projektech pro ochranu před nepříznivými přírodními vlivy, jako jsou sesuvy, laviny, vodní přívaly či eroze apod.

Uvedená disciplína se mnohdy dotýká a vzájemně překrývá s jinými disciplínami speciálního zakládání. Ty využívají vyztužené zeminy jako pomocné a doprovodné konstrukce, zejména při zmíněné sanaci terénních vlivů nebo při ochraně proti různým vnějším účinkům. Také jako přechodové konstrukce, například u opěr mostů či u roznášecích vrstev nad pilotami či tuhými inkluzemi. Využití je i v kombinaci pažicích a opěrných systémů.

Kromě těchto hlavních způsobů vyztužování sypanin patří do této skupiny metod i metody poněkud odlišné, především pak ochranné matrace a gabiony. Ve skutečnosti právě ony stály na počátku historického vývoje vyztužování zemin.



Obr. VI. 94: Středověké dočasné polní opevnění z proutěných gabionů vyplněných sypaninou

Gabiony

Již ve starověkém Egyptě se před 7000 lety používalo opevnění břehů koryt životně důležitých zavlažovacích kanálů z pletených rákosových košů naplněných zeminou – předchůdců pozdějších **gabionů**. Obdobné gabiony, ale proutěné byly v raném starověku známy i v Číně. Od pozdního starověku přes středověk až do 19. století se pak často využívaly gabiony pletené z proutů i v Evropě, zejména pro výstavbu dočasných opevnění (obr. VI. 94).

Renesanční umělec a vynálezce Leonardo da Vinci údajně použil na začátku 16. století tkané gabiony pro rozšíření základů při opravě hradu Castello Sforzesco v Miláně. První **drátošterkové gabiony**, zhotovené již z drátěného pletiva a propojené dráty, byly vyrobeny roku 1894 v severní Itálii. Je to ukázkový příběh. Zřídila je rodinná kovářská firma **Maccaferri** podle svého nového patentu na pletivo z dvojité spletených šestihránných ok. Začali mezi prvními podnikat s taženým ocelovým drátem a dostali průlomový nápad, jak vytvořit trvalejší materiálovou alternativu k dosavadním proutěným gabionům. Použili je nejprve pro opevnění jezu místní řeky Reno u visky Casalecchio u Boloně, zpočátku ovšem ještě v pytlovitém tvaru a s výplní z hrubého kameniva. Roku 1902 se ale spojili se stavebním inženýrem Edigiem Palvisem a zavedli pro gabiony výhodný tvar pravoúhlé klece (obr. VI. 95).

Obr. VI. 95: Jedna z prvních aplikací drátošterkových konstrukcí firmy Maccaferri pro historické opevnění v Itálii z roku 1906





Obr. VI. 96: Konstrukce násypu chorvatské dálnice A1 Záhřeb–Split u tunelu Sveti Rok ze zeminy vyztužené systémem Terramesh s gabiony o celkové výšce 30 m v roce 2001 (maccaferri.sk)

Od té doby se tento technologický systém pro metody gravitačních opěrných konstrukcí a na protierozní ochranu rozšířil po celém světě a rozvinul se úspěšně do mnoha materiálových modifikací a kombinací (obr. VI. 96). Některé firmy zavedly například užívání sítí a mříží svařovaných.

V tuzemsku představuje patrně jednu z prvních aplikací gabionových konstrukcí sanace břehů říčky Losenice v oblasti Rejštejna po povodních na Šumavě roku 1995, provedená firmou Gabiony.

Matrace

Ze všech uvedených disciplín zlepšování mají nejhlubší historické kořeny zpevňující proutěné matrace. Význam tohoto konstrukčního prvku byl v celém průběhu dějin velký, ale je pro svou jednoduchost nedoceněný. Od prvních zárodků lidské civilizace umožňoval budování cest přes bažinatá území. Byla to celosvětově rozšířená přirozená úprava podloží cest, nejprve pěšin a později i průjezdných komunikací. Vyztužení měkkých zemín se provádělo nejčastěji hatěmi – otýpkami z proutí a svazky větví, pak i s výztuhami z klád pro povozy. Obdobné matrace z různých i komplikovaně



Obr. VI. 97: Budování říčních ochranných hrází podle holandského vzoru v severní Itálii roku 1683. Základové matrace sestávaly z hatí uložených a slámou navázaných mezi ručně zatloukané piloty.



Obr. VI. 98: Opevňování regulační hráze koryta Mississippi proutěnými matracemi a kamenným záhozem roku 1890

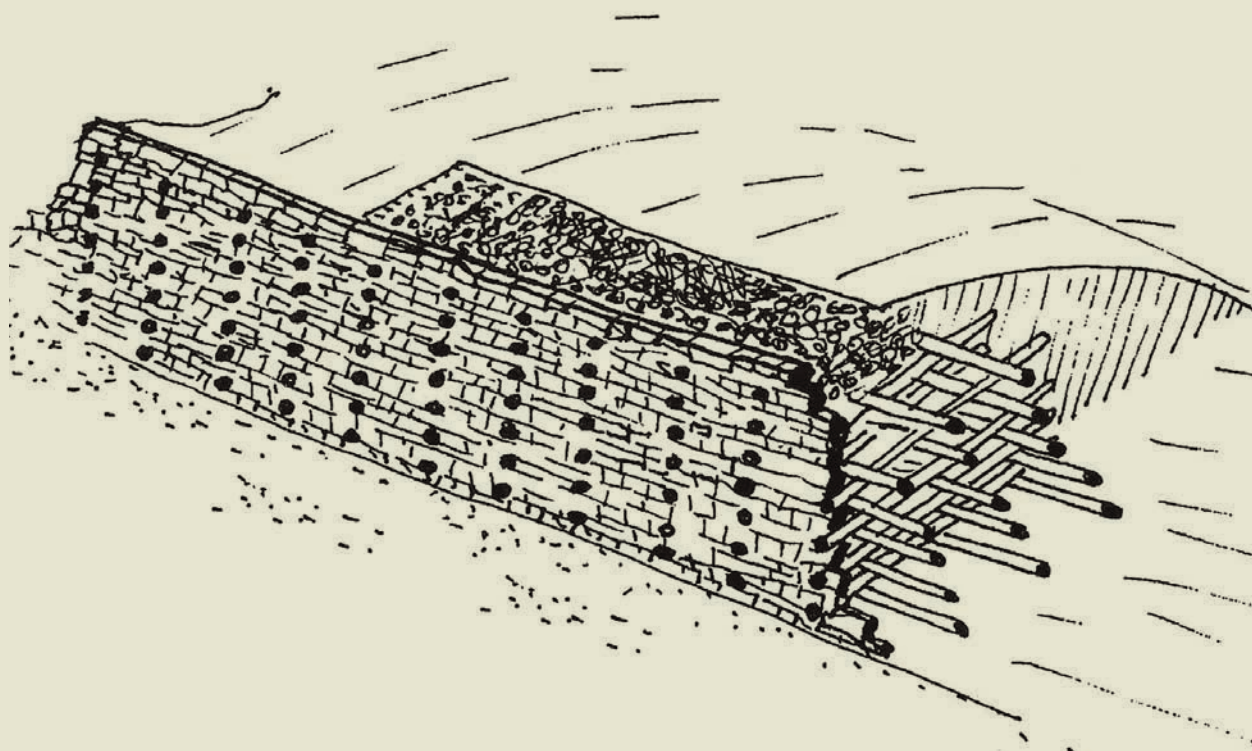
spletených přírodních materiálů se po tisíciletí hojně využívaly pro rozličné stavební účely. Ve středověku se od 13. století uplatnily promyšleněji i pro zpevnění podloží u zřizování kanálů a hrází, zejména však při vysušování přímořských území v severní Itálii a Nizozemsku (obr. VI. 97).

Proutěné matrace, kombinované mnohdy s kamenným záhozem, byly až do poloviny 20. století stále nejčastější metodou opevnění vodotečí (obr. VI. 98).

Matrace začaly nahrazovat speciální ploché a nízké gabiony, obvykle nazývané podle svého prvního použití na řece Reno v Itálii **reno-matrace**. V závislosti na zapojení nových a nových materiálů se rozvinuly jejich různé modifikace. Příkladem rozsáhlého použití je projekt ochranné námořní bariéry Oosterschelde na počátku osmdesátých let 20. století v Nizozemsku. Pod pilíře vrat této bariéry byly pro jejich založení na mořském dně v hloubce 30 m pod hladinou pokládány postupně tři vrstvy speciálních roznášecích a filtračních matrací. Spodní a největší z nich měla šířku 42 m a délku 60 m. Matrace byly předvyrobeny v doku a skládaly se ze tří vrstev odlišného písku a šterku, uložených mezi geotextiliemi, o celkové tloušťce 36 cm. Byly vždy navinuty na buben o průměru 10 m a instalovány speciálním plavidlem Cardium (obr. VI. 99).

Obr. VI. 99: Podmořské ukládání prefabrikované roznášecí a filtrační matrace do hloubky 30 m speciální lodí Cardium při výstavbě bariéry Oosterschelde v Nizozemsku na počátku osmdesátých let

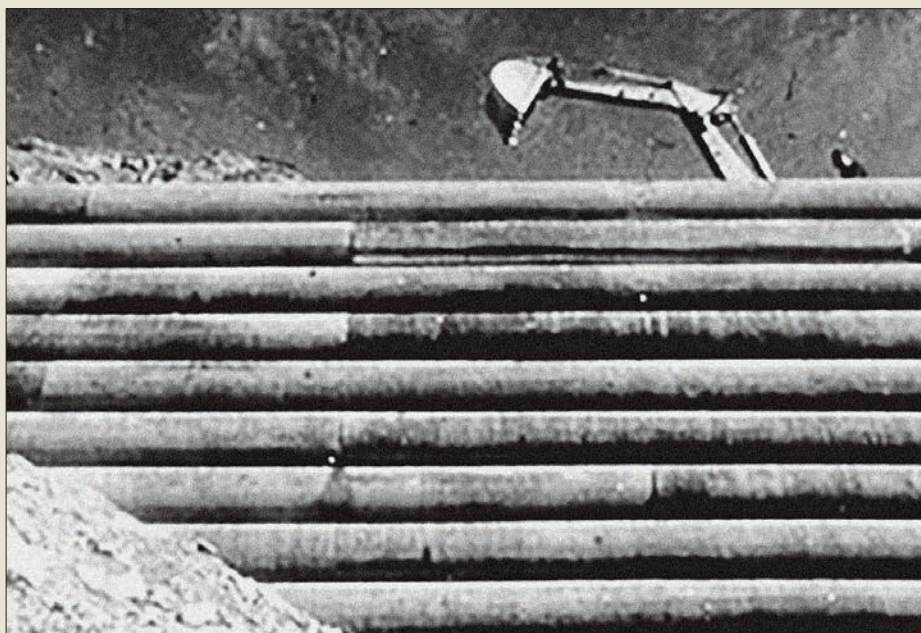




Obr. VI. 100: Budování keltského opevnění „murus gallicus“ v západní Evropě v 2. století př. n. l. Je znázorněna fáze zřizování zemního valu pro vztyčení kolové hradby. Vnější čelo valu bylo obloženo kamenem a jeho navazující část ze sypaniny byla vyztužena tyčevinou kvůli zajištění valu proti sesutí do příkopu před hradbou. (Z. Knápek, M. Šimík)



Obr. VI. 101: Model vyztužené zeminy Henriho Vidala při vývoji jeho teorie na začátku šedesátých let, firma Terre Armée



Obr. VI. 102: Budování první konstrukce z vyztužené zeminy ve francouzském Pragnières firmou Terre Armée roku 1965

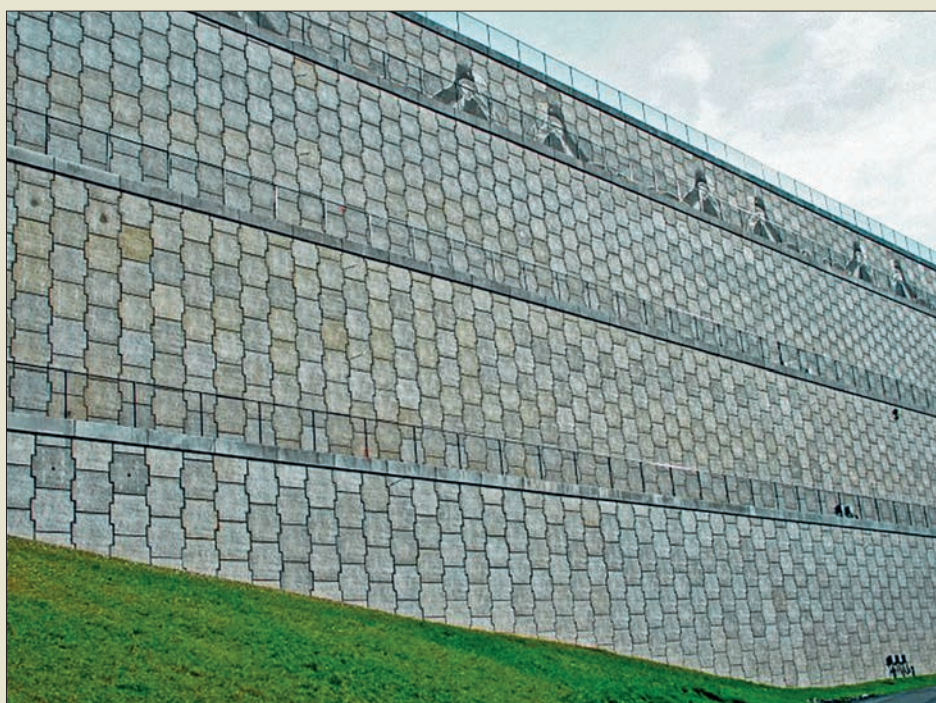
Konstrukce z vyztužené zeminy

Historicky jsou první metody vyztužování zemin dokumentovány již ve starověkých chrámových zigguratech v Mezopotámii v 5. století př. n. l., kdy byly pro vyztužení využívány rákosové rohože (viz obr. VI. 3). Z pozdního starověku je znám i jiný způsob vyztužování, například zemních valů pro římská nebo keltská opevnění či pobřežní stavby dřevěnou tyčovinou (obr. VI. 100).

Dřevěné výztuhy však byly vhodné jen pro dočasné stavby, a proto se vývoj podobných konstrukcí nadlouho zastavil. Zásadní inovační krok učinil svými výzkumy až francouzský inženýr **Henri Vidal** na začátku šedesátých let. První nápad dostal na mořské pláži roku 1957 a promýšlel ho až do formulace vynálezu v roce 1963 (obr. VI. 101).

Svou teorii si patentoval postupně ve 40 zemích a roku 1965 postavil první konstrukci ze zeminy vyztužené kovovými pásky a geotextilií v jihofrancouzském Pragnières (obr. VI. 102).

Obr. VI. 103: Tříkrát odstupňovaná mechanicky vyztužená zemní konstrukce firmy Reinforced Earth se svislým lícem o celkové výšce 45 m, vybudovaná pro zajištění přistávací dráhy letiště Tacoma v Seattlu roku 2015





Obr. VI. 104: Mostní opěry z vyztužené zeminy pro silniční nadjezd u Královce, zbudované firmou Geomat roku 2004

Od roku 1968 Vidal provedl se svou firmou **Terre Armée** (armovaná zemina) desítku větších realizací poblíž Nice. Inicivoval tím několikaletý podrobný oficiální výzkum v uznávané Laboratoire central des ponts et chaussées (LCPC). Na základě výsledků získal plnou podporu pro další stavby i jinde ve světě. Vydatně tím přispěl k rychlému šíření a rozvoji této nové metody zemních geotechnických konstrukcí. Pod jeho licencemi vzniklo mnoho prováděcích firem a metoda vyztužených zemin vešla do povědomí odborné veřejnosti jako jeden z nejvýznamnějších inovačních podnětů geotechnického inženýrství. Takovou původní pobočkou byla od roku 1971 i americká firma Reinforced Earth, která realizovala nesčetné stavby v USA, například v roce 2015 světově nejvyšší, 45m vysokou stěnu na stavbě letiště v Seattlu (obr. VI. 103).

S odstupem času odborníci konstatují, že základní prováděcí principy této metody – tedy budování konstrukce ze sypaniny po vrstvách s výztužnými mezivrstvami z různých druhů kovových a umělohmotných výztužných sítí a mříží a s různými druhy provedení lícových prvků – se podstatně nezměnily. Hluboce však byly propracovány návrhové metody, zejména se zapojením počítačového modelování MKP. Začátkem 21. století se také značně rozšířil materiálový sortiment výztužných prvků.



Obr. VI. 105: Záchytný skalní systém RXE-1000 švýcarské firmy Geobrugg zbudovaný roku 2014 na železniční trati u Rumplanas ve Švýcarsku (geobrugg.com)

V tuzemsku byly zemní konstrukce z vyztužených zemin zaváděny od devadesátých let zpočátku poněkud improvizovaně, rychle se však zapojily na odborné úrovni. Roku 2004 byly touto metodou zhotoveny firmou Geomat první mostní opěry na silničním nadjezdu nad železnicí u východočeského Královce (obr. VI. 104).

Geosyntetické materiály

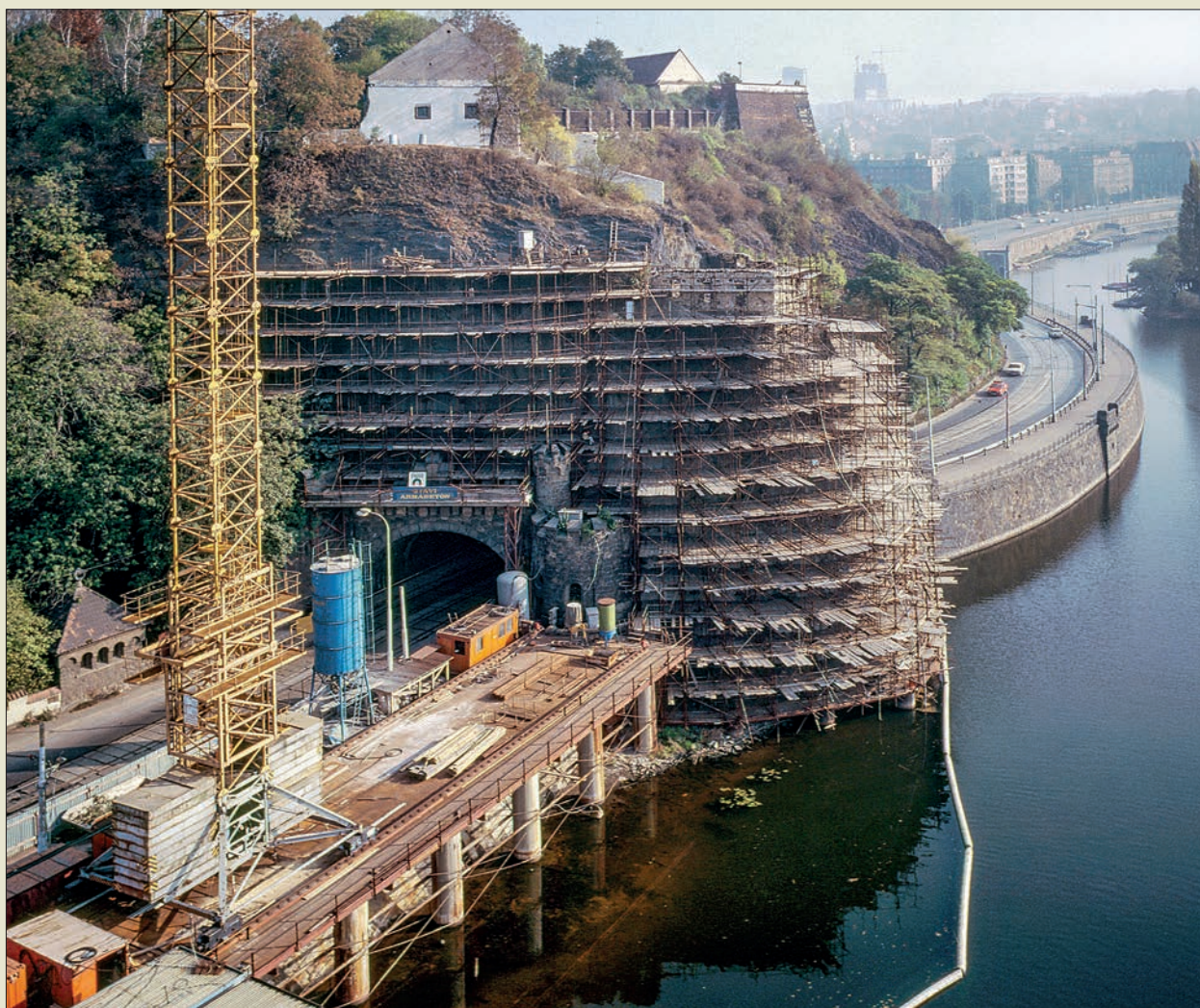
Obzvláštní impulz pro vyztužování zemin představoval zhruba od osmdesátých let explozivní rozvoj geosyntetických výztužných materiálů, jako jsou geotextilie, geosítě, geomříže, geobuňky apod. V souvislosti s tím pak vznikaly i různé kombinované tzv. **geokonstrukce** se zapojením geomembrán nebo geomatrací či rozmanité geokontejnery, geovaky a geotubusy, plněné rozličným materiálem od sypaniny až po vodu. Kromě typického využití opěrných konstrukcí u dopravních staveb umožnily vytvářet velmi specifické konstrukce podle místních podmínek, někdy i se značnou mírou improvizace, například konstrukce hlubokých drénů nebo hráze pro úpravu vodního toku či proti vodní erozi. V této oblasti je slibné pole pro další inovace.

VYZTUŽOVÁNÍ SKALNÍHO PROSTŘEDÍ

K velkému prolínání s technologiemi speciálního zakládání dochází u vyhraněné disciplíny zpeňování skalního masivu. Jde o ochranu před uvolňováním a zřícením horninových bloků nebo proti rozšíření kamenných splazů. Tato disciplína se začala rozvíjet v polovině 19. století spolu s výstavbou železnic a potřebou zajistit bezpečnost skalních zářezů. Až do padesátých let minulého století převažovala v ochraně výstavba pasivních ochranných konstrukcí, jako jsou hráčky,

zastřešení a galerie. Postupně se však využívalo kotvení a opláštění povrchu pro ochranu proti erozi, například kamennými obklady, betonem, později torkretem. V roce 1958 již údajně probíhaly první experimenty se **záchytným systémem z pletiva**. Systematický vývoj začal až v šedesátých letech se zapojením vědecké metody měření a klasifikace jevů skalního zřícení za účelem odpovídajícího navrhování zásahů. V osmdesátých letech začaly být pro **záchytné opláštění** používány systémy z drátěných pletiv a k blokování skalních pohybů **kotvené pletivové bariéry**. Zapojena byla také sanační injektáž puklin. S vývojem speciálních antikoročních a vysokopevnostních sítí a lanových systémů se koncem století zaváděly aktivní záchytné bariéry s **dynamickými absorbéry a brzdami** (obr. VI. 105). Podstatnou roli v nich nadále plnily různé druhy horninových kotev a svorníkových systémů.

U nás poprvé použil jednoduché svorníkové kotvení skalního svahu podnik Vodní stavby roku 1959 pro zajištění břehu budované vodní nádrže Orlík. Komplexním rozsáhlým projektem byla pak roku 1992 sanace masivu vyšehradské skály v Praze firmou Zakládání staveb, a. s. (obr. VI. 106).



Obr. VI. 106: Rozsáhlé zpevňování masivu vyšehradské skály lanovými kotvami a dalšími kotevními prostředky prováděné z těžkého lešení roku 2001 firmou Zakládání staveb, a. s.

Č Á S T C

ZLEPŠOVÁNÍ BEZ PŘÍMĚSÍ

ZHUTŇOVÁNÍ NESOUDRŽNÝCH ZEMIN NEBO NAVÁŽEK

Všeobecně

V této části se věnujeme vývoji technologických systémů zaměřených na podstatné zmenšení objemu hrubě zrnitých základových půd, a to v kategorii bez přidávání příměsí. Rámcově to u nesoudržných zemin nebo mezerovitých navážek lze uskutečnit působením na jejich hlubinné zhutnění.

Nejdůležitějším rysem nesoudržných zemin je jejich relativní hutnost. Jednou z nejstarších a nejrozšířenějších stavebních technologií v historii civilizace je právě povrchová úprava vlastností zemin jejich zhutňováním. Vycházela z primární zkušenosti, že zrnité materiály je možno rychle přivést dusáním do hutnějšího stavu s vyšší únosností (obr. VI. 107). Z hlíny dusané do bednění se také stavěly i stěny různých obydlí od starověku až přes středověk. Je známo, že staří Římané dosahovali vysokých pevností svých přírodních betonů usilovným dusáním suché směsi po malých vrstvách. Tak byly ostatně podle návodu profesora Stanislava Bechyně zřizovány i vysoce kvalitní betony našich válečných opevnění. Postupně se technologie hutnění během staletí zvolna vyvíjela a byla inovována do různých variant. Avšak vzhledem k malé tíže dostupných nástrojů a nedostatečných prostředků mechanizace se hloubkový dosah hutnění dlouho omezoval na poměrně málo silné vrstvy.

Teorii povrchového hutnění prozkoumal teprve roku 1933 kalifornský inženýr **Ralph R. Proctor** a odvodil standardní zkoušky, dlouhodobě pak používané v celém světě. Problematika hutnění se značně pozměnila s nástupem těžkých stavebních mechanismů v polovině 20. století. Rozběhlo se několik cest nových technologických postupů s vyšším energetickým efektem. Jedna z nich vedla k intenzifikaci povrchového hutnění zavedením specifických strojů, jejichž účín dosahoval do hloubky až několika metrů. Roku 1983 tak vynalezl jihoafrický inženýr Audrey R. Berrage hutnicí mechanismus s **nárazovým trojbokým (polygonálním) rotačním tělesem**, a tedy s dynamickými účinky úderu. Místní firma **Landpac** jeho patent koupila a od začátku devadesátých let rozšířila užívání tohoto typu mechanismů do celého světa. Obvykle je dosahována energie hutnění zhruba 2,5 tm a dosah je až do hloubky 2,5 m (obr. VI. 108).



Obr. VI. 107: Příprava staveniště s různými postupy zhutňování podkladu pro základy po předepsaných tenkých vrstvách s prolohami zrnitého materiálu podle předpisu čínské dynastie Sung roku 1103

Jinou cestou se na začátku devadesátých let vydal známý britský výrobce zařízení pro speciální zakládání, firma BSP. Podnětem byla vládní zakázka na rychlé opravy vojenských letišť v případě války. Firma zavedla úpravu hydraulického beranidla na **rychlónárazový kompaktor** s energií úderu 10–50 tm a s dosahem do hloubky až 4 m. Obě uvedená zařízení pro nárazové hutnění jsou vhodná zejména k účinnému zhutňování navážek pro plošné založení staveb.

Hlubinné zhutňování se začalo vyvíjet zhruba ve dvacátých letech minulého století. Mezi první znaky nového přístupu k těmto procesům patřilo pozorování účinků otřesů na základovou půdu v okolí beraněných pilot na konci předchozího století. K podstatnému pokroku pak došlo s technologicky lépe zvládnutým zaberaněním a opětovým vytloukáním dočasných ocelových výpažnic. Po 1. světové válce bylo tohoto postupu využito i pro zřizování ražených **zhutňovacích a drenážních pískových pilot**, nejprve v USA a pak i v Evropě.

Samostatnou cestu pro hlubinné zhutňování představovalo experimentální využívání účinku podzemních odstřelů. Od poloviny minulého století se ojediněle provádělo i masivní zhutňování podzákladí **odstřely výbušnin**. Bylo tak například roku 1960 upraveno podzákladí obtokového kanálu přehrady Kaptai na řece Karnafuli v nynějším Bangladéši americkou firmou Utah International.



Obr. VI. 108:
Zařízení pro rotační
nárazové hutnění
zemín s trojbokým
odvalovacím
mechanismem
jihoafrické firmy
Landpac z roku 2010

Hlubinné vibrozhutňování

Velkým technologickým pokrokem bylo ve třicátých letech zavedení ponorných horizontálních vibrátorů, a to již výlučně za účelem hlubinného zhutňování (viz kapitola III., str. 32). Záhy se ukázalo, že pro **hlubinné vibroflotační zhutňování** zemín je velmi výhodné kombinovat ponornou vibraci s pomocným výplachem vodou nebo později i vzduchem. Dynamickým účinkem vibrace docházelo ke ztekucení písčitých zemín a ke snadnému přeskupování jejich zrn do hutnější struktury. Druhotným účinkem proto bylo i snížení filtrační propustnosti.

Za 2. světové války se tato technologie rozvíjela hlavně v USA, ale po jejím skončení se rychle rozšířila do celého světa. Základní princip metody vibroflotace se během desetiletí příliš neměnil, ale technicky se stále vyvíjel vlastní nástroj, tzv. **vibroflot**. Hledaly se cesty k účinnějšímu a výkonnějšímu prostředku. Proces se řídil podle odezvy měřené spotřebou energie vibrátoru. Obvykle docházelo podle okolností ke zhutnění v rozsahu 2–4 m okolo vpichu. V sedmdesátých letech se prováděla vibroflotace do hloubek 30 m a na začátku 21. století již do 60 m. Metoda se velmi úspěšně prosadila zejména u přímořských staveb a na uměle naplavených územích (obr. VI. 109).

Obr. VI. 109:
Souprava dvojitých
vibroflotů z flotily
16 vysoce výkonných
vibroflotačních
zařízení nasazených
roku 2007
na vibrohutnění
umělého poloostrova
dubajského Palm
Project do hloubky
15 m (Soletanche-
Bachy/Vibroflotation
Group)

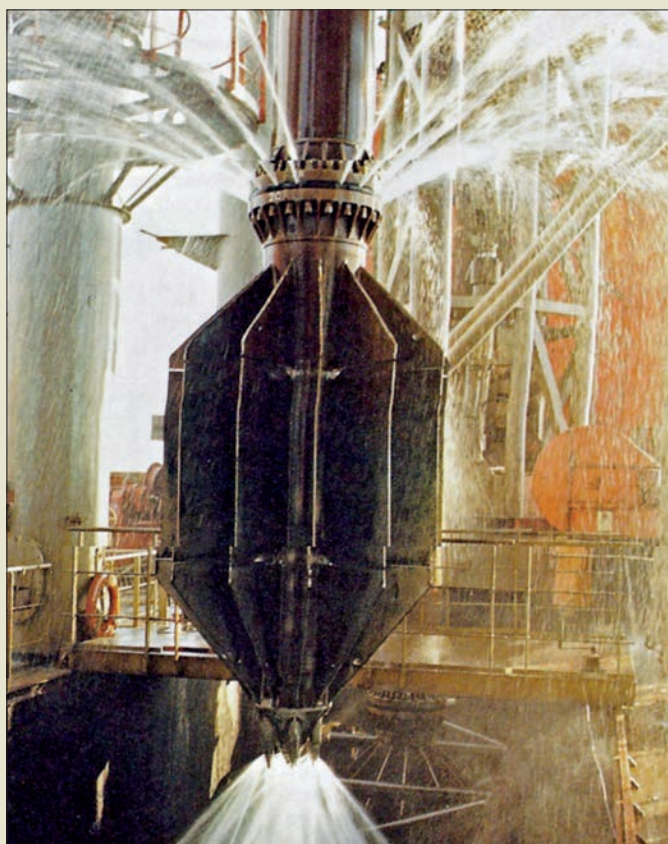




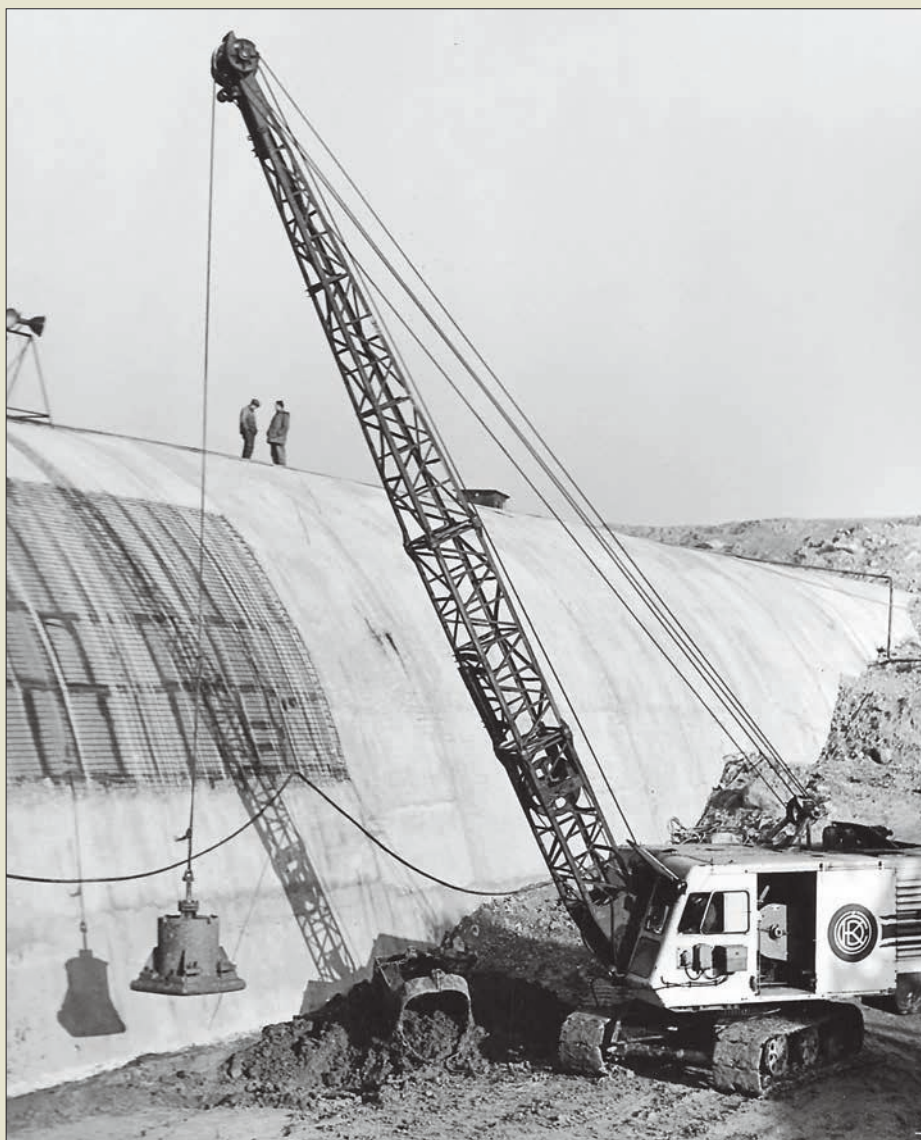
Obr. VI. 110: Použití hydraulického ponorného vibrátoru na stavbě Nedakonice roku 2005 (Zakládání staveb, a. s.)

V tuzemsku byla vibroflotace poprvé prováděna s hydraulickým ponorným vibrátorem francouzské firmy PTC roku 2005 na stavbě železničního podjezdu Nedakonice na Moravě. Podařilo se tam výrazně snížit propustnost jemných písků ve dně stavební jámy (obr. VI. 110).

V padesátých letech se s objevem první generace silných **vertikálních vibrátorů** (viz kapitola III., str. 26) tato technologie stala alternativou pro hlubinné vibrační zhutňování. Mohutné povrchové vertikální vibrátory mohly poskytnout mnohonásobně větší dynamický účín, a to i přes velké výkonové ztráty, než rozměrově omezené podzemní vibrofloty. V podmínkách zvodnělých písků byla tato výhoda rozhodující, zejména pro úpravu písčitého dna na velkých mořských stavbách. Nejdříve se tato metoda zaběhla v Japonsku a později v Nizozemsku i dalších zemích. Postupně byly vyvíjeny i různé ocelové prvky pro účinný přenos vibrací z povrchového zdroje do zeminy v podzákladí (obr. VI. 111), od devadesátých let pak vibrátory, které bylo možno vyladit na rezonanční frekvenci dané vrstvy půdy a tím v ní dosáhnout většího účínu. S touto výhodou se pak dalo efektivně pracovat do hloubek přes 50 m.



Obr. VI. 111: Ponorný nástroj hlubinného vertikálního vibrátoru pro zhutňování vrstvy 15 m písčitého mořského dna v hloubce 20 m pod hladinou pro výstavbu námořní bariéry v zálivu Oosterschelde na konci sedmdesátých let v Nizozemsku. Mohutné speciální plovoucí zařízení Mytilus bylo vystrojeno baterií čtyř takových mechanismů pracujících současně v jedné řadě.



Obr. VI. 112: *Hutnění
sprašovitých hlín
deskou v místě
křížení štoly s těsnicí
clonou prováděné
podnikem Vodní stavby
na stavbě vodního díla
Nechranice roku 1967*



Obr. VI. 113:
*Ménardova souprava
pro dynamické
hutnění/konsolidaci
s pěchem o tíže
170 t a výšce pádu
22 m na stavbě
dráhy letiště v Nice
prováděné roku 1978
firmou Ménard*



Obr. VI. 114:
Dynamické hutnění/
konsolidace pro
úpravu skládky
Spolany Neratovice
provedené roku 1994
firmou Soletanche
ČR. Pěch o tíze 15 t
a s výškou pádu 20 m
působil na vrstvu
různorodých odpadů
o mocnosti 7,5 m.

Dynamické zhutňování

Historickým dokladem prvních větších pokusů s dynamickým hutněním pomocí pádu pěchu z větší výšky je pojednání francouzského architekta Jeana-Baptisty Rondeleta z roku 1812. Experimentoval se zhutňováním zeminy pod budoucími základy, a to pádem pěchu o tíze až 2 t z výšky až 20 m, což poskytlo energii úderu 40 tm. V meziválečném nástupu průmyslových prostředků výstavby se v různých zemích uskutečnilo mnoho rozmanitých pokusů hutnění zemin do hloubky silným rázem volnopádu těžkého pěchu na povrch. Omezujícím faktorem však byla například v Německu kapacita tehdejších upravených parních rypadel a dostupných litinových desek pro pěch. Panovaly také teoretické pochybnosti o výsledcích, a tak se obvykle používala deska jen o tíze do 1,8 t a výška pádu do 1,5 m, tedy s účinkem energie do 2,7 tm. Podle toho se pak dlouho užíval název „hutnění deskou“. V prvních desetiletích po 2. světové válce stouply s dostupností silnější mechanizace obvyklé parametry používaného hutnění až na tíhu pěchu do 3 t a výšku pádu do 6 m, tedy na energii 18 tm. I v tuzemsku se podobné práce realizovaly již na konci padesátých let a občasně i později (obr. VI. 112). O jejich teoretický podklad a rozvoj se tehdy zasloužil význačný geotechnický odborník Prof. Ing. Jiří Škopek, DrSc.



Obr. VI. 115: Vtisk do povrchu skládky Spolany Neratovice po prvním dynamickém rázu pěchu v místě nejvíce oslabené zóny základového prostředí s kalovými odpady

O zásadní průlom v prosazení zcela inovované metody **hlubinného dynamického zhutňování** se roku 1969 zasloužil francouzský inženýr **Louis Ménard**, slavný geotechnik, který již jako student vyvinul **pressiometr** pro přímé měření zemního tlaku v průzkumném vrtu a v roce 1955 ho zavedl do praxe. Tím podstatně ovlivnil vytvoření specifického, na tyto průzkumné podklady orientovaného přístupu k navrhování geotechnických konstrukcí. Tento přístup následně převážil ve Francii a částečně i v zemích Beneluxu.

L. Ménard studoval výše uvedené technologické pokusy hlubinného zhutňování a uvědomoval si vysokou energetickou míru dynamických účinků potřebnou pro dosažení výrazného zlepšení. Začal proto experimentovat s podstatně vyššími parametry pěchu o tíze 8 t při volnopádu z výšky až 10 m, tedy s teoretickým účinkem 80 tm. Vypracoval nové dynamické hypotézy rázového působení metody a zavedl detailně promyšlené technologické postupy pro dosažení efektivních výsledků. Ze svých praktických zkušeností odvodil teoreticky i působení silných rázů na **dynamickou konsolidaci** soudržných zemin (viz část A této kapitoly, str. 229).

Principem provádění těchto prací byla **observační metoda** upřesňování návrhu podle odezvy základového prostředí při sériích rázů v určité plošné síti. Ménardova teorie se v praxi brzy osvědčila, převzali ji následovníci a prosadila se na mnoha dalších projektech, většinou s obvyklým parametrem dynamického účinku v rozsahu 300–500 tm. Byly ale snahy o další zvyšování tíhy pěchu a výšky volnopádu. Sám Ménard dosáhl rekordu roku 1978 na projektu své firmy pro startovací dráhy na letišti v Nice, když pro souběžné zhutnění a konsolidaci souvrství kyprých násypů, tuhých slínů a měkkých písčitých jílu o celkové mocnosti 40 m použil účinnou energii téměř 4000 tm (obr. VI. 113).

V tuzemsku bylo na odpovídající odborné úrovni provedeno roku 1994 dynamické zhuštění i konsolidace pro sanaci toxické skládky Spolany Neratovice o plošném rozsahu 13,5 ha. Při jejím provádění tehdy osobně asistoval Ménardův nejbližší spolupracovník profesor Michel Gambin z Paříže. Byla zde nasazena poloautomatická volnopádová souprava Liebherr 851 s pěchem o tíže 15 t a s výškou pádu 20 m, tj. s jmenovitým energetickým účinem 300 tm (obr. VI. 114).

Jednalo se o dynamickou úpravu skládky z různorodých odpadů, včetně odvodněných chemických kalů a popelovin o celkové mocnosti 7,5 m, uložené na šterkopískovém podzákladí. Bylo třeba tyto heterogenní materiály integrovat do relativně stejnorodě reagující vrstvy základové půdy. Práce probíhaly ve třech fázích při neustálé úpravě postupů observační metodou podle odezvy prostředí v daném půdním vtisku (obr. VI. 115). Účin působil do hloubky 10 m a celkové zlepšení dosáhlo násobku 1,9.

KONSOLIDACE SOUDRŽNÝCH ZEMIN

Všeobecně

Hlavním rysem soudržných zemin je obsah vody v jejich těsné struktuře, který se vytlačuje při zatížení jen velmi zvolna. Historie zná dlouhou řadu příkladů sesuvů svahů nebo pomalého sedání staveb založených na nekonsolidovaných zeminách. Obrovské zigguraty před tisíci let v Mezopotámii si postupně sedly o několik metrů a musely být pak navyšovány. Stejně tak sedaly později buddhistické pagody v Asii a jiné podobné stavby všude ve světě. Během staletí se projevíly nesčetné poruchy staveb v důsledku nadměrného a nerovnoměrného sedání, dokonce celých měst, jako je Mexico City nebo Göteborg ve Švédsku. A důsledkem sedání došlo i ke zřízení významných staveb, například roku 985 musela být zbourána porušená kamenná věž kostela Ramsey Abbey v Anglii, a to sotva deset let po svém dokončení. V roce 1902 se zřítla slavná, téměř 100 m vysoká zvonice baziliky svatého Marka v Benátkách, postavená dávno ve 12. století. Ve světě také existuje velké množství zachovalých, ač silně nakloněných věží, z nichž ta nejznámější, šikmá věž v Pise z 12. století, dosáhla maximálního sedání 3 m.

Metody urychlení konsolidace

Již ve starověku se doporučovalo vyhnout výše uvedeným obtížným základovým podmínkám, a je-li to možné, nevhodnou stlačitelnou zeminu vykopat a nahradit jinou, nestlačitelnou základovou půdou. Nové budovy se také přednostně stavěly na místě původních, s již zkonsolidovaným podzákladím. Pravidlem to bylo například v Benátkách.

Z těchto zkušeností byla po dlouhém čase odvozena nejjednodušší empirická metoda, jak uměle dosáhnout konsolidace a zpevnění podzákladí v soudržných zeminách. Znamenalo to dočasně základovou půdu **staticky předtížit**, obvykle násypem, a potom poměrně dlouho čekat, až zemina stlačením zmenší svůj objem. Závěrem bylo nutno násyp opět pracně odstranit, anebo upravit a pokračovat ve stavbě. To vyžadovalo velkou kapacitu zemních prací, a proto se většinou tento způsob využíval u naspů dopravních staveb. Prvním z historicky dokumentovaných příkladů využití této metody je práce anglického inženýra **Thomase Telforda** na stavbě Kaledonského kanálu ve Skotsku roku 1822.

U nás byl tento způsob úpravy podzákladí poprvé použit roku 1956 v severočeském hnědouhelném revíru pro založení mostního objektu. Návrh tehdy vypracoval náš přední odborník v oboru zakládání staveb Prof. Ing. Dr. **Zdeněk J. Bažant**, DrSc. Mezerovitý odval převážně jílovité výsypky o hloubce 13 m byl zatížen výsypkovým násypem o výšce 10 m po dobu 12 měsíců. Očekávané sedání úspěšně proběhlo již v primární fázi, v průměrné hodnotě 600 mm. Od té doby se stejná metoda nadále v oblasti výsypek účinně využívá.

Hlubinné drénování

K zásadnímu pokroku vedly závěry zkoumání geotechniky, k nimž dospěl roku 1923 profesor Terzaghi svou **teorií konsolidace**. Upozornil na podstatný vliv primární konsolidace, při které dochází vlivem zatížení k odfiltrování vody z pórů zeminy. Brzy nato se přirozeně objevily další výzkumy upozorňující zejména na to, že sekundární konsolidace v důsledku dotvarování pevných částic zemin není mnohdy natolik důležitá. Rozhodujícího urychlení procesu konsolidace mohlo tedy být dosaženo vertikální **hlubinnou drenáží**. To předpokládalo vytvořit krátkou horizontální cestu filtrace ke snadnému vyvedení vody vytlačované z pórů svislým směrem na povrch.

Od poloviny dvacátých let se podle této teorie používaly na projektech v USA **svislé pískové drény** ve formě pilot. Vynalezl je roku 1925 kalifornský inženýr Daniel E. Moran. Byly od počátku zhotovovány s výplní z hrubého písku do zaražené dočasné výpažnice o průměru 30–60 cm se ztracenou botkou (viz též část A této kapitoly, str. 224). Původně byly využity v pobřežních měkkých náplavech s předpokladem smíšeného vlivu jak roztlačovací, tak drenážní funkce. Od roku 1934 se pak široce uplatnily na mnoha amerických dálničních projektech se zaměřením výlučně na drenážní chování. Za tímto cílem byl proveden podrobný výzkum, z jehož výsledků vyplynula i doporučení na omezení prohnětení a roztlačení přilehlých stěn vrtu při instalaci pískového drénu.

Na počátku padesátých let se již tato metoda rozšířila do celého světa a byla hromadně využívána zejména pro konsolidaci podzákladí sedimentů na mořském dně u nově nasypných rozsáhlých pobřežních území poválečné výstavby v Nizozemsku a hlavně Japonsku. Japonci převzali z Kalifornie princip předražené výpažnice, přičemž využili svého poválečného technického náskoku v zavedení silných vertikálních vibrátorů a vsadili především na tuto razicí technologii. Stejná metoda pak byla nasazena například na konci osmdesátých let v obrovském rozsahu pro výstavbu mezinárodního letiště Kansai na umělém ostrově u japonského města Ósaky (obr. VI. 116).



Obr. VI. 116: Jedna z flotily několika obřích plovoucích souprav s baterií vibračně zarážených ocelových výpažnic se ztracenou botkou, použitých koncem osmdesátých let pro zřizování pískových drénů o průměru 40 cm do hloubky 20 m pod mořské dno pro letiště Kansai



Obr. VI. 117: Instalační vrt pro pískový drén zhotovený vplachováním na stavbě komplexu námořních bariér pro ochranu vnitrozemí v Nizozemsku roku 1955. Výplň pískem byla prováděna ručně z předem připravených hromad materiálu.

Tento případ také ukazuje, jak je někdy obtížné až nemožné vyřešit všechny nástrahy základové půdy i při veškerém průzkumu a výzkumu. Příroda skutečně vydává svá tajemství jen postupně. Byly zde provedeny 2 miliony pískových drénů do hloubky 20 m v podzákladí z pleistocenních jíllů na mořském dně 30 m pod hladinou. Násyp ostrova byl 34 m vysoký a předpoklad celkového sedání byl tehdy stanoven na 8 m. Roku 2016 však maximální sedání dosáhlo již 16 m, takže plocha letiště musí být občas navyšována dalším násypem a sloupy letištních budov jsou přizvedávány hydraulickými lisami. Sedání stále pokračuje a odhaduje se na další desítky let.

Již koncem padesátých let byl ovšem technologický účín raženého instalačního vrtu pro pískové drény hodnocen jako principiálně spíše nepříznivý. Záviselo to na odlišných geotechnických podmínkách v některých zemích, zejména v Nizozemsku. Roztlačení a prohnětení stěn mohlo omezit hlavní drenážní funkci, a proto se začala dávat přednost technologii **vodního vplachování** (obr. VI. 117 – též kapitola III., str. 35–36).



Obr. VI. 118: Těžká vibrační souprava firmy Soletanche pro instalaci geodrénů do hloubek desítek metrů v devadesátých letech



Obr. VI. 119: Vakuová konsolidace na stavbě kontejnerového terminálu Gemalink na řece Cai Mep River v jižním Vietnamu v roce 2010. Zlepšení vlastností měkkých jílů na ploše 600 x 60 m do hloubky 36 m prováděla firma Ménard.

Ani tento způsob však nebyl v některých podmínkách spolehlivý. Docházelo k zavalování vrtu a přerušování průběhu drénu. Pokrok přinesla alternativní metoda **páskových prefabrikovaných drénů**. Vynalezl ji již roku 1937 švédský inženýr **Walter Kjellman**, zpočátku však trpěla dětskými nemocemi kvůli nedostatečně kvalitnímu materiálu. Velkou výhodou těchto drénů byl podstatně menší průřez, a proto i mnohem snadnější instalace. Nejprve sice W. Kjellman experimentoval s křehkým filtračním papírem na kartonové kostře a jen do hloubky 5 m. Koncem čtyřicátých let se však jeho výtečný nápad široce ujal a vznikaly podle něj různé typy stále kvalitnějších páskových drénů i způsoby technologické instalace. Obvyklý průřez drénu byl zhruba 100 x 5 mm. Od sedmdesátých let jich bylo na trhu již kolem 50 druhů, přičemž se nejvíc prosazovaly konstrukce z trvanlivých plastů. Vžil se pro ně název **geodrény**. Pro jejich instalaci postupně převážila technologie **vibračního vhánění** zářezcí ocelové jehly, která byla na konci století již schopna dosáhnout hloubek 50 m a velmi vysoké produktivity cca 2500 m osazených drénů za den (obr. VI. 118).

Další významnou inovaci metod konsolidace zemin přinesl opět švédský vědecký pracovník W. Kjellman, který roku 1947 uskutečnil první terénní pokus s **vakuovou konsolidací**. Prokázal, že při zakrytí plochy s výstupy geodrénů vzduchotěsnou geomembránou lze v tomto uzavřeném prostoru účinně vytvořit podtlak a významně tak zvýšit funkci odvodňování z vertikálních drénů. Podařilo se tím zcela vyloučit potřebu předtížení násypem a získat výrazné prováděcí úspory. Od té doby se tato metoda a její kombinace velmi úspěšně rozšířily po celém světě a tvoří součást trvalé technologické výbavy metod speciálního zakládání (obr. VI. 119).

U nás se začaly svíslé drény používat vzhledem k málo příznivým přírodním podmínkám relativně pozdě a omezeněji než v jiných zemích. K jejich prvnímu rozsáhlému využití došlo až roku 1999 na úseku pro dálnici D1 u Přáslavic. Prováděly se tam konvenčně vrtané pískové drény o průměru 40 cm do hloubky kolem 10 m. Zhruba od poloviny devadesátých let byla v tuzemsku také občasně nasazována souprava firmy DS Holding vlastní výroby pro zatlačování páskových drénů. Měla však omezenou kapacitu instalace jen do hloubky cca 6 m.

ZMRAZOVÁNÍ

Všeobecně

Technologie zmrazování se poněkud vymykají užívanému zařazení. Podle klasifikace ISSMGE jsou sice zahrnuty do souboru metod termální stabilizace soudržných zemin, ale mohou být uplatněny i ve zvodnělých zeminách nesoudržných. Mají také technologicky mnoho společného s metodami zlepšování příměsmi. Jejich principiálním cílem je totiž, stejně jako u injektáží, vytvořit blok zpevněné či utěsněné základové půdy, tentokrát ale bez působení fyzikálně-chemických reakcí injektčně vnesené látky do prostředí. Jde o „pouhé“ působení teplotní změny na stav přítomné vody, tedy **termické zlepšení** vlastností základové půdy.

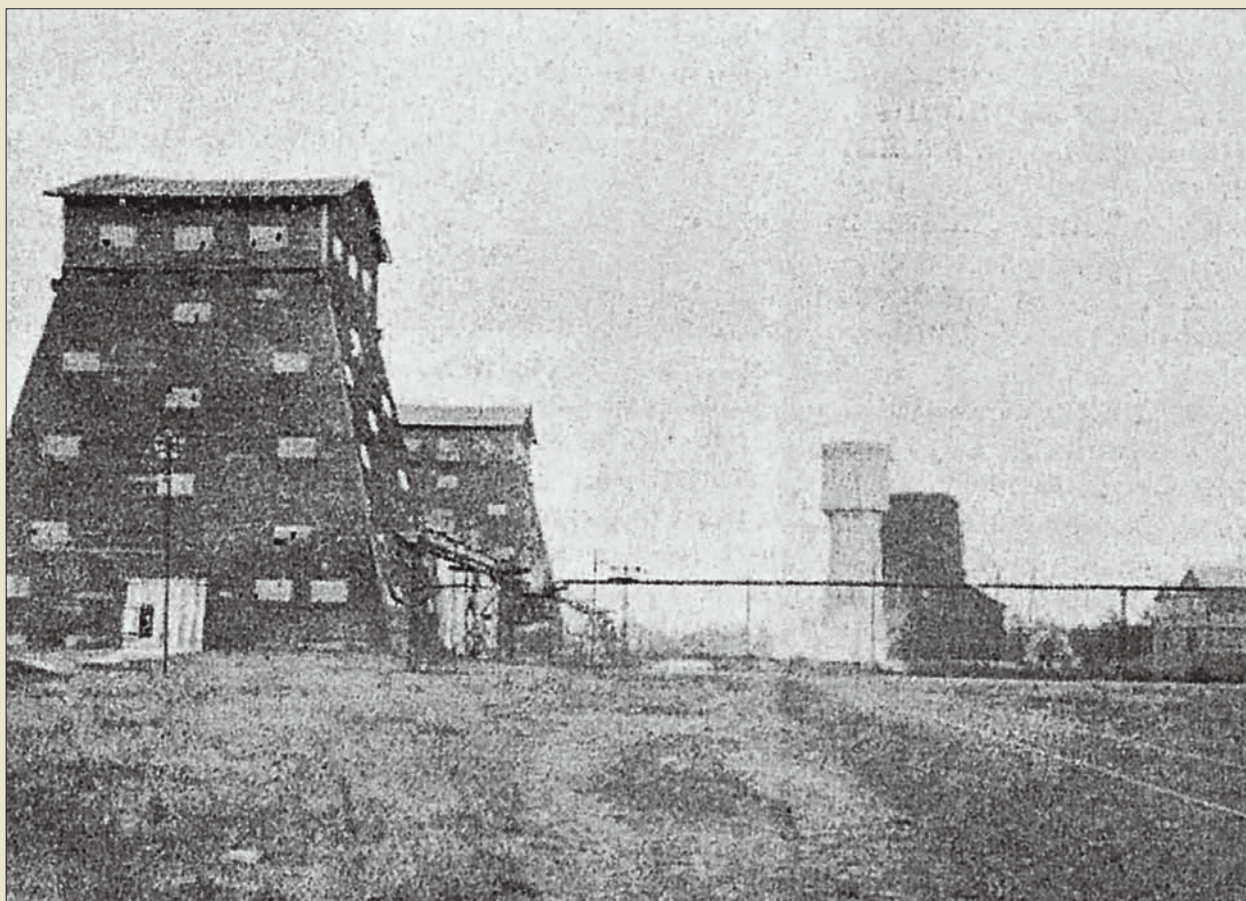
Technologicky podobné je i využití typicky injektážních technických prostředků – konvenčního vrtání, trubních rozvodů do vrtů a tlakového čerpání. Technologie zmrazování se sice jakoby odvíjí paralelně od injektáží, ale v závislosti na úplně jiném přenosovém médiu zde byly zavedeny zcela odlišné technologické postupy.

Metodu si doslova vyžádal na konci 19. století báňský průmysl a jeho naléhavá poptávka po zpevnění tekoucích písků. Jednalo se o to, vyřešit problematiku zřízení důlních šachet přes vrstvu jemných písků nasycenou tlakovou vodou. V takových podmínkách obvykle pokusy překonat potíže konvenčními postupy končily havárii. V mělkých poměrech vedlo ve Francii roku 1839 dřívější hledání řešení k vynálezu přetlakového kesonu (viz kapitola V., str. 111). Když pak bylo roku 1912 touto metodou dosaženo u dolu Diergardt III u Duisburgu krajní hloubky 51 m pod hladinou podzemní vody při vnitřním přetlaku 3 atm, metoda narazila na hranice své použitelnosti. Technicky to nezvládly ani injektáže cementem, o které se koncem osmdesátých let pokoušel francouzský inženýr Portier. Intenzivní hledání jiné možnosti vyústilo posléze v pokusy zvodnělé zeminy zmrazit. Hlavní výhoda byla spatřována v naprosté nepropustnosti zmrazené zeminy a její dvojnásobné pevnosti oproti betonu.

Inspirace pocházela přirozeně z Francie, kde se již od poloviny 17. století používaly chladicí systémy pro nápoje a kde byl roku 1835 objeven stlačením plynu „suchý led“. Četné pokusy k širšímu využití chlazení i mrazení přivedly v roce 1859 všestranného technika Ferdinanda Carrého k sestrojení absorpčního čpavkového stroje, který udal směr dalšího vývoje. Zásadní průlom představoval roku 1875 patent německého inženýra **K. P. G. Lindeho** na **čpavkový chladicí stroj s kompresorem**, již využitelný i v průmyslovém měřítku.

Zmrazování solankou

První realizace zmrazení zeminy je dokumentována roku 1862 pro důlní šachtu v jižním Walesu. V roce 1883 potom patentoval úspěšnou metodu zmrazování pro výstavbu důlních šachet německý báňský inženýr **F. H. Poetsch**. Využívala **nepřímého přenosu** mrazu cirkulací chladicího média, obvykle konvenční **solanky**, v uzavřeném okruhu skrze speciálně vystrojené vrty a s opětovným ochlazením média ve stanici na povrchu. Metoda se velmi rychle rozšířila a pro svou vysokou spolehlivost se po dlouhou dobu stala nejužívanější technologií ke zvládnutí potíží při hloubení šachty. Byla tak zajištěna výstavba množství důlních šachet ve světě do hloubek až několika set metrů. Například roku 1924 byla touto metodou zmrazena základová půda pro šachty Helchteren a Zolder v severní Belgii do hloubky 620 m (obr. VI. 120).



Obr. VI. 120: Rozsáhlé povrchové zmrazovací zařízení pro šachty Helchteren a Zolder v severní Belgii roku 1924

Vynikajících výsledků bylo sice dosahováno za obzvláště vysokých nákladů, ale ve skutečně kritických podmínkách se zmrazování prosadilo jako nenahraditelná metoda. Brzy se používalo i pro ražbu štol a stavebních tunelů nebo pro dočasné podchycování stavebních objektů. Roku 1955 bylo takto poprvé použito na stavbě stockholmského metra.

U nás byla Poetschova metoda nasazena poprvé roku 1895 pro hloubení šachty Venuše u Mostu. Jednalo se o novinku i v celém tehdejší Rakousku-Uhersku, což dokládá velký průmyslový předstih naší země v tehdejší říši. Metoda byla již provozně odzkoušena a vylepšena na mnoha stavbách v Německu, Belgii a ve Francii, ale její náklady odrazovaly od využití. V mosteckém revíru došlo však tou dobou k několika haváriím konvenčně hloubených šachet v tekutých píscích zvaných „kuřavky“ a v jílovité zemině zvané pro její snadnou rozbídivost „prchlice“. V červnu 1895 se dokonce při velké havárii na šachtě Anna zcela zřítilo 31 mosteckých domů a dva lidé zahynuli. Sesul se i násep železniční tratě, čímž bylo poškozeno dalších 35 domů.

Již v předchozím roce 1894 zahájené budování šachty Venuše narazilo v hloubce 32 m na tekuté písky. Vyskytovala se v nich oproti tvrzení průzkumu z vrтанých sond tlaková voda. Potíže při zřizování díla o vnitřním průměru 4,1 m se nepodařilo překonat ani pomocí zátažného pažení, ani přechodem na spouštěnou studnu, a tak těžba skončila v hloubce 44 m. S ohledem na již předem podle chybného průzkumu vystavěné provozní budovy dolu nezbyvalo majitelům než přistoupit na drahé, ale slibné hloubení zmrazováním. V prvních čtyřech měsících vyvrtaly čtyři vrtné soupravy přes značné obtíže v tekutých píscích 24 vrtů do hloubky 85 m. Ty byly vystrojeny mrazicími trubkami o průměru 125 mm (obr. VI. 121).

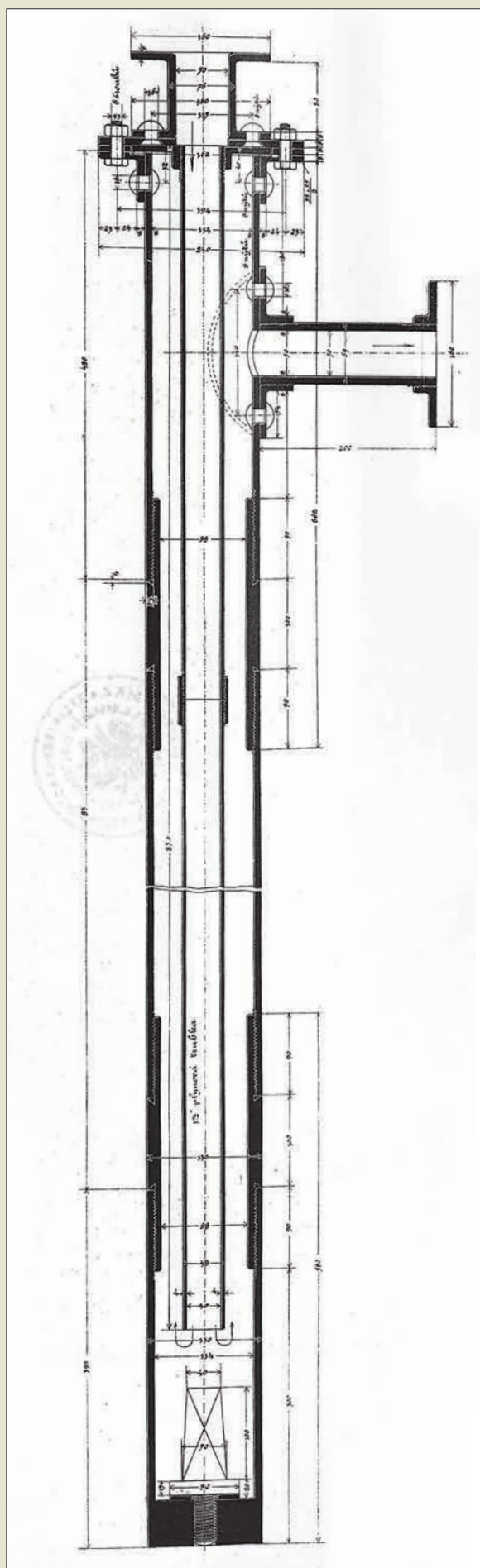
Byla také vystavěna rozsáhlá mrazicí stanice na parní pohon s třemi nezávislými sekcemi pro spolehlivou dodávku chladicí solanky o teplotě $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Většinou však pracovaly pouze dvě z nich a jedna byla záložní. Zledňování trvalo šest měsíců a pak bylo možno obnovit hloubení jámy. Úsek zmrazený do 80 m byl postupně vyhlouben a vyzděn během tří měsíců. Poté byla šachta zaplněna horkou vodou pro urychlené odlednění a následnou kontrolu případných průsaků. Za další čtyři měsíce, po vyčerpání vody, bylo na díle vše shledáno bez průsaků a práce pak mohly v polovině roku 1896 pokračovat podle původních plánů do hloubky 150 m.

Stejná metoda zmrazování se pak u nás využívala u mnoha dalších důlních děl nejen na Mostecku, ale i v jiných revírech, například v polovině 20. století i v porubech mělkých lignitových dolů na Hodonínsku.

Zmrazování kapalným dusíkem

Roku 1962 byla ve Francii nově zavedena metoda **přímého přenosu** účinku mrazu do zeminy pomocí do vrtů začerpávaného **kapalného dusíku** o teplotě $-186\text{ }^{\circ}\text{C}$. Toto médium postačí jen dovážet na stavbu do zásobníků a odpadá tím náročná místní výroba pro zmrazování. Také lze dosáhnout větším teplotním gradientem nejméně o 20 % rychlejšího zmrazování, což je výhodné u krátkodobých stavebních akcí. Určitou nevýhodou, která omezuje využití této metody v podzemí, je nutnost volného odvětrávání otevřených vrtů (obr. VI. 122).

Obr. VI. 121: Detaily zmrazovací trubky při hloubení jámy Venuše u Mostu. Typické jsou nýtové spoje v hlavě a šroubová zátka v patě výstroje pro rychlé odmrazení zaplavením vrtů po dokončení obezdívky šachty.





Obr. VI. 122: Pracoviště firmy Stent Foundations pro zmrazování tekutým dusíkem do hloubky 30 m na stavbě vodního tunelového přivaděče Iver o průměru 2,54 m v Buckinghamshire v Anglii roku 1985. Je patrné volné odvětrávání vrtů.

Příkladně tuto metodu použila v roce 1987 rakouská firma SWIBO při výjimečně vhodné konfiguraci pro odvětrání i v podzemních prostorech na stavbě vídeňského metra úseku U3. Vytvořila tak v předstihu dočasnou ochrannou klenbu o délce 70 m ke zřízení vlastní tunelu pro průchod ve vzdálenosti 6 m pod stávajícími základy domů. Písečtá a štěrkovitá zemina zde sice byla nad hladinou podzemní vody, ale její vlhkost cca 3 % byla přitom dostatečná pro vytvoření bezpečného ledového štítu (obr. VI. 123).



Obr. VI. 123: Ochranná klenba zeminy zmrazené z 12 vrtů vyplněných kapalným dusíkem, zhotovená firmou Soletanche pro ražbu tunelu linky U3 vídeňského metra roku 1987



Obr. VI. 124: Zmrazené okolí břitu štítu soupravy TBM pod vějíří zmrazovacích vrtů se solankou pro výměnu řezných hlav stroje na stavbě podmořského tunelu Storebaelt roku 1994, firma Soletanche

Ukázkou rozsáhlého využití kombinace obou metod bylo v letech 1989 až 1995 zmrazování při stavbě 8 km dlouhého podmořského tunelu Storebaelt, spojujícího ostrovní části Dánska. Firma Soletanche jejich využitím zajistila pokračování výstavby ve velmi kritických místech. Technologie kapalného dusíku byla nasazena jen z otevřeného povrchu umělého ostrova, a to pro krátkodobou riskantní operaci uvolnění čel zavalených razicích štítů. Dlouhodobě bylo naopak nasazeno zmrazování velmi obtížných partií ražeb solankou cirkulující ve vrtech zřízených zevnitř tunelů. Jednalo se o místa křížení tunelů a komor pro výměnu řezných hlav razicích štítů (obr. VI. 124).

V České republice dosud nebylo v průmyslu stavebnictví zmrazování použito.

Č Á S T D

DEKONTAMINACE

Všeobecně

Sanace znečištění základové půdy je velmi speciální oblastí zlepšování jejích vlastností. Zabývá se problémy kontaminace zemního nebo horninového prostředí, podzemní vody a půdního vzduchu vlivem průmyslové činnosti či odpadů. Je to navýsost interdisciplinární obor s průnikem mnoha jiných profesí. Ačkoli se technologie pocházející z disciplín speciálního zakládání staveb uplatňují v celé rozsáhlé oblasti ochrany životního prostředí a odstraňování následků jeho poškození jen v menší míře, jsou významné a v některých případech nezastupitelné.

V obvyklých přehledech a klasifikacích metod provádění prací speciálního zakládání se utřídění technologických systémů užívaných na tomto pracovním poli nevyskytuje. Jejich rozrůznění je velmi pestré. Proto jsme námi zvolenou metodiku pro zjednodušený přehled jako obvykle uzpůsobili (obr. VI. 125). Je však třeba poznamenat, že vývoj v této oblasti je stále velmi dynamický a uvedené údaje se vztahují na přelom století. Podrobněji tedy pojednáme jen historicky důležité místní a časové souvislosti.

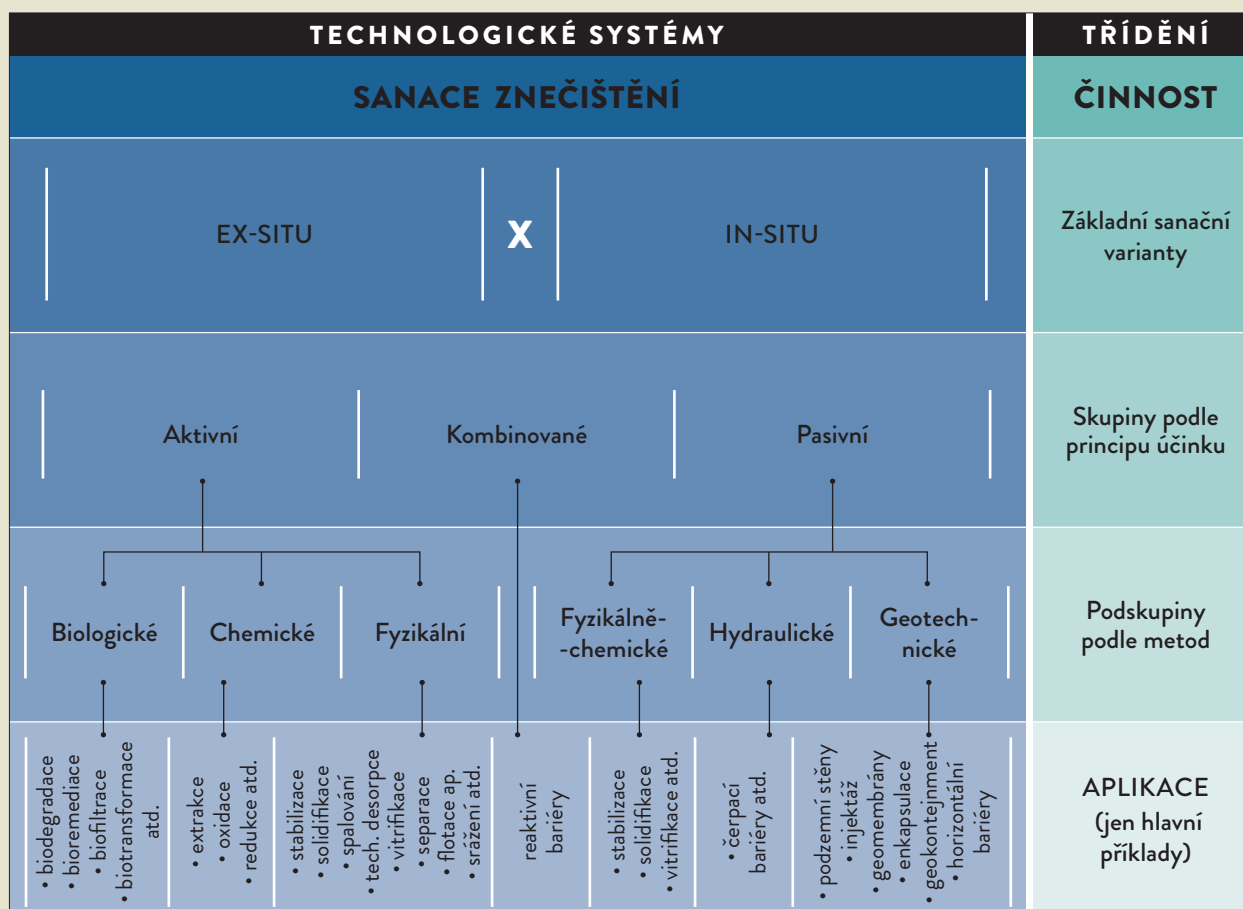
V dalším textu se soustředíme na varianty sanačních cest in-situ, které využívají technologie speciálního zakládání. Jde obecně o metody:

- **pasivní** – trvalá izolace, imobilizace a enkapsulace (tj. úplné uzavření) znečištění geotechnickými bariérami;
- **aktivní** – okamžité podrobení polutantů biologickým, chemickým, fyzikálním a podobným smíšeným reakcím;
- **kombinované** – speciálním způsobem spojující výhody předchozích metod.

Historické počátky

Poškození životního prostředí lidskou činností začalo celosvětově vycházet na veřejnost v polovině 20. století a vedlo ke vzniku **environmentalismu**, vlivného politicko-ekonomického směru.

Průkopníkem aktivit na ochranu životního prostředí byly v té době Spojené státy, jelikož tam na rozdíl od jiných zemí nebyly uvedené problémy zastíněny poválečnou devastací. Od počátku šedesátých let se pak veřejné mínění velmi silně aktivizovalo po závažných případech znečištění oceánu ropnými haváriemi, řek i zemědělské půdy chemikáliemi



Obr. VI. 125: Zjednodušený přehled sanačních variant a jejich technologických systémů na konci 20. století

a ovzduší průmyslovými exhalacemi. Symbolické se staly požáry na řece Cuyahoga u Clevelandu v Ohio, nejvíce znečištěné ropnými odpady. Od roku 1868 se za sto let opakovaly celkem třináctkrát. Obrázky největšího požáru této „Hořící řeky“ z roku 1952 se staly ikonou nového environmentalistického hnutí (obr. VI. 126).

Tyto aktivity významně ovlivňoval od roku 1965 v Americe působící anglický chemik a environmentalista James Lovelock svou formulací polonáboženské geosférické **teorie Gaia**. Jeho knihy se staly světovými bestsellery. Zpočátku se jeho myšlenky šířily v hnutí hippies, ale brzy se jich zmocnily americké antikapitalistické organizace a převedly je na vlivnou politickou ideologii nastupujícího globálního hnutí za čistou planetu. Pod tímto tlakem pak založila vláda prezidenta Nixona v prosinci 1970 agenturu pro ochranu životního prostředí EPA, která se stala vzorem pro vznikající obdobná ministerstva v mnoha dalších zemích. Následovala řada speciálních environmentálních zákonů, zejména zákon o odpadech roku 1976. Ten shrnul předchozí aktivity vyjádřené například velmi časně směrnicí pro výstavbu skládek ASCE z roku 1959. Nakonec byl v roce 1980 ustaven i tzv. Superfund, který udělil EPA rozhodovací pravomoce a vybavil ji financemi k ošetřování případů kontaminovaných území. Stal se tak hlavním iniciátorem vývoje sanačních metod.

Evropa se v environmentálních aktivitách poněkud opozdila v důsledku soustředění na poválečnou obnovu. Roku 1968 se zapojila do globálních aktivit ustavením tzv. **Římského klubu**, v němž se sdružili vůdčí představitelé těchto aktivit z různých zemí světa. Následná bližší spolupráce evropských zemí se projevila vydáním směrnice Rady EEC o odpadech v roce 1975.



Obr. VI. 126: Hořící vrstvy ropných odpadů na řece Cuyahoga v americkém Ohiu roku 1952

K celosvětovému trendu sanací značně přispěl i proslulý případ environmentální havárie v Evropě, jímž bylo roku 1980 široce publikované znečištění pod nizozemským sídlištěm Lekkerkerk. Deset let před výstavbou obytných domů zde bylo zahrabáno do násypů podzákladí asi 1600 barelů s chemickými odpady. Organické škodliviny se začaly uvolňovat na povrch do obydlené zástavby a úniky vysoce překračovaly hygienické limity. Řešení bylo tehdy ovšem extrémně nákladné – spočívalo v obtížném odtěžení přes 100 000 m³ kontaminované zeminy mezi základovými pilotami pod domy a v její likvidaci ex-situ ve spalovně (obr. VI. 127). Tehdy stála tato cesta úplné dekontaminace 65 milionů USD a vedla k hledání pravidel a měřítek sanací a k definování hygienicky přijatelných limitů zůstatkového znečištění.



Obr. VI. 127: Odtěžování kontaminované zeminy pod domy na sídlišti Lekkerkerk v Nizozemsku roku 1980 pro přepravu k její likvidaci ex-situ ve spalovně

V šedesátých letech bylo v různých zemích odhaleno mnoho podobných problémů, a proto se začínají v následujícím desetiletí vyvíjet první sanační metody. Intenzivní hledání a vývoj sanačních cest se rozběhl naplno a do konce 20. století již byla nabízená paleta metod téměř nepřehledná. Ve variantách sanačních zásahů se metody a technologie ošetření **ex-situ**, tedy s odtěžením a odvezením na zvláštní místo dekontaminace nebo likvidace polutantu, běžně kombinovaly s ošetřením **in-situ**, tedy se sanací daného prostředí v jeho přirozeném stavu na místě. Často se jinak a intenzivněji ošetřovalo ohnisko kontaminace, tzv. **hot-spot**, a jinak zbylé zasažené území. Obecně se dá říci, že americké metody byly spíše robustnější, zaměřené v širším spektru na velké objemy při nižších požadavcích na kvalitu výsledku, zatímco evropské metody byly propracovanější a sofistikovanější, soustředěné na nejefektivnější způsoby zásahu, a to i při přísnějších limitech zbytkového znečištění.

Situace ve světě

Přestože již na počátku vzestupu sanací finanční rozborů ukazovaly, že varianty geotechnické **pasivní izolace** znečištění by uspořily až 9/10 nákladů na sanační zásahy, začaly převládat radikální snahy o dosažení totálního vyčištění bez ohledu na výslednou cenu. Na začátku devadesátých let se zdálo, že tento zcela nový obor má před sebou obrovskou budoucnost a že bude pro sanační firmy „zlatým dolem“. Ty také rostly jako houby po dešti. Optimistický přehled odhadu potřeb sanací z roku 1992 uváděl jen v předních rozvinutých zemích budoucí objem trhu v celkové výši 780 mld. USD (obr. VI. 128). Pro srovnání uvedme, že v témže roce postihl stavebnictví pokles a souhrn všech nových kontraktů 225 největších mezinárodních stavebních firem činil celkově pouze 146,5 mld. USD. Tato skutečnost přispěla k diverzifikaci nabídek z environmentálního segmentu stavebnictví, dosud orientovaného převážně jen na budování skládek, nově i do trhu sanací, a tím k jeho rychlému přehřátí. Během dvaceti let však byly úspěšně provedeny tisíce sanací starých ekologických zátěží, především v největších rozvinutých zemích, takže bylo dosaženo výrazné pozitivní změny v celkové situaci znečištění životního prostředí.

ZEMĚ	POČET LOKALIT	ODHAD NÁKLADŮ
USA	329 950	752 (mld. USD)
Německo	137 585	83 (mld. USD)
Nizozemsko	110 000	25 (mld. USD)
Velká Británie	7 500	20 (mld. USD)
Česká republika	20 000	7 (mld. USD)

Obr. VI. 128: Odhad počtu lokalit a nákladů na sanace starých zátěží v předních rozvinutých zemích a ČR roku 1992

Již před koncem století ale přišly první signály dramatického omezení finančních zdrojů pro další sanace starého znečištění. Relativní ekonomická stagnace rozvinutých zemí neumožnila již dál uvolňovat finance na výdaje pro odstraňování dřívějších škod, které nijak podstatně nepřispívaly k produkci příjmů. Peníze na splácení starých a ututlaných vnitřních dluhů společnosti došly. Původní velkorysý záměr přetvořit všechna kontaminovaná území na nová **greenfields** se tak v 21. století změnil na kompromis – omezit existující ohrožení na úroveň přijatelnou pro účely jejich využití jako specifická **brownfields**. Začala se také více zkoumat možnost **atenuace**, tj. samovolného odbourání znečištění. Smrštění trhu ovšem přivedlo ryze sanační firmy k daleko intenzivnějšímu boji o uplatnění jejich nákladných technologií. Po velkém rozkolísání se trh nakonec usadil a stabilizoval, pokračoval ale na mnohem nižší úrovni objemu prací, než se očekávalo.



Obr. VI. 129:
Laguna směsi
odpadů v dehtovém
ložisku divoké
skládky o ploše
cca 1 ha ve Skalně
u Chebu v době
těsně před
sanačním zásahem
roku 1997

Situace v ČR

U nás byl přijat první zákon o odpadech až po změně režimu roku 1991. Stal se pak zásadním dokumentem pro sanace starých zátěží spolu s privatizačním zákonem, který stanovil závazek státu na odstranění starého znečištění. Sanace starých zátěží byly následně organizovány Fondem národního majetku (FNM). Z doby „reálného socialismu“ existovaly v tuzemsku velmi těžké zátěže z nedbalé průmyslové činnosti, jako byly široce známé laguny odpadů Ostramo uprostřed sídliště v Ostravě nebo dioxinové haly v Neratovicích, rázem opuštěné v okamžiku, kdy zemřeli první lidé z provozu. Z dalších lze jmenovat chemickou skládku vysoce nebezpečných odpadů Chabařovice apod. Vyskytovaly se také dnes již neuvěřitelné případy bezohledného promíchání všemožných komunálních odpadů do stávající nezajištěné a nebezpečné průmyslové skládky z dřívější doby, jako například ve Skalně u Chebu (obr. VI. 129).

Přes různé technické problémy sanace vcelku úspěšně probíhaly. Postupně se ale začaly objevovat pochybnosti o zadávání a řízení těchto prací, jež vyvrcholily roku 2011 zejména v souvislosti s několikanásobným navýšením zakázky sanace areálu Škody Plzeň. To vedlo následně ke zrušení připravovaného obřího Ekotendru, jehož náklady se odhadovaly na 110 mld. Kč a který měl sloučit všechny sanace ekologických zátěží v ČR. Provádění sanací se poté dále utlumilo, ačkoli závazky státu z privatizačních smluv trvaly.

PASIVNÍ METODY

Historickým předchůdcem pasivních bariér byly klasické hydraulické bariéry, zřizované již v první polovině 20. století, které zabraňovaly šíření znečištění čerpáním podzemní vody ze sítě vrtů okolo zdroje. Budovaly se obvykle okolo ropných rafinerií a podobných průmyslových podniků. Udržování těchto bariér v provozu však bylo velmi nákladné, a proto se hledalo principiálně jiné řešení. Na našem území byla tato bariéra využívána v mimořádném rozsahu od roku 1977 při uranové těžbě loužením in-situ v lokalitě Stráž pod Ralskem. A je třeba ji trvale udržovat v chodu i nadále, což stále načítá vysoké provozní náklady již uzavřeného surovinového zdroje.

Pasivní enkapsulační metody byly zpočátku založeny na zřizování poměrně jednoduchých vertikálních bariér z podzemních těsnících stěn (viz kapitola V., část E, str. 157–166) pro zamezení dalšího šíření znečištění. To bylo ovšem možné jen při existenci dostatečně vhodného tzv. **kompetentního nepropustného podloží** pod ložiskem kontaminace. Jednalo se v podstatě o novou aplikaci již užívaných vodotěsných clon na vodních dílech. Jednou z prvních takových akcí byla podzemní jílocementová clona o hloubce 10,5 m kolem hliníkárný v alsaském Biesheimu, vybudovaná firmou Soletanche roku 1965. V tuzemsku byla první bariéra proti znečištění zřízena roku 1973 v chemičce Semtín tehdejšími závodem 07 podniku Vodní stavby. Speciální výplň z jílobetonu a přísad zde byla navržena na chemickou agresivitu o značné kyselosti pH 1,12.

Postupem času byly enkapsulace doplňovány i svrchní **vodorovnou bariérou** zakrývající ložisko znečištění, která byla vlastně verzí spodní těsnící bariéry zřizované pod novou skládkou odpadů. Jeden z prvních projektů tohoto druhu provedla opět firma Soletanche ve spolupráci s EPA v Salt Lake City v americkém Utahu při sanaci staré skládky ropných odpadů Rose Park roku 1983. U nás byla tímto způsobem zajištěna toxická skládka odpadů Spolany Neratovice roku 1995, přičemž zakrytí staré skládky posloužilo zároveň jako spodní bariéra nové skládky odpadů, zřízené na tomtéž místě podnikem Vodní stavby.

Jinou z enkapsulačních metod byla tzv. **imobilizace znečištění solidifikací in-situ** technologiemi injektáží nebo soil-mixingu. Prvním velkým příkladem je injektážní enkapsulace zamoření podzákladí stávající výrobní haly chlorovanými rozpouštědly v japonské Ósace, kterou za provozu továrny provedla firma Soletanche roku 1989. V tuzemsku poprvé použila podobný injektážní postup místní pobočka stejné firmy roku 1994 při imobilizaci znečištění etylenglykolem pod letištní plochou v Ruzyni, tehdy jen za mírného omezení nočního provozu. V USA dosáhla v roce 1988 firma Geo-Con značného pokroku ve stabilizaci znečištění in-situ zavedením metody mělkého velkopřůměrového soil-mixingu (SSM).

V dalším vývoji se enkapsulační metody víc a víc kombinovaly nejen mezi sebou, ale i s aktivními metodami s cílem vybudovat výsledný trvalý **geokontejnment** s minimálním zbytkovým rizikem. V tuzemsku byl prvním takovým komplexním příkladem projekt sanace divoké skládky s nebezpečným odpadem Kema Skalná, provedený firmou Soletanche ČR roku 1997. Byla zde zřízena vnější enkapsulace složená z vertikální bariéry podzemních stěn ze speciální těsnící směsi (viz obr. V. 78) a z vrchní kompozitní bariéry tvořené souvrstvím na bázi jílového těsnění. Kromě toho

*Obr. VI. 130:
Odtěžování
ložiska dehtových
odpadů a postupná
stabilizace
zbytků speciální
solidifikační směsí
in-situ firmou
Soletanche ČR
při sanaci skládky
Kema Skalná
roku 1997*





Obr. VI. 131:
Dekontaminační
stanice firmy Bauer
pro odstraňování
chlorovaných uhlovodíků
stripováním a filtrací
při klasické metodě
pump-and-treat roku
1987 na pozemku
farmaceutické továrny
v Bádensku-
-Württembersku

byla v tělese skládky provedena i **vnitřní enkapsulace** ložiska nebezpečných dehtových odpadů. Vnitřní oddělovací vertikální bariéra byla v bloku odpadů realizována tryskovou injektáží. Po vytěžení dehtu a odsunu k likvidaci ex-situ bylo zbytkové znečištění ošetřeno solidifikací in-situ speciální směsí (obr. VI. 130). Poté byl nad stabilizovaným ložiskem zřízen roznášecí **vnitřní příkrov** ze speciálního těsnicího a vylehčeného betonu vyztuženého geomřížemi.



Obr. VI. 132: Typické
mobilní zařízení
pro dekontaminaci
vytěžené zeminy
termální extrakcí
do 300 °C, používané
nizozemskou firmou
Ecotechniek na počátku
osmdesátých let



Obr. VI. 133: Vibrační zarážení jehel pro metodu parního stripování polutantů, použitou prvně v Nizozemsku roku 1984 firmou Heidemij

V další fázi rozvoje enkapsulací byly pro případy nedostatečně vhodného horninového prostředí pod ložiskem vyhledávány i metody jeho zlepšení. Dokonce se různými metodami speciálního zakládání nebo podzemních prací realizovala kompletní nová vodorovná podzemní bariéra. To je však již specifikum přesahující záměr tohoto přehledu.



Obr. VI. 134: Souprava pro metodu soil-mixing s chemickým ošetřením, používaná podle patentu firmy Geo-Con v USA roku 2011



Obr. VI. 135: Instalace prefabrikovaného třístupňového reaktoru z nerezové oceli do připravené rýhy v místě brány mezi vertikálními bariérami ze štětovic při sanaci v belgickém Zvevegemu roku 2002 firmou Soletanche-Bachy

AKTIVNÍ METODY

Z hlediska uplatnění technologií speciálního zakládání nás zajímají metody in-situ, kde se vyžadovala instalace reakčních médií pomocí vrtů nebo podobných geotechnických prostředků. Nebudeme se tedy zabývat klasickou, nejčastěji používanou metodou **čištění odčerpávané kontaminované vody** ze studní ve zvláštních povrchových stanicích (pump-and-treat). I když je vhodné upozornit, že některé firmy specializované na obor zakládání se velmi dobře prosadily i v této oblasti (obr. VI. 131).

Jen okrajově pro úplnost informací zmiňujeme velmi rozsáhlou oblast sanací ex-situ, kdy je nutno nejprve kontaminované zeminy vytěžit a pak podrobit ošetření na deponii nebo po odvozu na jiné zvláštní místo. Jedná se zejména o rozličné postupy **bioremediace** anebo **praní zemin a pěnové flotace, termického ošetření** apod. Ty vyžadovaly mnohdy velmi speciální technologická zařízení z jiných oborů (obr. VI. 132).

Zpočátku rozvoje sanačních metod docházelo ke spolupráci s oborem speciálního zakládání jen omezeně, a to většinou u zásahů in-situ. Bylo to například při sanacích zóny vodou nenasycené zeminy u metod intenzivního **provětrávání s biopřísadami (air-sparging a bio-venting), parního stripování, vakuové extrakce** apod. (obr. VI. 133).

Ve zvodnělém prostředí se jednalo o metody **hydro-** nebo **pneustěpení**. Podstatným vývojovým krokem v takové kooperaci byla kombinace velkopřůměrového soil-mixingu se současným chemickým ošetřením a odsáváním zplodin, zavedená původně roku 1990 v USA firmou Geo-Con. Tato metoda tam byla poté rozsáhle využívána (obr. VI. 134).

KOMBINOVANÉ METODY

Průlomem v kombinaci aktivní a pasivní varianty sanací bylo objevení metody **prostupné reaktivní bariéry (PRB)** roku 1991 v Kanadě. V té době již byla známa řada výzkumů přirozené reaktivnosti různých materiálů, například nula-mocného železa s chlorovanými uhlovlodíky a jinými častými polutanty. Na znečištěné lokalitě vojenské základny Borden v Ontariu zbudovali výzkumníci univerzity Waterloo prostou zkušební rýhu vyplněnou tímto reaktivem a nechali na něj působit prosakující proud kontaminované podzemní vody. Tento pokus prokázal platnost dosavadních teorií a odstartoval

další prudký rozvoj nové metody. Patenty výzkumníků převzala americká EPA do svých zaváděcích technologických programů a brzy se připojily i další firmy. Hledaly se jak vhodné látky reaktivů, tak zejména technická řešení těchto bariér a jejich nejvýhodnější způsoby výstavby.

Prvotní zcela jednoduché postupy, spočívající v nasypání výplně z reaktivu do průběžné rýhy zajištěné dočasně štětovnicemi, byly brzo opuštěny. Francouzská firma Soletanche vyzkoušela například pro sanaci chromitých výluhů z nevhodného dálničního násypu u města Lille roku 1994 **kontinuální reaktivní bariéru**. Ta byla vybudována speciálním rýhovačem a vyplněna zvláštním materiálem o vysoké retenční kapacitě chromu. Po nasycení bariéry polutantem bylo třeba ji odtěžit a vybudovat paralelně novou.

Celkově se však vývoj obrátil k vytváření **reaktivních bran**, do nichž je proud podzemní vody usměrněn pomocnými nepropustnými vertikálními bariérami jako do trychtýře (funnel-and-gate). Podstatným bodem obratu byla roku 2005 odborná konference CONSOIL ve francouzském Bordeaux, kde se sjednotil a upevnil názor na zásady typického řešení reaktivních bran. Hlavním principem se stala **výměnná filtrační náplň** a tomu odpovídající hydraulické řešení průtoku branou i s usnadněním proudění na vstupu a výstupu. Charakteristickým příkladem takového řešení byla prefabrikovaná výstroj reaktivní brány použitá firmou Soletanche-Bachy pro sanaci znečištění perchloretylenovými rozpouštědly v belgickém Zvevegemu roku 2002 (obr. VI. 135).

V tuzemsku byla většina sanací starých zátěží realizována hlavně v rámci privatizačního programu. Byly provedeny desítky enkapsulací, dokonce i první reaktivní brána. Ta byla vybudována roku 2001 spoluprací firem Aquatest a Zakládání staveb v lokalitě podniku Autopal Hluk. Brána byla zřízena klasicky ve štětové jímce naplněné reaktivem z okujů jednomocného železa (obr. VI. 136).



Obr. VI. 136: Reaktivní brána pro sanaci znečištění v podniku Autopal Hluk roku 2001 (Zakládání staveb, a. s.)

KAPITOLA VII.

ŠIRŠÍ DĚJINNÉ SOUVISLOSTI

ÚVODEM

Účelem této kapitoly je poskytnout převážně technicky orientovaným odborníkům všeobecný historický pohled, který by posloužil k hlubšímu porozumění vývoje technologií. V přehledech jednotlivých okruhů činností jsme místy na některé významné vnější vlivy upozorňovali, ale je vhodné doplnit je nyní souhrnným zarámováním do hlavních dějinných okolností a vlivů.

Nejprve krátce představíme celkovou časovou dynamiku vývoje lidské civilizace zpětným pohledem ode dneška až k jejím počátkům. Ve zpětném pohledu pak rovněž předložíme stručnou rekapitulaci vývoje techniky v rozmezí několika tisíciletí a porovnáme jej se všemi okruhy jednotlivých technologických činností. Díky takovému ohlédnutí je možno lépe pochopit hlubinu času, z níž se dalo k dnešním úspěchům dospět.

V obvyklém chronologickém sledu pak uvedeme přehled klíčových vlivů a vztahů v rozvoji civilizace, vědy a techniky. Pro pochopení kontextu tohoto vývoje, jeho rozmachu nebo naopak útlumu, upozorníme na důležitá období a uzlové dějinné okamžiky.

Tyto záměrně stručné přehledy vyžadují ovšem značná zjednodušení, a jsou tudíž pro snadnou orientaci znázorněny v tabelárním shrnutí.

DĚJINNÝ RÁMEC OD DÁVNOVĚKU

Pro porozumění rozvoji civilizace je potřeba nahlédnout do nástinu jejího vývoje od úplného počátku života na planetě. Představu o poměru předchozích dávnověků k dnešku vystihuje ve zkratce jejich přirovnání k časovému úseku jednoho roku coby odhadovaného stáří Země 4,5 miliardy let. Tak dostaneme následující přehledné rozdělení času:

„První živé organismy by se tak objevily někdy v průběhu května, starší doba kamenná s neandrtálci by začala 31. prosince asi 6 minut před půlnocí a náš letopočet by začal dvacet sekund před půlnocí.“ (P. Acot)

Nástin vývoje lidské civilizace (obr. VII. 1) je nutno chápat jako současnou úroveň poznatků. Když vstoupíme do relativně lépe zdokumentované starověké éry mladšího neolitu, zhruba před 10 000 lety, zaznamenáme ve vývoji civilizace na různých místech světa zjevné odlišnosti. Zřetelně se v územně značně vzdálených úrodných oblastech Blízkého východu, Indie a Číny vyjevuje podobný souběh zrychleného civilizačního vývoje. Tato ohniska měla podstatný význam i pro vývoj vědy a techniky, protože se v nich nezávisle na sobě objevil zhruba před 5000 lety základní atribut kultury – písmo. To umožnilo zapisovat, a tedy předávat znalosti dalším generacím.

ČAS (LET)	GEOLOGICKÁ ÉRA	GEOLOGICKÁ DOBA	HISTORICKÉ OBDOBÍ	LIDSKÝ DRUH	AKTIVITY	
1000	Holocén (mladší čtvrtohory)	Meziledová	Historická doba		Vysoce organizovaná civilizace	
5000			Středověk		Kulturní civilizace	
			Starověk		Doba železná – rozvoj zemědělství, řemesla, obchod, vznik měst a říší Doba bronzová – zemědělství, vznik sídel, hierarchické struktury – války	
10 000		Neolit (mladší doba kamenná)	Člověk dnešního typu	Neolitická revoluce – přechod k zemědělství, domestikace, trvalé usídlení, náčelníci kmenů – boje o zdroje		
30 000	Pleistocén (starší čtvrtohory)	Ledová	Paleolit (starší doba kamenná)		Lov a sběr – kočování, jeskyně a jednoduché chatrče, sdružování do skupin	
50 000						
100 000						Pohřbívání mrtvých
300 000				Homo sapiens		
500 000				Člověk neandrtálský		
1 milion		Střídání ledových dob		Homo erectus (člověk vzpřímený)	První přístřešky a obydlí	
3 miliony				Homo habilis (člověk zručný)		
				První zástupci rodu Homo	První nástroje	
5 milionů	Třetihory			Australopitěci		
10 milionů						

Obr. VII. 1: Zpětný pohled na historický rámeček rozvoje civilizace z dávnověku (stupnice času je logaritmická)

ČAS	POKROKY TECHNIKY	OKRUHY ČINNOSTÍ OBORU SPECIÁLNÍHO ZAKLÁDÁNÍ STAVEB			
		RAŽENÍ	VRTÁNÍ	HLOUBENÍ	ZLEPŠOVÁNÍ
20. stol.	komputerizace řízení geosyntetika monitoring procesů hydraulické mechanismy hydraulické ovládání pásový jeřáb vysokotlaká čerpadla čerpadla betonu syntetické pryže předpjatý beton el. ponorné čerpadlo plunžrové čerpadlo pakr (obturátor) rotační naftové vrtání	hydraulický beran hydraulický vibrátor ponorný vibrátor vibrační technika dieselberan předražené piloty	piloty BDP, apod. velkopřům. kladivo velkopřům. vrtané piloty pažnicové vrtání ponorné kladivo vrtací soupravy vrtání s reverzní cirkulací piloty CFA rotační vrtání pilot sonic drilling pažení bentonitovou suspenzí nárazově vrtané piloty jílový vrtný výplach	speciální podzemní stěny hydrofrézy TTS kontinuální reverzní cirkulace drapáky pro podz. stěny podzemní stěny převrtávané piloty mikrozáporové stěny pilotové stěny záporové stěny	kompenzační injektáž sloupové inkluze vyztužená zemina geodrény hřebíkování dynamická konsolidace trysková injektáž zmrazování dusíkem šterkové pilře injektované mikropiloty vibroflotace soil-mixing zhuťovací injektáž manžetové inj. trubky předpjaté kotvy pískové drény/piloty chemická injektáž horninové svorníky
19. stol.	licí betonářské roury ocelové štetovnice stavební vzduchový kompresor železobeton parní bagr a jeřáb odstředivé čerpadlo cement vzduchový kompresor korečkový bagr	pneumatický beran vplachování šroubované piloty parní beran	nepřímý výplach vzduchový výplach diamantové korunky jádrové vrtání přiklepné vrtání šnekový vrták naftové vrty (nárazově vrtané s přímým výplachem)	vakuové odvodňování štetové stěny pneumatické kesony otevřené kesony	gabiony/matrace zmrazování solankou injektáž cementem pískové zhuťovací piloty injektáž suspenzí
15. stol.	parní stroj výroba oceli otočný jeřáb (dřevěný)	strojní beran	nárazově vrtání s výpažnicí	spodem uzavřené kesony studňové základy (Indie)	dynamické zhuťování
10. stol.	složitější jeřáb vodní a větrný pohon lidský a zvířecí pohon	piloty v Benátkách	vrtaná studna v Evropě	roubení dolů a výkopů	opevňování koryt vodotečí zhuťovací piloty
0. stol.	jednoduché stroje vodní kolo, pístová pumpa	piloty pro římské mosty		splavované trámové skříně vodní jímký	zpevňování přísadami vyztužení zemin
1000 př. n. l.	závlahové kanály (Ninive)		vrtání na laně (Čína)		vyztužení zemin rákosem
2000 př. n. l.	sakrální stavby	dřevěné piloty (Babylon)	hlubinné vrty (Čína)	těžební šachty	
3000 př. n. l.	opevňování sídlišť povodňové hráze		rotační vrtání kamene (Egypt)	hloubené studny	opevnění zemin gabiony

Obr. VII. 2: Historický vývoj technologií speciálního zakládání v okruzích hlavních činností ve srovnání s vývojem strojní a stavební techniky (časová stupnice je volně přizpůsobena)

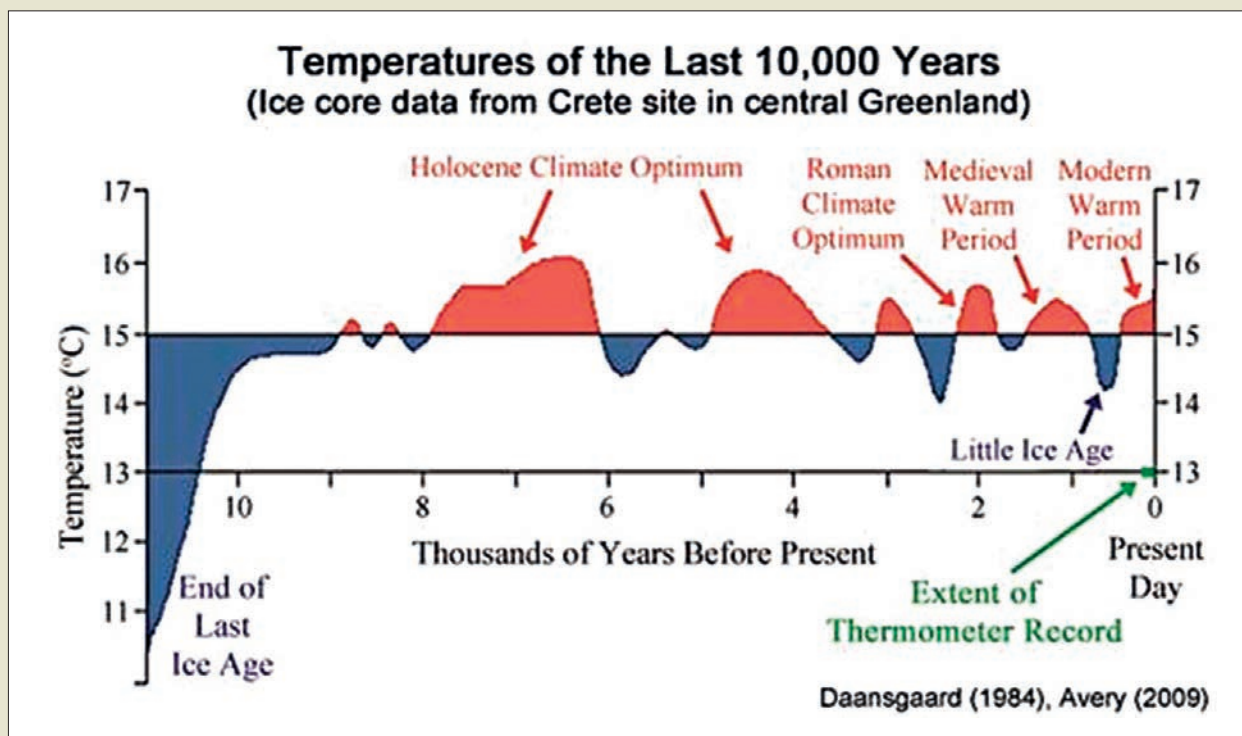
SOUHRNNÝ PŘEHLED VÝVOJE TECHNOLOGIÍ

V předchozích kapitolách byl podrobně zachycen chronologický vývoj technologických systémů prováděcích metod vždy v jednotlivých okruzích činností. Pro shrnutí všech okruhů do jednoho zjednodušeného obrazu jsme užili stejný zpětný pohled do minulosti jako u předchozího dějinného rámce, ale jen pro kratší dobu tří významných tisíciletí. Společné srovnání technologií je doplněno obdobným záznamem skoků v pokroku strojní a stavební techniky. Souhrn je vlastně soupisem dílčích **kvalitativních skoků** technologií (obr. VII. 2). I přes svou heslovitost podává výstižný obraz zrychlování dynamického vývoje technologií v posledních stoletích.

K vytvoření celkového názoru je ovšem třeba uvážit i **kvantitativní přelomy**, jež byly postupnější. Spočívaly jednak v násobném zvyšování počtu aplikací nových technologií během desetiletí po jejich zavedení, jednak v nárůstu jejich nových parametrů. Názorně to lze ilustrovat na vývoji technologie velkopřůměrových rotačně vrtných pilot. Na počátku čtyřicátých let 20. století byla zavedena po úvodních experimentech v USA zprvu jen pro průměry do 60 cm. Ale ujala se tak úspěšně, že již v roce 1965 nasmlouval největší americký výrobce vrtných nástaveb na bagrjeřáby dodávku 5000 kusů pro poválečnou evropskou výstavbu. A koncem 20. století se odhadoval celkový počet rotačně vrtných pilotovacích souprav ve světě na více než 20 000 kusů různého typu. Běžně se již dosahovalo parametrů průměru vrtání 60–150 cm do hloubek cca 60 m. V první dekádě 21. století pak byly k dispozici těžké a silné soupravy schopné vrtat buď průměry až 5 m, anebo dosahovat hloubek až 130 m (obr. VII. 3). Rozšíříme-li tento příklad i na ostatní nové technologie speciálního zakládání, osvětlí se tím okolnosti strmého růstu oboru v posledních padesáti letech 20. století.



Obr. VII. 3: Vrtání pilot o průměru 1,5 m do hloubky 87 m v jílovitosiltovitých zeminách soupravou Soilmec SR 145 o váze 145 t pro založení mrakodrapu v indonéské *Jakartě* firmou *Trevi* roku 2017. Vrt byl vibračně zapažen ocelovou výpažnicí do 15 m a dále prováděn pod polymerovým výplachem.



Obr. VII. 4: Přehled period klimatických výkyvů v současné meziledové době – holocénu

HLAVNÍ FAKTORY VÝVOJE CIVILIZACE

Zdánlivá plynulost civilizačního procesu byla ovlivňována podstatnými vnějšími činiteli, jež pro povšechnou orientaci rekapitulujeme.

Pro znázornění vzestupů nebo útlumů civilizací a územně odlišných kultur vycházíme především z nápadné souvislosti s velkými výkyvy klimatu. Do této hrubé cyklické osnovy spadají další vlivy, často uváděné v historii, a zobrazujeme je ve společné časové linii postupující od starověku až po dnešek. Zdůrazňujeme tím **fénomén cyklického vývoje**, který se projevuje ve společnosti v různých dějinných obdobích na různých geografických místech. Je také podstatným charakteristickým rysem v hospodářském rozvoji moderní společnosti (viz obr. VII. 7).

Klimatické vlivy

V dějinách Země byly cyklické proměny klimatu vždy rozhodujícím přírodním faktorem a jsou stále nezanedbatelné. Tvoří pevnou fyzikální kostru, na níž se váže průběh dalších jevů. V přítomné geologické éře čtvrtohor probíhalo po dobu zhruba 2,5 milionu let střídání ledových dob. Trvaly v průměru 100 000 let. Klimaticky příznivější doby meziledové trvaly zhruba 10 000 let. V současnosti se nacházíme v závěrečném údobí meziledové doby zvané holocén. Průběhy teplot ovšem vykazují značné kolísání i uvnitř těchto období. A právě adaptace na tyto klimatické změny významně poznamenávala rozvoj civilizace od počátku lidstva. Pojmenování některých dlouhých period výkyvů tak přímo poukazuje na souvislost s rozvojem význačných kultur (obr. VII. 4).

Dlouhodobě příznivá teplá období, jako například za rozmachu římské říše nebo v pozdním středověku, působila očividně coby katalyzátor urychlení civilizačního vývoje. V optimálních životních podmínkách došlo k obrovskému uvolnění kreativity. Význačným dokladem jsou kupříkladu nejkrásnější stavby gotických katedrál, jejichž klášterní školy byly nejvýznamnějšími středisky počátku výuky přírodních věd v Evropě již od středověku (obr. VII. 5).



Obr. VII. 5: Gotická katedrála Notre-Dame v Chartres ve Francii z 11. století

Na druhou stranu dlouhá období klimatického ochlazení, jako například v raném středověku nebo v tzv. malé době ledové (obr. VII. 6), měla za následek zhoršení zemědělské produkce, hladomory a celkový útlum rozvoje společnosti.

Někteří vědci poukazují na možnou příčinnou souvislost mezi klimatickými změnami a společenskými pohyby, avšak zdá se pravděpodobnější, že jde jen o volnější vztah. Tato doprovodná souvislost klimatických optim a minim je ale vhodná k rytmickému znázornění jinak obtížně přehledného toku historie. Využili jsme ji tudíž pro zjednodušený přehled významných dějinných faktorů.

Přírodní pohromy a katastrofy

K nejvážnějším pohromám a katastrofám patří sopečné erupce, zemětřesení, záplavy nebo sucha. Byly sice v dějinách velmi časté a mnohdy významné, ale naštěstí způsobily povětšinou jen regionálně omezené a z hlediska celkového rozvoje civilizace relativně krátké útlumy. Výjimečně si však vyžádaly i milionových obětí.

Epidemie nemocí a hladomory

Nesčítaná postižení tohoto druhu poznamenala dějiny lidstva množstvím vážnějších kolapsů. Nejznámější jsou velké hladomory v posledních staletích v Číně a Indii, jimž padly za obět' desítky milionů lidí. Různé pandemie přinášely až stamilionové oběti na životech. Docházelo k nim obvykle rozptýleně na větším území a v delším časovém rozpětí, takže podobně jako přírodní pohromy a katastrofy zásadní vliv na celkový vývoj lidstva neměly.

Válečné a politické otřesy

Ozbrojené a politické konflikty měly velice podstatný vliv na rozvoj společnosti a civilizace. Již v neolitu, tj. v mladší době kamenné, vedly neustálé války o zdroje ke kritickému zaškrcení nárůstu mužského genomu. Někdy se proto dějiny lidstva od svého počátku označují jako dějiny válek.

Intelektuální vývoj a věda

Tyto společenské faktory jsou pozitivním protikladem uvedených nepříznivých vlivů. Zpočátku spočívaly na velkých náboženských systémech. Ty jim dávaly základní filosofickou oporu k dalšímu rozvoji teoretického myšlení. Zde se právě nalézá klíč k pochopení, proč ve srovnání s mohutnými čínskými, indickými, egyptskými nebo sumerskými větvemi civilizace nakonec zdaleka nejvíce pokročila větev euroamerická. Ač v minulosti došlo ve všech těchto odlišných kulturách k vynikajícím objevům a vynálezům, neumožnily jejich filosofické rámce vznik srovnatelného systematického a kritického vědeckého myšlení. Důležitou předností euroamerické civilizace byl také neporovnatelně svobodnější přístup ke vzdělanosti pro široké vrstvy talentů. Hlavním odlišujícím vlivem ovšem bylo monoteistické náboženství, které uznávalo suverenitu jednotlivce a jeho osobní tvořivost.

K základnímu vývoji tímto směrem došlo již v antice. V aténské Akademii se zrodila společnost učenců přímo ustavujících **kritickou vědu**. Na počátku renesance pak vznikaly první univerzity a komplexní systém širokého vzdělávání. Univerzity postupem času nejprve pomalu a pak stále rychleji rozšiřovaly své programy o přírodovědné obory. Z nich se přirozeně za několik století rozvinuly obory technické. Začaly také vznikat sekulární instituce, odpovídající potřebě vzájemného kritického ověřování poznatků. Tento vývoj vytvořil základ pro technický náskok západní civilizace před ostatním světem.



Obr. VII. 6: V chladném období 17. století Temže v Londýně často zamrzala, jak dokládá tento obraz z roku 1677.

ČAS (STOL.)	KLIMATICKÉ OBDOBÍ	PŘÍRODNÍ POHROMY	HLADOMORY A EPIDEMIE	HROMADNÉ KONFLIKTY	SPOLEČENSKÝ VÝVOJ	VĚDA A TECHNIKA
20. stol. př. n. l. 7. stol. př. n. l.	mínojské oteplení	předch. ochlazení – velké erupce sopek sucha	?	kmenové války – oslabení mužské populace pád mínojské říše čínské války	písmo správa říši Čína, Indie, Egypt, Sumer zemědělství, závlahové a sakrální stavby	astronomie matematika vojenství a mosty
7. stol. př. n. l. 3. stol. př. n. l.	řecké ochlazení	450 – erupce Ilopango, Salvador	536–535 – světové hladomory	řecké války perské války peloponéská válka makedonská říše expanze Říma	řecké městské státy aténská demokracie	aténská Akademie mechanika
3. stol. př. n. l. 5. stol.	římské oteplení	35 erupcí 79 Vesuv – zničení Pompejí	epidemie moru egyptský hladomor římský hladomor čínský hladomor	pád Řecka sjednocení Číny sjednocení Indie invaze „barbarů“ pád egyptské říše Čína – pád dynastie Chan	latinka římská organizace šíření křesťanství	Alexandrie – knihovna jednoduché stroje, velké dílny Čína – vynález papíru Vitruvius – stavebnictví
5. stol. 9. stol.	ochlazení v temném středověku	526 Turecko – zemětřesení v Antiochii 533 Sýrie – zemětřesení v Alleppu 535–550 – erupce sopky Krakatoa a 10 dalších	784 Evropa – velké epidemie a hladomory	pád Říma nájedzy kočovníků 7. st. – expanze islámu 732 Tours – stop islámu ve Francii	vzdělanost jen v kláštorech feudalizace francká říše karolínská minuskule	útlum toku informací
9. stol. 15. stol.	středověké oteplení	856 a 893 Írán – zemětřesení 1335–1360 – 24 erupcí 13.–14. st. – záplavy v Severním moři	13.–17. st. – černý mor 1315 – velký evropský hladomor	vnitročínské války 13.–15. st. – mongolská expanze pád Byzance kolonizace Ameriky	1088 – Boloňská univerzita informace z Byzance renesance manufaktury	kamenné hrady Brunelleschi a da Vinci rozvoj strojních technologií 1450 – knihtisk
16. stol. 19. stol.	Malá doba ledová	1556 Čína – zemětřesení 1783 Island – erupce sopky Laki 1815 Indonésie – erupce sopky Tambora	Evropa – neúroda hladomory pandemie spalniček	1529–1683 – stop islámu u Vídně „globální krize“; Velká francouzská revoluce (1789) a napoleonské války (1803–1813) pád Indie, Číny kolonizace	učené společnosti osvícenství USA – demokracie profesní spolky	Koperník – teorie vesmíru Newton – teorie fyziky Encyklopedie ve Francii 1. průmyslová revoluce
19. stol. 20. stol.	současné oteplení	1839 Indie – cyklon 1883 Indonésie – erupce sopky Krakatoa 1887–1938 Čína – záplavy 1974 Bangladěš – záplavy	pandemie neštovic Čína, Indie – hladomory různé pandemie 1958 Čína – hladomor	pruské války 1. světová válka komunismus 2. světová válka studená válka	sjednocení Německa, Itálie evropské demokracie poválečná obnova	2. průmyslová revoluce Einstein – teorie relativity Terzaghi – geotechnika 3. průmyslová revoluce

Obr. VII. 7: Chronologický orientační přehled hlavních dějinných souvislostí s významným vlivem na rozvoj technologií od starověku po současnost (časová stupnice je volně přizpůsobena)

HLAVNÍ SOUVISLOSTI VÝVOJE SPOLEČNOSTI, VĚDY A TECHNIKY

V neolitu došlo k významnému rozmachu zemědělství, který byl zásadně podmíněn výraznými tzv. **holocénními teplotními optimy** v období před 8 až 2 tisíci lety. Tehdy se vytvářela civilizační ohniska na území vymezeném pozdější Mezopotámií a Egyptem, s dalšími centry v Indii a Číně. Vznikaly opevněné osady, z nichž se později s rozvojem hierarchické civilizace a centralizace moci vyvíjela teokratická města. V těchto místech se také vyskytly významné předvědecké a vynálezecké počiny, které však nebyly propojeny do většího systémového komplexu.

Podobně výrazná, ale opačná klimatická souvislost je udávána pro období antického Řecka. Za tzv. **řeckého ochlazení** se dějiště hlavního vývoje společnosti stlačilo do omezeného území teplotně příznivějších podmínek Středozeří. Tato koncentrace přispěla k vyhranění přínosu antiky. Následný velký rozmach a expanzi římské říše na počátku našeho letopočtu zase příznivě ovlivnilo tzv. **římské oteplení**.

V tomto období se již objevily první zárodky systematické vědy, založené na matematice a fyzice (Pythagoras, Archimedes), a mnohé technické vynálezy, uplatněné zejména ve vojenství nebo stavebnictví, které systematicky shrnul zejména Vitruvius. Římané také zavedli značně pokročilé latinské písmo, které usnadnilo pozdější obnovu dlouho ztracených znalostí.

Klimatické období **ochlazení v raném středověku** od 5. do 9. století doprovázelo celkový silný útlum dosavadního rozvoje civilizace a hrálo významnou roli při zániku římské říše pod náporem přistěhovaleckých kmenů ze severu a východu, ale také při kolapsu význačné čínské dynastie Chan. Historicky byly zaznamenány mohutné erupce sopek, ničivé hladomory a morové epidemie, v jejichž důsledku Evropa v 8. století ztratila údajně třetinu populace. Řecko-římskou kulturu však převzala a bránila Byzanc, jejíž silná římskokatolická církev uchovala latinu jako dorozumivací jazyk. Pro toto období se vžil označení evropský Temný středověk, ačkoli se v klášterních střediscích udržel a dokonce i rozvíjel řemeslný, technický a vědecký pokrok.

Následné období **pozdě středověkého oteplení** od 9. do 15. století bylo naopak velmi šťastnou periodou rozvoje společnosti. Největší prosperitě se tehdy těšila Itálie, ale mírné zvyšování životní úrovně se postupně šířilo ve všech zemích. Pro tento rozkvět bylo velkým impulzem množství nashromážděných klasických informací z písemností přivážených při rozpadu Byzance. K šíření znalostí podstatně přispělo od 8. století karolinské písmo a od půlky 15. století knihtisk.

Evropské údobí mimořádného kulturního rozkvětu od 12. do 14. století v **renesanci** se vyznačovalo budováním výstavných kostelů a katedrál, u nichž byly vždy zřizovány větší školy. Působili tehdy všestranní inženýři/stavitelé, například Brunelleschi, da Vinci a jiní, kteří již rozvíjeli prováděcí technologie a konstruovali složitější stroje. V Benátkách vznikla v roce 1104 první velká manufaktura pro stavbu lodí, která úzce spolupracovala i s vědci, k nimž později patřil například Galileo Galilei. Na začátku 16. století byla již schopna vyrábět velké válečné galeas, silně vyzbrojené děly, a to neuvěřitelným tempem jednu loď denně. S rozvojem univerzit se také čím dál více etablovala systematická věda, kterou začaly pěstovat i soukromé učení společnosti.

Následné dlouhé klimatické období ochlazení, jehož trvání se obvykle udává od roku 1550 do roku 1850, bývá označeno jako **Malá doba ledová**, protože bylo dosaženo nejnižších teplot doby meziledové. Historiky je pak někdy obzvláště 17. století označováno jako čas „globální krize“. Důvodem byl mimořádný výskyt státních převratů, válek, revolucí a sociálních otřesů téměř po celém světě. Rozvoj civilizace se zejména na euroasijském kontinentu silně zbrzdil, s výjimkou úspěšného obchodního vývoje Nizozemska. Došlo ke kolapsům dosavadních správních systémů v Indii a Číně, zcela se izolovalo Japonsko.

V závěru uvedeného kritického období se v Evropě již rozvíjelo nové intelektuální údobí kulturního rozmachu nazývané **osvícenství**. První zárodky tohoto racionalistického a humanistického hnutí se objevily v Nizozemsku a ve Velké Británii již koncem 17. století. Později začalo pronikat i dále na kontinent, kde bylo velkým přelomem

vydání francouzské Encyklopedie. Naplno se etablovala věda a vyšší technické vzdělávání se stávalo dostupné širším vrstvám společnosti.

Moderní dějiny se ohlásily velmi krvavou přehrou Velké francouzské revoluce v letech 1789 až 1799, již bylo poprvé ustaveno zcela sekulární zřízení hlásící se k demokracii. Uvedlo ji předchozí několikaleté strádání obyvatelstva při neúrodách v důsledku dlouhých povětrnostních změn po výbuchu islandské sopky Laki v roce 1783. I v následném období napoleonských válek pokračoval řetězec útrap na většině kontinentu, takže rozvoj pevninské Evropy se značně zpomalil. Také na jiných kontinentech byl vývoj problematický. Zcela se rozpadly kdysi slibné civilizace čínská a indická, hluboce zaostávala Afrika a Latinská Amerika.

Za oceánem se ale mezitím odehrála americká revoluce, známá jako válka za nezávislost. A nové demokratické Spojené státy nastoupily dynamickou cestu konsolidace. Staly se vzorem pro politické uspořádání správy společnosti. I Velká Británie využila čas zaneprázdnění ostatního světa k rozjezdu **industriální revoluce**. Ta ve svých dalších fázích postupně přivedla západní euroamerickou civilizaci ke globální průmyslové dominanci.

Moderní doba, která zhruba od poloviny 19. století opět probíhá v **klimatickém období oteplení**, se sice vyznačovala válečnými, politickými a sociálními konflikty mimořádného rozsahu, ale jejím znamením je také přímo explozivní rozvoj vědy, techniky a technologií, v jehož rámci se vyvíjely i technologie speciálního zakládání. O tom podrobněji s připomínkami souvislostí pojednávají kapitoly III. až VI.

Závěrem

Z uvedeného souhrnu jsou zřejmé důvody velkého technologického náskoku euroamerické civilizace před ostatním světem na přelomu 20. století. Je výsledkem poměrně souvislého tisíciletého vývoje. Jeho tvořivý potenciál napájely intelektuální prameny pocházející z hlubokých kulturních základů. Ty poskytly filosofická východiska k metodologii kritické vědy. Ve svých demokratických formách otevřela tato civilizace nejširší společenský prostor pro svobodné bádání, objevování a vynalézání ve vědě a technice.

Z tohoto hlediska je pozoruhodné, že největšího rozkvětu bylo dosaženo právě v období obnovy po těžkém rozvratu způsobeném 2. světovou válkou. Díky podpoře a pomoci vítězných mocností tehdy došlo na celém světě k vrcholné mobilizaci všech tvůrčích sil společnosti, jež kulminovala na konci století. Lze to zaznamenat i v oblasti vývoje našich technologií. Již v polovině 20. století si zde významnou roli zajistilo Japonsko a na začátku 21. století posílila svou úlohu Čína jakožto největší uživatel těchto technologií (viz kapitola VIII., str. 297). Povšechně vzrostl inovativní potenciál i dalších zemí asijského regionu. Potvrzuje se tak, že po období útlumu nastává v lidské společnosti opět vzestup.

VZDĚLANOST, OSOBNOSTI, FIRMY A INSTITUCE

POČÁTKY STAVEBNÍ SPECIALIZACE

Stavební technologie se rodily při budování prvních přístřešků a obydlí ve starší době kamenné před půl milionem let. Jejich postupy se ustálily v neolitu, za výstavby trvalých sídel pro celé kmeny. Zárodky zvláštních stavebních technologií se datují zhruba od starověku, a to zejména v souvislosti s potřebami vojenství, při budování opevnění a překonávání překážek. První velké speciální infrastrukturní projekty panovníků byly zaměřeny na zásobování vodou otevřenými kanály, na zřizování hrází a přehrad či výstavbu akvaduktů.

V průběhu dějin se při budování městských a sakrálních staveb dále stupňovaly nároky. Návrhy architektů byly realizovány prováděcími technologiemi, jež ovládali armádou vycvičení a zkušení specialisté. Později se k označení profese začalo používat slovo inženýr, patrně z původního latinského ingenium, tj. válečný stroj. Tito odborníci si navzájem předávali zkušenosti a vychovávali své nástupce. Někteří z nich sepsali své poznatky a zkušenosti do odborných knih, jako například římský inženýr a architekt Vitruvius na začátku našeho letopočtu. Jejich autoři kladli důraz na nutnost odborného vzdělávání.

VÝVOJ TECHNICKÉ VZDĚLANOSTI

První systematické technické vzdělávání od základní úrovně započalo v raném středověku v souvislosti s hospodářskou činností evropských klášterů. V tomto období byla civilizace zmítána válečnými konflikty a klimatickou nepřízní, takže kláštery se staly středisky, kde se v písemnostech zachovala značná část již dosažených znalostí. Tam byla také až v pozdějším středověku znovuobjevena mezi ukrytými svazky i Vitruviova díla. Některé mnišské řády, například kartuziáni, benediktini a cisterciáci, se přímo zaměřovaly na rozvoj zemědělských a jiných výrobních technologií. Provozovaly rovněž kapitulní školy.

Z církevních vědomostních a provozních center se vyvinula v průběhu času při panovnických a šlechtických dvorech i světská hospodářská a výrobní střediska. V nich vznikaly stavební hutě a cechy stavebních řemesel, například rybníkářské. Tato tvůrčí bratrstva sdružovala specialisty různého druhu, střežila své znalosti a vychovávala své pokračovatele. Významných počínů dosáhla zejména při výstavbě gotických chrámů a dalších impozantních staveb pozdního středověku.

Technické vzdělávací instituce

Po několik století se uvedené odborné skupiny stavitelů-architektů, armádních inženýrů a řemeslných cechů vyvíjely samostatně a vzájemně spolupracovaly. Poznatky se obvykle předávaly z mistra na tovaryše. Na počátku renesance dostalo stavitelské vzdělávání teoretickou podporu při systematické výuce matematiky, fyziky a mechaniky v nově zakládaných univerzitách.

Ale trvalo dalších několik století, než byla založena první vysoká škola zaměřená jen na stavebnictví. V roce 1716 byl ve Francii zřízen královský úřad Sbor pro mosty a silnice, pro jehož potřeby soustavného vzdělávání vznikla pak v roce 1747 první vysoká škola inženýrského stavitelství École Nationale des Ponts et Chaussées. Od dřívějšího oboru **vojenského stavitelství** se tak oddělil samostatný obor **stavební inženýrství**.

Francouzští inženýři byli uznáváni za špičku ve stavitelství, zejména díky budování tunelů a mostů. Francii ale postihla dlouhá nestabilita, revoluce a napoleonské války, takže zhruba od roku 1770 se těžiště stavitelství přesouvalo do Velké Británie, kde s počátky průmyslové revoluce nastalo jeho podstatné zrychlení. Británie se tehdy na čas stala světovým ohniskem veškerého průmyslu. Rozhodující měrou se o to zasloužil volný trh schopností lidí a snadné patentování vynálezů. Přesto teprve v roce 1826 začala jako první v Británii vyučovat stavební inženýrství londýnská univerzita King's College.

V dalším období se vývoj stavitelství podstatně urychlil na celém světě a sléval se do jednotného proudu. Centrum aktivity se přesouvalo postupně do Německa, kde byla již v roce 1799 založena podle francouzského vzoru berlínská Bauakademie. Po kapitulaci Francie v prusko-francouzské válce a sjednocení Německa roku 1871 nastal v Německu závěrem 19. století čilý technický rozvoj. Ten byl však v první polovině 20. století opět utlumen dvěma světovými válkami.

Obdobný vývoj probíhal také ve Spojených státech. Na počátku americké revoluce jmenoval v roce 1775 George Washington první důstojníky-ženijní inženýry. Postupoval podle vzoru Francie a často byli prvními důstojníky francouzští inženýři. Armáda pak v roce 1802 ustavila trvalý ženijní sbor Corps of Engineers, který zahájil výuku na vojenské akademii ve West Pointu. Tato instituce je hlavním vládním orgánem pro stavbu federálních infrastrukturních programů dodnes. Kromě toho v USA postupně vznikaly v odpovědi na poptávku polytechnické instituty, opět podle francouzského příkladu, ale od roku 1862 byly zákonem začleněny do stávajících univerzit.

Společným podstatným rysem uvedeného vývoje vzdělávacích systémů byla jejich postupná demokratizace, takže do nich mohli vstupovat i talentovaní mladí lidé z neurozených vrstev. Pak také mohli uplatnit svou tvůrčí invenci a energii na volném trhu v různých firmách.

Ve 20. století nastal po celém světě prudký rozvoj technických vzdělávacích a akademických výzkumných institucí v závislosti na požadavcích dalších etap průmyslové revoluce.

OSOBNOSTI V TEORII A PRAXI

Na ustavení geotechnické odbornosti a teoretické vědy i na vývoj nových technologií měly mimořádně významný vliv mnohé výrazné osobnosti. Tvůrčí a kritické myšlení nadaných jedinců hrálo primární roli v jednotlivých objevech a vynálezech. Další vývoj jakékoli nové myšlenky však vyžadoval rozpracování a hlavně praktické zkušební zánícenými následovníky. Právě v oboru speciálního zakládání staveb jsou tyto soustavné prováděcí zkušenosti a jejich zpětná vazba na teoretické předpoklady klíčovou podmínkou dalšího vývoje. Níže dokládáme, jak byl faktor praktické zkušenosti velkými osobnostmi oboru zdůrazňován.



Obr. VIII. 1:

Charles-Augustin de Coulomb (1736–1806)

Počátky teorie

Charles-Augustin de Coulomb, první významná osobnost geotechnického inženýrství, dokládá úzké sepětí teoretického uvažování se zkušenostmi z prováděcí praxe. Nejprve byl ženijním důstojníkem, budovatelem francouzských armádních opevnění. V roce 1773 tak na základě svých praktických zkušeností stanovil teoretické základy statického navrhování opěrných konstrukcí na principu působení tlaku klínu zeminy za opěrnou zdí (viz str. 121). V témže roce stanovil teoretické základy statického navrhování opěrných konstrukcí zavedením pojmů **úhlu vnitřního tření a soudržnosti** zemin i **aktivního a pasivního tlaku** zemin. Je proto všeobecně považován za zakladatele geotechnického inženýrství. Později se dokonce prosadil jako mnohostranně geniální vědec.

Důležitými příspěvky byly v této fázi vývoje též teorie všestranného skotského inženýra **Williama J. M. Rankina** o maximálních zemních tlacích z roku 1857 a teorie pružného poloprostoru mnohostranného francouzského matematika a fyzika **Josepha V. Boussinesqa** z roku 1885. Koncem 19. století zobecnil teorii geomechaniky německý stavební inženýr **Christian Otto Mohr** v grafickém vyjádření kritické kombinace normálového a smykového napětí při porušení zeminy a toto **Mohr-Coulombovo kritérium** je stále jedním ze základních vztahů geotechniky.

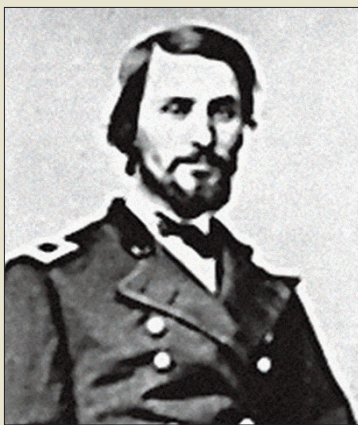


Obr. VIII. 2:

Robert Stephenson (1803–1859)

Všestranní praktici průmyslové doby

V rozvoji výstavby infrastruktury vynikly především osobnosti schopné okamžitě reagovat na zcela nové a velmi náročné požadavky staveb. Takovou význačnou postavou byl anglický inženýr **Robert Stephenson**, konstruktér lokomotiv a stavitel železničních tratí. Úspěšně se vyrovnával s nástrahami nepřístupného terénu a obzvláště s problémy různorodých základových půd.



Obr. VIII. 3:
William SooySmith (1830–1916)

Za oceánem se podobně proslavil budovatel americké železnice a prvních mrakodrapů inženýr **William SooySmith**. Byl úspěšným armádním generálem jezdeckva v občanské válce Severu proti Jihu. Své původní profesi se věnoval až po jejím skončení roku 1864. V roce 1867 použil jako první v USA pneumatický keson pro založení majáku Waugoshanee v úžině Mackinaw na jezerech v Michiganu. Zejména však vynikl při stavbě prvních výškových budov v Chicagu, kde prosadil přechod k hlubinnému zakládání.



Obr. VIII. 4:
Daniel E. Moran (1864–1937)

Významným jménem speciálního zakládání byl v USA inženýr **Daniel E. Moran**. Vynikal originálními nápady při zakládání mnoha největších mostů a většiny newyorských mrakodrapů na pneumatických kesonech. Podílel se i na vývoji technologií pilotování.

Jeho výrok o významu zkušenosti patří k nejvýstižnějším:

„Speciální zakládání staveb je umění, ve kterém neexistuje náhrada za úsudek vycházející ze široké zkušenosti.“



Obr. VIII. 5:
Karl von Terzaghi (1883–1963)

Ustavení nové vědy

Klíčovou osobností byl profesor **Karl von Terzaghi**, zakladatel moderní geotechnické vědy. Narodil se v Praze, ale jako rodem Rakušan vystudoval na univerzitě v Grazu. Svou odbornou praxi rozvíjel zejména na projektech a stavenišťích přehrad v různých zemích. Věnoval se též výzkumu na několika světových univerzitách.

V roce 1925 shrnul své dosavadní práce i práce svých předchůdců a souputníků v průlomové knize Erbaumechanik (Půdní mechanika). Definoval nově zeminu jako **trojfázový systém**, stanovil princip **efektivního napětí** a formuloval proces **konsolidace**. V roce 1936 inicioval založení nynější ISSMGE (Mezinárodní společnost pro mechaniku zemin a geotechnické inženýrství) a stal se jejím prvním prezidentem.

V roce 1938, poté co se prohlásil v hroutící se Evropě za konzervativního idealistu, emigroval do tehdejšího centra nové vědy, na americkou Harvardovu univerzitu. Tam své zakladatelské dílo dovršil. V roce 1941 například přispěl zásadním způsobem k **teorii pažicích konstrukcí**: vysvětlil kvantitativní vliv deformací na rozdělení zemních tlaků u roubených výkopů.

Obklopil se také významnými geotechniky a vychoval mnoho vynikajících následovníků. Byl to vysoce erudovaný, široce vzdělaný vědec, ale zároveň praktik, hluboce ukotvený ve zkušenosti. Stal se proto vzorem pro odborníky v geotechnické vědě, o jejíž podstatě se vyslovil naprosto přesvědčivě:

„Teorie je jazykem, kterým mohou být poučení ze zkušenosti vyjádřena zcela jasně.“

Spojení teorie a praxe

Dvacáté století se stalo navzdory dvěma světovým válkám a jiným otřesům pro geotechnické inženýrství doslova zlatým věkem. Došlo k optimálnímu propojení teorie a praxe, když se mnozí přední odborníci nové vědy setkávali na stavbách s vynálezci a inovátory nových technologií. Společně vyvíjeli návrhové a prováděcí postupy. Počátek století byl ve znamení vyvrcholení aktivit velkých všestranných osobností inženýrského stavitelství, schopných obsáhnout široké pole různých odborných disciplín. První třetina 20. století se pak již vyznačovala nástupem odborníků specializovaných přímo v novém oboru geotechniky. Podpořil ji dynamický vývoj speciální mechanizace, nové materiály a elektronizace.

Většinu z těchto odborníků uvádíme průběžně v textech historického přehledu prováděcích technologií, a proto se zde k nim už nevracíme. Je třeba připomenout, že v té době působily rovněž mnohé akademické a pro teorii oboru významné osobnosti, na něž však při hlavním zaměření na praxi nepadá dostatek světla – například v navrhování vrtaných pilot (viz. str. 73).

Období užší specializace

V poslední třetině 20. století se začal projevovat proces rozpojování osobností geotechniky v důsledku jejich zapojení do odlišných zájmových skupin v oblasti teorie nebo praxe – (viz kapitola I, str. 12). Bylo to způsobeno především všeobecným společenským trendem k zužování odborné specializace.

V prováděcí praxi se to projevilo nárůstem odborníků kariérně zaměřených na určitou disciplínu jako například pilotování, injektáže, kotvení apod. Došlo přitom i k vyššímu zapojování odborníků na speciální mechanizaci a elektronizaci výroby, což si vynutilo širší týmovou spolupráci nového druhu.

I v disciplíně navrhování geotechnických konstrukcí došlo k podobným změnám. Původně ji reprezentovala skupina specializovaných konzultantů-projektantů. Ti se začali více propojovat s akademickou vrstvou z vysokých škol a výzkumných institucí. Akademická vrstva sama se ovšem značně rozšiřovala a výrazně osamostatňovala. V této oblasti se silně projevovalo zapojování odborníků na počítačové programování výpočtů a teoreticky zjednodušené modelování jevů.

Docházelo tak v tomto období k růstu koncentrace a objemu zájmových skupin. V nich se však mnohdy více prosazovalo kolektivní rozhodování podle systémových pravidel na úkor výraznějších individualit a kreativity jednotlivých osobností.

SPECIALIZOVANÉ FIRMY

Vznik firem

V raných historických epochách převažoval boj o základní přežití, který řídily a organizovaly elity stávající hierarchie skupin. Kmenoví náčelníci nebo feudální vládci mohli z pouhého rozmaru zničit slibné vynálezy a objevy. Ničení poznatků z minulosti je známé zejména z historie Číny, kde často docházelo k pálení veškerých knih z předchozí dynastie, ale i z počátků evropského středověku v průběhu tzv. stěhování národů. Jakmile se však evropská civilizace stabilizovala a začal se více rozvíjet vzájemný obchod, nastává rozmach svobodného podnikání.

Zárodky samostatných řemeslných firem se objevily v renesanci v souvislosti s velkorysou a honosnou městskou výstavbou. Měšťanský stav se začal více emancipovat a vedle šlechtických dvorů se mohly významněji prosadit také cechy řemeslníků. Pod hrozbou expanze z východu vznikaly první manufaktury, zaměřené nejprve na obranný průmysl (Benátky apod.). Jejich úspěšnost byla vzorem pro další obory podnikání. Během následujících dvou století tento rozvoj pokročil zejména v Evropě i přes údobí nepřízně vnějších okolností.

Volný trh nabídky a svobodná volba poptávky byly v počátcích rozvoje průmyslu, vědy a techniky hlavní energií, která podněcovala vývoj technologií. Potřeba výstavby měst, silničních a vodních komunikací, těžby surovin a výstavby nádrží pro využití tehdy klíčové vodní energie vedla v 18. století ke specializaci. Vznikaly částečně soukromé struktury schopné tyto požadavky naplnit. Zpočátku to byly skupiny podléhající hospodářské činnosti určitého aristokratického nebo církevního panství.

Teprve v druhé polovině 18. století se začaly při dalším posilování měšťanstva konstituovat samostatné firmy. V té době bylo například hlavní metodou speciálního zakládání staveb beranění dřevěných pilot. Novými faktory pak byla poptávka po vrtech k vydatnějším studnám pitné vody, k průzkumu těžby nerostných zdrojů a průzkumu pro výstavbu přehrad. To vedlo k nutnosti nalézt dodavatele speciálních vrtných prací.

Značná složitost problémů, které při tom bylo často třeba řešit, podněcovala k přemýšlení a přitahovala hloubavé typy. Je proto logické, že právě technologii vrtání charakterizovala vyšší řemeslná odbornost, která stála u vzniku všech pozdějších firem speciálního zakládání. Až potřeba malopřůměrového vrtání a jeho rozvoj dodaly ten pravý impuls k formování odborných týmů u specializovaných dodavatelů. A ty pak poháněly jeho vývoj dál kupředu v konkurenci s ostatními.

Nejnámější firmy vznikaly zhruba na sklonku 19. a začátku 20. století. Jejich zárodkem obvykle byly **studnařské rodinné podniky**. Světově proslulými se staly především evropské firmy, které se udržely v čele žebříčků dodnes. Jejich rozvoj se sice od počátku soustřeďoval na jejich národní území, ale později dosáhly i na výhody mimořádně velkých projektů v mimoevropském zahraničí. Tam byly například v ústraní válečného útlumu vyvinuty manžetové injekční trubky a předpjaté zemní kotvy (viz kapitola VI., část A, str. 181, část B, str. 238).

Na americkém kontinentě se odehrával vývoj vrtařských firem velmi odlišně od Evropy. Protože se jednalo o rozsáhlé a řídké zalidněné území, působilo zde zpočátku velké množství rozdrobených malých a středních podniků. Ty se různě spojovaly a dělily, takže se u nich často nedá vysledovat delší tradice. Jsou sice známa četná jména výraznějších firem, ale většinou se ve světovém měřítku podstatně neprosadily. Navíc ty významnější z nich převzaly v závěru 20. století velké evropské firmy při své expanzi na neutlumené trhy. Výjimkou je kalifornská firma **Malcolm Drilling**, která si udržela velmi solidní pozici za evropskými podniky až do současnosti. A také některé firmy od počátku propojené s naftovým průmyslem anebo výrobci speciálních strojů pro zakládání.

Zcela jiným vývojem prošly japonské firmy, které sehrály v poválečném období významnou roli v rozvoji nových technologií. Jejich vliv se ovšem omezoval zejména na domácí a rozsáhlý asijský trh. Samostatné firmy byly většinou

postupně začleněny do velkých stavebních skupin. Mimořádně technologicky úspěšnou se ukázala velikostí spíše střední firma **Tone Boring**, s kořeny z roku 1917. Před lety byla zahrnuta do velké korporace Toa Civil Engineering, podobně jako i jiná velká firma speciálního zakládání **Fudo Construction**.

A ještě jinak se vyvíjely čínské firmy, které byly od počátku součástí velkých státních stavebních podniků zaměřených nejprve na obrovský domácí trh. S nimi pak časem začaly vstupovat na zahraniční trhy, především asijské a africké.

PŘEHLED VÝZNAMNÝCH FIREM

Názvy firem zde uvádíme povětšinou v jejich nejkratší **hovorové formě**, ačkoli se velmi často měnily, někdy jen v právních nebo formálních detailech.

Keller

Firmu založil roku 1860 zámečnický mistr Johann Keller v německém městečku Renchen. V roce 1900 studnařskou firmu Keller GmbH koupil Johann Degen a dále ji rozvíjel k příbuzným činnostem, jako bylo průzkumné vrtání a injektáže. Její inovativní síla se prokázala v třicátých letech vývojem prvního ponorného vibrátoru (viz str. 32). V téže době se velmi aktivně začala ve Velké Británii rozvíjet pilotovací firma Holmpress Piling Company, která se v roce 1952 sloučila s podnikem Caledonia Foundation a vznikla firma GKN Foundations. Ta převzala v roce 1974 již i v zahraničí etablovanou firmu Keller GmbH a utvořila mezinárodní podnik GKN Keller. Další významnou akvizicí byla v roce 1984 americká firma Hayward Baker, specializovaná zejména na injektáže. V roce 1990 nakonec přešlo vlastnictví firmy řízené na její management a dál pokračovaly úspěšné akvizice mnoha světových firem, například americké Case a McKinney Drilling nebo australské Franki. Postupně se tak firma KELLER GROUP propracovala v první dekádě 21. století na pozici největšího světového dodavatele ve speciálním zakládání, a to i díky své speciální mechanizaci.

Bauer

Tato známá německá firma se vyvíjela poněkud odlišně. Zhruba v roce 1874 započal Andreas Bauer měnit dosavadní rodinný klempířský podnik ve Schrobenhausenu na studnařství, které pak provozovalo tuto činnost až do roku 1952. V té době nastoupil do vedení čerstvě dostudovaný Karl-Heinz Bauer a změnil zaměření firmy na speciální zakládání. Úspěšný podnik však začal pociťovat nedostatek dostupných mechanizačních prostředků na trhu. V roce 1967 proto firma postavila první výrobu speciálních strojů a dva roky nato první maloprofilovou vrtací soupravu. Od té doby se postupně stala největším světovým výrobcem speciálních mechanismů pro zakládání staveb. Nadále ovšem provozuje i činnost své stavební složky, která jí umožňuje přímý kontakt s poptávkou a podmínkami oboru.

Cementation

Renomovaná britská firma je příkladem zcela jiného vývoje. Byla založena v roce 1910 pod názvem Francois Cementation Company a soustředila se na řešení problémů se zřizováním důlních šachet ve zvodnělém území Yorkshiru pomocí injektáží (viz kapitola VI, str. 176). To vyžadovalo spoustu znalostí o vrtání zemin. Podnik postupně expandoval do zahraničí, nejprve do Jihoafrické unie a do Francie. V roce 1926 začal diverzifikovat svou činnost také do oblasti pilotování a inženýrského stavitelství. V poválečných letech se firma pod názvem Cementation International mohutně rozšířila a stala se světově uznávanou. Prošla však několika nepříznivými ekonomickými výkyvy a několikerou změnou vlastnictví mezi velkými stavebními podniky. V roce 2003 ji definitivně převzala Skanska a začlenila do své skupiny.

Rodio

Tato italská firma byla patrně jako první ustavena s úmyslem využít ve stavebnictví novou geotechnickou vědu. Byla v úzkém kontaktu s rakouským profesorem Karlem Terzaghim, nazývaným otcem mechaniky zemin. Založili ji roku 1921 v Miláně inženýři Giovanni Rodio a Carlo Kieser, oba blízcí kolegové profesora Terzaghiho s nadšeným vztahem ke geotechnice. Rodio byla původně zaměřena hlavně na injektáže a maloprofilové vrtání, ale pak se stala po několik desetiletí jednou z nejprogresivnějších a nejvýznamnějších firem v oboru. Měla mnoho poboček po celém světě, některé pod názvem SWISBORING. Na konci 20. století však upadla do ekonomických problémů a postupně byly její části rozprodány jiným firmám. V roce 2011 zanikla úplně.

SIF Bachy

Stejně zanícení pro nový vědní obor geotechniky převládalo i u této mimořádně význačné francouzské firmy. V roce 1921 ji založil Pierre Bachy pod názvem Sondages, forages, injections de ciment se zaměřením na průzkum a injektáže vodních děl, zejména na přehrady s energetickým využitím. Společnost se stala později v roce 1931 více známou s příchodem společníků René Postela a André Thimela. Byla úspěšná nejen ve Francii, ale expandovala i na zahraniční trhy, nejprve hlavně do zemí s francouzskou koloniální vazbou. Tento chráněný trh jí pomohl překonat meziválečnou hospodářskou krizi a poničení jejího zařízení v mateřské zemi ve válečném období. Díky tomu byl podnik dobře připraven na poválečný nárůst stavebnictví, rozšířil sortiment prací a rychle pronikl i do dalších zemí. Vynikl zejména v nabídce injektáží pro stavbu přehrad. Na přelomu osmdesátých a devadesátých let byl druhou nejsilnější firmou speciálního zakládání ve světě, již ale začleněnou ve skupině generálního dodavatele GTM Entrepouse. V rámci dalšího přeskupení podniků došlo pak v roce 1995 v důsledku přesunu ve stavební skupině Suez Lyonnaise k převzetí pod firmu Soletanche, tehdejší světovou jedničku ve speciálním zakládání. Později je uváděn jen název Bachy.

Soletanche

Firmu založili v roce 1931 opět dva nadšenci pro geotechniku, inženýři Ernest Ischy a Henri Giron. Nejdříve pod názvem Entreprise de Fondations et de Travaux Hydrauliques, ale od roku 1948 změnili jméno na výstižnější Soletanche, což znamená ve volném překladu „Těsnění zemin“. Její počátky měly podobný průběh, jako tomu bylo u firmy Bachy, s níž Soletanche dlouhodobě soupeřila. Avšak Soletanche kladla promyšleně větší důraz na širší technologický a zejména projekční záběr. Podařilo se jí proto uspět v poválečném rozvoji nejen při budování přehrad, ale i v oblasti jiných energetických projektů a při nové urbanizaci měst. To rozhodlo, že se nakonec stala zhruba od osmdesátých let na několik desetiletí největší firmou v oboru. Převzala například velké části firmy Rodio nebo přední americkou firmu Nicholson. Její předností bylo většinové rodinné vlastnictví, a tím i přímé kompetentní řízení v duchu zakladatele Henriho Girona. Až v roce 2008 byla již tehdejší Soletanche-Bachy plně začleněna do skupiny generálního dodavatele VINCI, v té době největšího stavebního koncernu na světě.

I.C.O.S.

Tato italská firma byla po určitou dobu v poválečném období velice významnou, ale nakonec v sedmdesátých letech zanikla. Vznikla na vlně zmiňovaného dobového nadšení pro geotechniku. Proslavila se zejména vyvinutím první konstrukční podzemní železobetonové stěny. Od svého založení v roce 1938 rychle rostla s významnou teoretickou podporou rakouského inženýra Christiana Vедера. Veder byl žákem profesora Karla Terzaghiho a jeho dřívějším spolupracovníkem u jiné italské firmy Rodio. V roce 1938 vyvinul Veder princip podzemní stěny a v roce 1948 uskutečnila I.C.O.S. první soukromé zkoušky. Tato firma zavedla ve stavebnictví zlidovělý název „milánská stěna“ (viz kapitola V., str. 133). Její nejsilnější pozůstalou americkou pobočku převzala firma Trevi.

Trevi

Další italská firma, založená inženýrem Davidem Trevisanem v roce 1957, se vyvíjela velmi podobně jako německá firma Bauer. V té době však již speciální zakládání zažívalo prudký vzestup a díky tomu mohl tento podnik přistoupit k výrobě vlastní samohybné soupravy pro beranění pilot. V roce 1967 si pak patentoval výrobu soupravy pro vrtání velkopřůměrových pilot. Od roku 1969 je součástí Trevi Group přidružená firma Soilmec, která se stala jedním z nejvýznamnějších světových dodavatelů strojů pro speciální zakládání. Firma Trevi založila mnoho svých stavebních poboček po celém světě. Převzala například firmu I.C.O.S. International nebo části slavné firmy Rodio a je široce uznávaným dodavatelem prací speciálního zakládání staveb.

Z uvedeného přehledu je zřejmé, že u úspěšných firem speciálního zakládání převládal zhruba od třetiny 20. století velmi podobný vývoj, vždy spojený s velkým entuziasmem vedoucích pracovníků pro geotechniku. Nadšení pro nový, technologicky velmi progresivní obor se týkalo i středních kádrů, dokonce i prováděcích techniků a dělníků na stavbách. Existovala ještě dlouhá řada dalších významných firem, jako například belgická Franki, francouzská Spie Batignolles, britská Stent Foundations či německá StumpBohr. Jejich samostatné období bylo obvykle kratší a v závěru 20. století se staly součástí skupin velkých generálních dodavatelů.

VÝVOJ EKONOMICKÝCH POZIC

Posuny v ekonomicky významných pozicích jednotlivých firem na světovém trhu osvětlují svým způsobem jejich **konkurenční technologickou sílu**. Zejména s ohledem na inovativní energii, která jim zajišťovala rozhodující převahu při získávání zakázek. Je třeba uvážit i souvislost s globálními proměnami ekonomiky, celého stavebního trhu a s posuny pozic generálních dodavatelů či s trendy pohybů geografických částí trhu. V tuzemsku probíhá sledování těchto faktorů jen zcela okrajově, je proto namístě se o nich zmínit alespoň stručně. Mimo jiné i proto, že přední pozice této specializace jsou trvale obsazeny tradičními evropskými firmami.

Sestavování výročních žebříčků pozic na trhu je velmi ošidné, protože je zatíženo mnoha proměnlivými činiteli. Jsou to jednak změny obchodních struktur firem, anebo jejich rozhodnutí, zda se vůbec do veřejných přehledů zapojit. Roli také hrají různá měřítka jednotlivých přehledů a kurzové vlivy. K dispozici pro veřejnost jsou proto jen velmi omezená data a většinou pouze z nedávných desetiletí.

Z hlediska celkového finančního obratu byla na první pozici od osmdesátých let 20. století do konce první dekády 21. století firma s pozdější značkou Soletanche-Bachy. Firma Keller se během tohoto období propracovala ze čtvrté pozice až na současnou úplnou špičku. Firma Bauer držela povětšinou třetí příčku a Trevi čtvrtou. Obraty těchto specializovaných mezinárodních subdodavatelů ovšem dosahovaly jen zhruba 1,5% objemu předních světových stavebních firem a v jejich žebříčcích zaujímaly zhruba 110. až 180. místo. Přesto byl jejich obrat několikanásobně vyšší než předních tuzemských stavebních společností.

Ekonomické a obchodní vlivy tržního prostředí vnášely do vývoje firem svou nahodilost a vedly mnohdy k jejich hospodářským a finančním problémům, což se pak projevilo i v omezení nákladů na inovace. U některých firem to nakonec vedlo k ústupu z tržní pozice nebo dokonce až k jejich rozpadu, jako v případě slavných firem I.C.O.S. a Rodio.

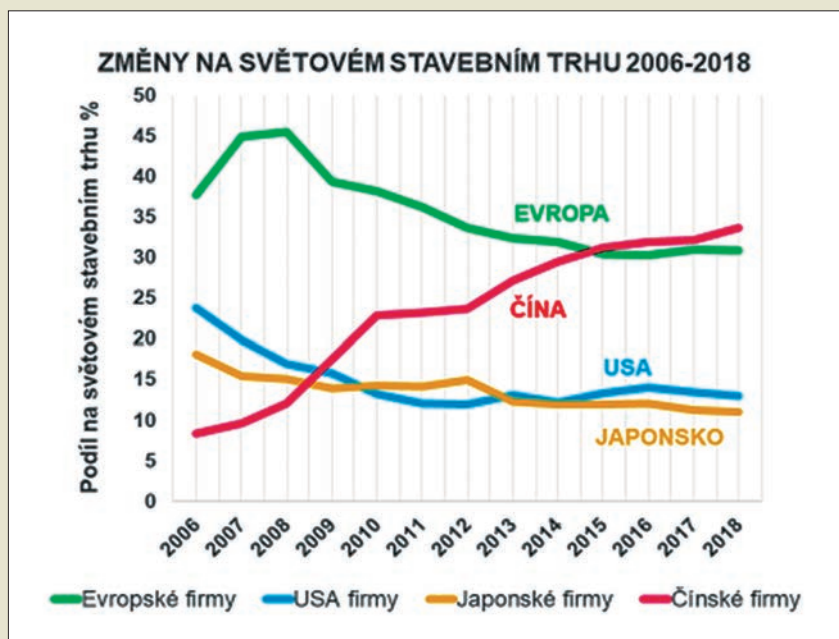
V době vrcholného rozvoje v devadesátých letech bylo v každé z vyspělých evropských zemí několik desítek různě velkých specializovaných firem, z nichž některé byly jen malé rodinné. Na konci 20. století se ale v důsledku celkového útlumu mezinárodního stavebního trhu dostávaly pod ekonomický tlak všechny firmy. Ty největší se rozvíjely hlavně

akvizicemi jiných firem a expandováním na nové trhy. Svou pozici přiměřeně držely firmy, které byly součástí skupiny s výrobcem speciálních mechanismů k zakládání staveb pro veřejnost, jako například Bauer nebo Trevi/Soilmec. Uspěla také firma Keller díky své úzce speciální strojní výrobě (viz např. Vibrocat, str. 228). Firmě Soletanche-Bachy se pokus více diverzifikovat tímto směrem příliš nezdařil.

Po světové recesi v první dekádě 21. století zůstalo v nejvíce zasažených zemích, jako třeba v Itálii nebo ve Španělsku, jen pouhých několik firem speciálního zakládání. Vzhledem k celkovému zmenšení trhu ale ke koncentraci firem došlo jen omezeně, mnohé menší prostě zanikly.

POŘ.	1989	1996	2008	2018
1.	Fluor Daniel USA	Kajima JAPONSKO	Vinci FRANCIE	CSCEC ČÍNA
2.	Shimizu JAPONSKO	Obayashi JAPONSKO	Bouygues FRANCIE	China Railway Group ČÍNA
3.	Bechtel USA	Takenaka JAPONSKO	China Railway Group ČÍNA	China Railway Construct. Corp. ČÍNA
4.	Kajima JAPONSKO	Mitsubishi JAPONSKO	China Railway Construct. Corp. ČÍNA	China Communication Construct. Group ČÍNA
5.	Taisei JAPONSKO	Shimizu JAPONSKO	Bechtel USA	Vinci FRANCIE
6.	Takenaka JAPONSKO	Taisei JAPONSKO	CSCEC ČÍNA	Metallurgical Corp. of China ČÍNA
7.	Brown & Root USA	Bouygues FRANCIE	Hochtief NĚMECKO	ACS ŠPANĚLSKO
8.	Obayashi JAPONSKO	Kvaerner VELKÁ BRITÁNIE	China Communication Construct. Group ČÍNA	Bouygues FRANCIE
9.	The Parsons USA	Philip Holzman NĚMECKO	ACS ŠPANĚLSKO	Hochtief NĚMECKO
10.	The M. W. Kellog USA	Fluor Daniel USA	Fluor USA	Bechtel USA

Obr. VIII. 6: Přehled 10 největších světových generálních dodavatelů staveb v období vrcholného vývoje trhu dle finančního obratu



Obr. VIII. 7: Proměny podílů na zkoumaném vzorku 200 předních světových stavebních dodavatelů v období 2006 až 2018

Světový stavební trh

K celkovému obrazu ekonomického pozadí vývoje je nutný základní přehled o změnách celosvětového stavebního trhu. Ten se okolo přelomu století, a především po krizi v roce 2008, dynamicky měnil a přeformoval. Mnohým doposud samostatným firmám speciálního zakládání se nepodařilo vymanit z omezující role subdodavatele a přešly v rámci restrukturalce a koncentrace pod velké generální dodavatele. Například v roce 2008 byla největší Soletanche-Bachy zahrnuta pod přední světovou firmu Vinci.

Povšechnou orientaci o vývoji stavebního trhu v posledních desetiletích lze získat ve výročních přehledech 250 nebo 200 největších mezinárodních dodavatelů staveb, zveřejňovaných některými odbornými časopisy. Je možno vysledovat parametry a souvislosti vývoje světového trhu i jeho hlavní trendy. Nejjednodušší výslednou informaci poskytuje náš tabelární přehled změn na předních pozicích v posledních třiceti letech (obr. VIII. 6).

Je zřejmé, jak se původní dominance trhu americkými a japonskými korporacemi přesunula k evropským společnostem a nakonec dramaticky ke státním čínským podnikům. Výrazně se změnila i proporce ve finančním objemu této dominance. Zatímco v roce 1989 byl ještě podíl předních 10 firem rozdělen zhruba 50/50 mezi americkými a japonskými firmami, získaly v posledním porovnání čínské firmy drtivou převahu 73 % nad ostatními. Uvedený geografický přesun těžiště trhu dokládá i náš graf proměny součtového podílu firem hlavních regionů na celkovém světovém stavebním trhu (obr. VIII. 7).

Z podrobnějších informací vyplývají také změny v tržní síle i ve velikosti firem. Výsledkem je pokles role amerických a japonských firem při ještě strmějším poklesu evropských firem oproti velmi prudkému růstu firem čínských.

Dřívějším typickým modelem vývoje byl růst firmy nejprve na domácím trhu a pak její expanze na mezinárodní trh s vyšší úrovní zostřené konkurence. Tam se ale někdy ocitla pod velkým vlivem politicko-hospodářských změn, které často přesáhly její schopnosti k dlouhodobé adaptaci a vedly k pozdějšímu ústupu. Růst čínských státních firem nebyl ve vstupní fázi v tomto smyslu výjimkou. Jejich prudký nárůst odpovídal značné velikosti poptávky po výstavbě tehdejší Číny. V oblasti technologií jim napomohly především systémové postupy nelegálního kopírování know-how, přebírání technologií a nedodržování patentových práv. V další fázi měl podstatný vliv na expanzi do zahraničí fenomén mimořádné vládní podpory podniků mimotržními prostředky, jako dumpingovými půjčkami, dotacemi a politickými smlouvami. S tím se stavební trh doposud nedokázal vyrovnat. Varováním je podobný postup Japonska v devadesátých letech, který vyústil v jeho dlouhodobou dluhovou stagnaci.

Dokumentovaný souhrn informací ukazuje neurovnanou situaci stavebního trhu a cyklický pohyb ve světových regionech. Firmy speciálního zakládání se musely adaptovat na tento vývoj a na budoucí většinové fungování ve strukturách velkých společností. K doplnění celosvětových souvislostí viz též přehled výstavby přehrad a rozdělení objemu pilotování na str. 45–46 a vývoje sanací na str. 269.

PROFESNÍ ORGANIZACE

První inženýrské spolky a instituce

Historický vývoj ovlivnily také profesní spolky a organizace, které podporovaly vzdělání a zásadně se uplatnily při šíření získávaných zkušeností. Na jejich půdě docházelo v učených debatách k výměně informací a kritickému zkoumání pokroku v aplikované vědě i praxi.

První takový spolek vznikl ve Francii, kde byla v roce 1747 založena první vysoká škola inženýrského stavitelství na světě, École Nationale des Ponts et Chaussées. Kolem ní se organizoval nový inženýrský stav, který se dále znalostně obohacoval. Zde leží kořeny následných mimořádných úspěchů francouzských inženýrů. Nepřekvapí proto, že například vynálezce injektáží Charles Bérigny (viz str. 174) byl jedním z absolventů, kteří se činnosti spolku účastnili.

U úspěchů anglických inženýrů na počátku 19. století byla zase důležitým organizačním pozadím činností rodá aktivita Institution of Civil Engineers (**ICE**). Neoficiálně se scházela už od roku 1771, kdy ji založil stavitel John Smeaton, tvůrce legendárního Eddystonského majáku. Například všichni inovátoři injektáží byli význačnými činovníky ICE, někteří dokonce jejími prezidenty. Členové spolku čerpali také z poznatků svých kontinentálních, zejména francouzských, ale i jiných kolegů. Podstatné ovšem je, že tyto nové znalosti a zkušenosti mezi sebou pravidelně sdíleli a vyhodnocovali. Začali se rovněž věnovat pravidlům projektování a uzavírání smluv.

Obdobné inženýrské společnosti byly postupně zakládány ve všech vyspělých zemích. Ve Spojených státech existovala od roku 1852 American Society of Civil Engineers (**ASCE**), která se na stanovení pravidel a jejich sdílení velmi intenzivně podílela. Zabývala se také geotechnickou problematikou a jejími technologiemi, zejména injektáží v době rozkvětu přehradářství.

V roce 1936 byla v USA z podnětu profesora Karla Terzaghiho a jeho asistenta Arthura Casagrandeho založena na své první konferenci na Harvardu International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering (**ISSMFE**), tedy Mezinárodní společnost pro mechaniku zemin a speciální zakládání. Její další činnost byla ovšem přerušena neblahými vlivy 2. světové války až do roku 1948. Stala se pak velmi rozsáhlou institucí, jejíž členové se postupně stále více rekrutovali z členů akademické obce. Ve svém názvu nahradila v roce 1997 původní „speciální zakládání“ širším pojmem „geotechnické inženýrství“ na **ISSMGE**.

Vliv profesních institucí

Rostoucí potřebu seberegulačních organizací užších profesí lze ukázat na příkladu Spojených států. Americký trh byl od samých počátků všeobecně velmi konkurenční, což vedlo právě v oboru speciálního zakládání k podhodnocování geotechnických rizik, která jsou ve stavebních projektech ve větší či menší míře trvale přítomna. Důsledkem byl výskyt nehod a havárií, zejména u neodborně prováděných injektáží, jež není snadné kontrolovat. Dalším problémem je nadměrná

náchylnost tamního systému k soudním sporům, která způsobovala časté zablokování projektů a ještě větší následné ztráty. Nakonec tyto potíže vedly k odvratu mnohých stavebníků od moderních, málo vyzkoušených technologií k těm tradičním a spolehlivým. Proto ve Spojených státech zůstaly dlouhodobě oblíbené technologie beranění, u nichž je sledování mezního odporu ražení evidentní.

Spory na velkých stavebních projektech se ovšem staly na počátku 20. století všeobecnou tíživou realitou na celém světě. To bylo jedním z důvodů, proč již v roce 1913 vznikla Fédération Internationale des Ingénieurs-Conseils (**FIDIC**), která se pokoušela stanovit vzorové smluvní podmínky pro účelné rozdělení rizik mezi objednatelem a zhotovitelem. Jejich první standardy ale vyšly až v roce 1957.

Mezitím nabyl v USA fenomén stavebních sporů obzvláštní závažnosti a výrazně k tomu opět přispěly injektážní práce. Řada dodavatelů začala totiž používat řídké cementové směsi a technicky odůvodňovat jejich vhodnost. Tyto práce se časem projeví jako nekvalitní a byly dokonce uváděny jako hlavní příčiny nedostatků u přehrad. Dříve se totiž stavebníci přehrad přizpůsobovali možným rizikům tím, že volili umístění svých projektů do méně problematických lokalit, což rozloha Spojených států po delší čas umožňovala. V průběhu několika desetiletí vzrůstající industrializace země ovšem problém geotechnických rizik nabyl tak mohutných rozměrů, že volal po akutním řešení. Od třetiny šedesátých let se také vyskytlo několik vážných poruch přehrad. To umocnilo všeobecnou nedůvěru k moderním technologiím speciálního zakládání, která vrcholila koncem šedesátých let.

V reakci na tento stav probíhala ve Spojených státech od počátku sedmdesátých let intenzivní jednání vládních orgánů se zástupci profesních organizací. Významně k nim přispělo i ukončení několika vleklých soudních sporů a následné precedenční judikáty. To vše vedlo v roce 1976 ke vzniku mezinárodního profesního sdružení Deep Foundations Institute (**DFI**), Institutu hlubinného zakládání, který spojuje individuální i firemní členy dodavatelů a konzultantů převážně z USA a zbytku světa, kromě Evropy. Hlavním záměrem se stala regulace prováděcích pravidel geotechnických konstrukcí. Jako jeden z významných úspěchů byla na základě širokých diskusí formulována a v roce 1997 pod hlavičkou ASCE vydána příručka zásad pro podkladní zprávy o geotechnice (**Geotechnical Baseline Reports**). Shrnovala doporučené postupy pro smluvní kontrolu rizik při provádění geotechnických konstrukcí. I když byla orientována především na velké stavby, zásadně přispěla k vytvoření nové atmosféry pro vztahy v oboru. Svědčí to o pozitivním obratu k moderním technologiím speciálního zakládání, ke kterému nakonec v devadesátých letech ve Spojených státech skutečně došlo. Byly tam rychle zavedeny a úspěšně použity na mnoha velkých projektech.

Americké potíže ve výstavbě a způsoby jejich řešení s účastí profesní komunity byly pozorně sledovány v celém světě. V Evropě existovaly již poměrně dlouho samostatné národní profesní federace firem dodavatelů speciálního zakládání, například nizozemská NAVF od roku 1947 nebo britská FPS od roku 1964. V roce 1989 se tyto organizace sdružily do European Federation of Foundation Contractors (**EFFC**).

Velkým popudem jim byly okolnosti nadcházejícího vzniku EU s předznamenáním přívalu administrativních regulací pro sjednocení. Zároveň se začaly rýsovat **odlišnosti v názorech akademiků a dodavatelů** na tvorbu nového Eurokódu 7 – Geotechnika v evropské agentuře pro standardizaci **CEN** (Comité Européen de Normalisation). Členové EFFC si tenkrát naléhavě uvědomovali, že musí sami urychleně vložit peníze, čas a odbornost k vytvoření dlouho potřebných technologických norem pro provádění geotechnických konstrukcí. Tyto práce se v komisích CEN úspěšně rozběhly a přinesly potřebné výsledky v sadě nových standardů nazvané Provádění speciálních geotechnických prací a zřízení systému jejich pravidelných revizí.

Aktivity EFFC byly přitažlivé i pro tuzemské firmy, které v roce 1999 založily Asociaci dodavatelů speciálního zakládání staveb (**ADSZS**) a k EFFC se připojily.

HISTORIE V ČR

VŠEOBECNÉ POČÁTKY

Ze starověkých počátků stavitelství jsou u nás z archeologických rekonstrukcí nejnámější keltská a římská opevněná sídla. Z doby po slovanském osídlení se pak na našem území zachovala řada významných rotund románské architektury. Vývoj stavitelství probíhal podobně jako jinde na kontinentu spolu s prolínáním technické a umělecké činnosti.

Vzestup úrovně stavitelství ve středověku u nás dokládá zejména mnoho dochovaných kostelů, například evropsky unikátní raně gotická stavba podzemní kaple sv. Kateřiny v kostele sv. Štěpána v Kouřimi. Kolem roku 1260 zde vytvořila dvorská kamenická hut' krále Přemysla Otakara II. osmibokou křížovou klenbu s centrální podporou jediným sloupem. V té době představovala mistrovskou konstrukci, částečně srovnatelnou jen s burgundským slohem, jehož myšlenky k nám přinesli cisterciáckí mniši (obr. IX. 1).



Obr. IX. 1: Unikátní hvězdnicová klenba v podzemní kapli sv. Kateřiny v kouřimském kostele sv. Štěpána z 13. století před restaurováním roku 1999

Obdobně probíhal vývoj i na velkých hospodářských stavbách, kde se uplatňovaly zárodky prvků geotechnických konstrukcí. První rozlehlý rybník byl například založen roku 1115 u kladubského kláštera benediktinů. Vodohospodářské vedl třeboňské rybníční soustavy ale vybuodovali v 15. a 16. století stavitelé Jakub Krčín a Štěpánek Netolický, již najatí rožmberským panstvím. Na samém konci středověku byla u nás v této odborné tradici postavena roku 1492 první, 18 m vysoká zemní přehrada rybníka Jordán u Tábora.

VÝVOJ TECHNICKÉ VZDĚLANOSTI

Vzdělanost se zpočátku šířila prostřednictvím církevních škol. První latinská škola byla u nás údajně již na začátku 10. století v Budči u Prahy, kde stála zhruba od roku 895 rotunda sv. Petra.

V oblasti vzdělávání jsme vždy náleželi k hlavnímu evropskému vývojovému proudu. Pražská univerzita, založená císařem Karlem IV. roku 1348, je vůbec nejstarší ve střední Evropě. Jejím velmi důležitým počinem bylo sestavení latinsko-českých slovníků, z nichž pocházejí počátky českých odborných výrazů.

Ve vysokoškolské technické vzdělanosti došlo v českých zemích k podobnému rozvoji jako jinde v Evropě. Z pověření císaře založil v Praze roku 1718 císařský důstojník a stavitel pevností Christian Willenberg Stavovskou inženýrskou školu s prvními devíti žáky. Jeho nástupce Jan Ferdinand Schor projektoval například roku 1730 splavnění Vltavy a první plavební komory u Županovic a Modřan. Od roku 1806 pak vedl nástupnický Královský polytechnický ústav význačný, všestranně technický odborník František Josef Gerstner, iniciátor koněspřežné dráhy do Rakouska. A roku 1803 získává toto stavovské učiliště statut vysoké školy. Z ní potom roku 1920 vzniká sloučením s dalšími vysokými školami České vysoké učení technické (ČVUT) jako přední instituce mezi podobně zřízenými školami v samostatném Československu.

OSOBNOSTI V TEORII A PRAXI

V moderní době od vzniku samostatné republiky vyrostly u nás mezinárodně uznávané osobnosti geotechnického inženýrství. Mimořádně důležitou roli sehrál akademik **Quido Záruba** (1899–1993), světově proslulý odborník a zakladatel odborné disciplíny **inženýrské geologie**. Roku 1968 se podílel na ustavení Mezinárodní asociace inženýrských geologů (IAEG) a stal se jejím prvním voleným prezidentem. Byl uznávaným expertem zejména pro posuzování založení přehrad.



Obr. IX. 2:

Prof. Ing. Dr. Zdeněk Bažant, DrSc. (1908–2001)

V oblasti mechaniky zemin mimořádně vynikl Prof. Ing. Dr. **Alois Myslivec**, DrSc. (1898–1994), zakladatel první laboratoře na zkoumání geotechnických vzorků základové půdy. Na poli mechaniky skalních hornin patřil k význačným teoretikům Prof. Ing. Dr. **Vojtěch Mencl**, DrSc. (1907–2000). Tyto osobnosti se podílely značnou měrou i na řešení praktických problémů aktuálních stavebních projektů svými konzultacemi a odbornými posudky. O propojování návrhových teorií a prováděcích metod speciálního zakládání staveb se nejvíce zasloužil Prof. Ing. Dr. **Zdeněk J. Bažant**, DrSc., autor několika zásadních oborových publikací. Byl synem slavného profesora stavitelství a rektora ČVUT, nejprve však pracoval v praxi na stavbách přehrad u firmy Lanna. Jeho pozdější slibně se rozvíjející akademická dráha byla nakonec komunistickým režimem omezena kvůli emigraci jeho syna do USA, tam později rovněž uznávaného profesora stavitelství.



Obr. IX. 3:

Ing. Jaroslav Verfel, DrSc. (1926–2002)

V praktické oblasti se stal našim nejuznávanějším odborníkem Ing. **Jaroslav Verfel**, DrSc. (1926–2002), o němž se na několika místech přehledu technologií zmíníme. Představoval vzor špičkového inženýra cele oddaného své práci. Byl vždy otevřený diskusím o problémech prováděných projektů se svými kolegy a živě se zajímal o jejich názory, aby je mohl začlenit do konečného řešení. Přestože svými teoretickými znalostmi a praktickými zkušenostmi nad ostatními vynikal, charakterizovala ho skromnost, pokora a srdečnost.

SPECIALIZOVANÉ FIRMY

Počátky tuzemských firem

Za Rakouska-Uherska převažovaly v českých zemích na velkých stavebních projektech německé, rakouské a uherské firmy, které měly blízko k mocenskému rozhodování. Například opravu základů Karlova mostu po povodni z roku 1891, stejně jako založení dalších pražských mostů na přetlakových kesonech prováděla renomovaná budapeštská firma Gregersen a synové. České firmy se prosazovaly jen pozvolně.

Lanna

Udržování splavnosti hlavních českých řek, důležitých solných cest, je u nás od poloviny 18. století spojeno s příslušníky rodu Lannů a jejich firmou. Je namístě připomenout, že **firma Lanna** vznikla až po zrušení císařského solného monopolu v roce 1829. Prováděla většinu stavebních prací na první i druhé regulaci hlavních řek zahájených v roce 1851, respektive 1869, i při rozsáhlém státním projektu kanalizace Vltavy a Labe, započatém roku 1897. Jen na prvním úseku z Prahy do Lovosic bylo postaveno 10 jezů a zdymadel. Zatímco předchozí údržba splavnosti závisela po staletí pouze na ruční práci, přinesly nové stavební projekty podstatnou proměnu v zapojení mechanizace. Na těchto stavbách byly nejčastěji využívány metody speciálního zakládání. Poté co roku 1923 převzala podnik stavební společnost Řehák a Nejedlý, rozrůstala se firma Lanna dál pod starým slavným jménem až do hořkého konce vyvlastnění roku 1948.

České zeměvrtné firmy

I u nás se rozvíjely tzv. zeměvrtné firmy podobným způsobem jako v jiných evropských zemích. Vycházely z vědomostí oborů užívajících vrtání, jako třeba studnařská firma **Artésia**, založená roku 1909 inženýrem Antonínem Hájkem, která vyvrtala mimo jiné mnoho speciálních jímacích vrtů ve známých lázeňských zřídlech. Nebo firma **Ing. Bohumil Belada**, jež se od roku 1912 specializovala na průzkumné sondáže pro vodní stavby a s nimi související vrtné práce, později též injektáže. V oblastech s převahou německého obyvatelstva se překrývaly s tamními firmami působícími ve větší míře pro potřeby báňského průmyslu.

Poválečný vývoj za socialismu

Po roce 1948 byly v nastoleném komunistickém režimu naprosto všechny firmy tzv. znárodněny, ovšem bez jakékoli náhrady původním vlastníkům, a šmahem sjednoceny. Podniky se rovněž neustále reorganizovaly a měnily své názvy. Jednotlivé ministerské resorty se všemožně snažily posílit své pozice a vzájemně mezi sebou soupeřily.

V oblasti maloprůměrového vrtání u nás dlouho dominoval **n. p. Vodní zdroje** z resortu zemědělství s nejširší základnou ve vrtání studní. Převzal například znárodněnou firmu Artésia. Ve vrtném průzkumu geologie získal postupně monopol **n. p. Geindustria** z resortu hornictví, paliv a energetiky. Shodou okolností se v tomto období stala naše země takřka světovou velmocí v množství geologických odborníků, hlavně na ložiskový průzkum nerostných zdrojů. Podnik Geindustria byl pověřen strategicky důležitými průzkumy i v politicky spřízněném zahraničí RVHP. Na Moravě podobně vznikl roku 1958 sloučením tamních průzkumných podniků z resortu hornictví **n. p. Geologický průzkum Ostrava**. Klíčovým dodavatelem stavebních průzkumů byl **n. p. Stavební geologie**, vzniklý původně znárodněním firmy Záruba-Pfeffermann. Neměl ale příliš velkou kapacitu a prováděl většinou jen rutinní vrtání v převážně malých hloubkách. Své malé průzkumné útvary měly ostatně i různé projekční ústavy.

Největším rivalem celé této skupiny byl podnik ze specifické oblasti těžby uranu, původně nazývaný v roce 1958 Geologický průzkum – Jáchymovské doly, n. p. Po několika reorganizacích se stal jádrem **Uranových dolů Hamr, k. p.** Tam se od objevu ložiska ve Stráži pod Ralskem roku 1963 uskutečnilo obrovské množství vrtů. Pro

tzv. hydrochemickou těžbu uranu zde bylo během dvaceti let provedeno přes 8000 vrtů o hloubkách průměrně 200 m pro těžbu pomocí vysoce toxických chemikálií i přes 200 hlubokých studní pro čerpací bariéru bránící šíření toxického znečištění k vzácným zásobám podzemní vody celoevropského významu. Pro studny byly na Západě nakoupeny moderní vrtací soupravy Salzgitter, ale ostatní vrty byly povětšinou prováděny sovětskou technikou. Přes rozličné místní a dobové problémy byly práce „na uranu“ pro domácí odborníky významným příspěvkem ke všeobecně sdíleným zkušenostem s vrtáním.

Ve stavebnictví byl nejprve uplatněn uniformní postup sjednocení všech firem do gigantického podniku Československé stavební závody (ČSSZ). Šíře problematiky a nutná specializace si později vynutily vznik velkých závodů s odlišným výrobním zaměřením. Například dopravním stavbám dominoval **n. p. Stavby silnic a železnic**, vojenským **n. p. Vojenské stavby**, vodním stavbám dominoval v Čechách **n. p. Vodní stavby** a na Moravě **n. p. Ingstav**, podobně průmyslovým stavbám **n. p. Armabeton** a pozemním **n. p. Pozemní stavby** atp.

Kupříkladu **n. p. Vodní stavby** vznikl 29. října 1951 sloučením znárodněných firem Lanna, Kress, Niklas a Baťa Sezimovo Ústí. Konkurence sice tehdy prakticky neexistovala, zakázky byly přidělovány byrokraticky z plánovacího centra, ale přesto vznikala jistá rivalita na úrovni řídicích skupin jednotlivých podniků. Ty mezi sebou usilovaly nejen o získání nedostatkových zdrojů, především mechanismů ze Západu, ale i o přiděly cementu, oceli nebo cihel. V tom měl pozdější **o. p. Vodní stavby** určitou výhodu, neboť po dlouhá léta vykonával funkci ministra stavebnictví některý z jeho bývalých generálních ředitelů. Toto se projevilo také v oboru speciálního zakládání.

Nejprve však učinil v šedesátých letech podnik Geoindustria průlom do resortu stavebnictví v jeho citlivé oblasti bytové výstavby u příležitosti projektu pražského sídliště Prosek. Při jeho zakládání se narazilo na problémy se starými důlními chodbami v podzákladí a jediným řešením bylo přejít na hlubinné základy. Výhodou pro resort hornictví bylo, že problém rozhodoval Běňský úřad. Shodou okolností se v té době dostal do útlumu výrobní program **n. p. Geoindustria**, takže nasazení části jeho strojního parku na novou rozsáhlou zakázku bylo velmi vítáno. Jeho tehdejší velkopřůměrové nárazové vrtací průzkumné soupravy mohly bez větších úprav okamžitě provádět piloty o průměru 400–800 mm, a proto byly na řešení problému nasazeny. Urychleně byly také pro tento podnik dovezeny ze zahraničí první rotační pilotovací soupravy. Jelikož se produktivita pilotového zakládání i díky novým uměle vytvořeným ceníkům prací velmi osvědčila, prosadily si velké stavební podniky pozemního stavitelství rozsáhlý nákup dalších vrtných souprav. Tak se u nás stal obor vrtných pilot trvalou součástí stavebnictví a řada podniků pozemního stavitelství měla své pilotovací středisko.

Nové úseky speciálního zakládání v těchto stavebních podnicích však potom procházely desetiletími značných obtíží. Nebyla k dispozici povolení k nákupu dalších moderních strojů ze zahraničí a při nákupu pouhých vrtných nástaveb nebyly k dispozici vhodné jeřábové nosiče. Výsledkem nouzových kompromisů byly silně přetížené automobilové podvozky nosičů Tatra i problémy s poddimenzovanými pásy a otočemi bagrjeřábů UB 162 z NDR. Podnik Geoindustria se snažil nedostatek zdrojů řešit improvizací vlastní výroby a sestavoval z dostupných komponentů a autopodvozků či bagrových nosičů různé vrtné soupravy. Výraznou postavou těchto aktivit byl široce uznávaný pilotovací odborník Ing. **Miroslav Jedlička**. Tyto soupravy ovšem nebyly a ani objektivně nemohly být v ekonomicky uzavřeném prostoru země RVHP na kvalitativně srovnatelné západní úrovni.

V roce 1967 došlo v této zájmové oblasti k nástupu nového hráče v souvislosti s velkým projektem výstavby pražského metra. Jeho realizací byl pověřen **o. p. Vodní stavby**, který měl již zkušenosti s metodami speciálního zakládání z výstavby přehrad a jiných vodních děl, zejména ovšem s technologickými problémy při zřizování podzemní clony pro přehradu Nechranice (viz kapitola V. část D, str. 134). Inicivoval proto, spolu se slovenskými a maďarskými partnery pro jejich velký projekt vodního díla Gabčíkovo–Nagyamáros, získání tehdy převratné licenční smlouvy o nákupu technologií pro speciální zakládání se západoevropskou firmou **Sol-Expert International**. V tehdejší ČSSR byl jejím nositelem podnik Inžinierské stavitelstvo, g. ř., v Bratislavě. Velkou roli sehrál v jednáních

Ing. **Antonín Pokorný**, předtím ředitel výstavby vodního díla Nechanice, pozdější výrobní ředitel o. p. Vodní stavby. Uplatnil své osobní kontakty na rakouské spoluvězně z 2. světové války, kteří se stali významnými činovníky vídeňské geotechnické firmy Swissboring, zapojené do spolupráce s dvěma největšími firmami oboru Rodio a Soletanche. Tyto firmy pak poskytly konkrétní smlouvy na know-how a dodávky mechanismů.

Na podkladě licence byly dovezeny moderní soupravy pro plnoprofilové vrtání typu Hausherr a Wirth i pro jádrové vrtání typu Diamec, pro podzemní stěny typu Rodio a pro vrtané piloty typu Terradrill. O něco později vytvořený **závod 07** se tak rychle dostal v metodách speciálního zakládání na špičku v naší republice. Bylo to nejen díky získanému rozsáhlému parku moderních strojů, ale také díky jeho vlastní projekci a vývoji a ovšem i úsilí mnoha zaměstnanců (viz např. kádr vedoucích pracovníků na str. 135). V roce 1989 fungoval podnik s 1648 zaměstnanci pod názvem **Speciální zakládání staveb, o. z. (SZS)**, o. p. Vodní stavby, a měl za sebou i řadu úspěchů na zahraničních stavbách v konkurenci se západními firmami.

Měl však za sebou i obchodní srážky na domácím trhu. Patrně největší konflikt nastal roku 1978 při projektu výstavby Barrandovského mostu v Praze, tehdy nazývaného Most A. Zápotockého. Podnik Geoindustria, patřící do báňského resortu, se snažil získat zakázku na založení mostu s logickým návrhem velkopřůměrových vrtaných pilot. A pro vrtání pilot přes hrubé šterky do tvrdého skalního podloží vápenců žádal vládu o zakoupení těžkých drapákových souprav Benoto, které by byly vhodné i k doplnění spektra jeho dlouhodobého programu pilotování. V té době ovšem nemohl nikdo tušit, jak rychle tyto soupravy v dalším vývoji zastarají. Podnik SZS, Vodní stavby, však navrhl netradiční použití minipilot – armokošových mikropilot o průměru 300 mm –, pro něž chtěl zakoupit velkopřůměrová ponorná kladiiva a silné kompresory (viz kapitola IV., část B, str. 62). Spor tehdy rozhodl ve prospěch podniku svého resortu ministr stavebnictví Karel Polák.

V novém režimu

Po roce 1989 sice došlo u mnoha státních podniků k dezintegraci a fragmentaci, ale od roku 1995 se stabilizovaly především privatizované a nově pojmenované firmy **Zakládání staveb, a. s.**, a **Zakládání Group, a. s.**, jako hlavní dědici SZS a své mimořádné pozice na trhu udržely dodnes.

Přeskupením pracovníků z předchozích státních podniků vznikla také **řada nových firem** nebo poboček velkých zahraničních společností. Trh speciálního zakládání však zůstal dlouho netypicky rozdělen mezi velké tradiční firmy a skupinu menších nových.

Roku 1999 byla v Praze ustavena několika firmami Asociace dodavatelů speciálního zakládání staveb (**ADSZS**), která se stala zakrátko i členem EFFC. Postupně se do ní zapojilo více dalších firem a dnes je reprezentantem oboru v naší zemi (viz www.adszs a inzeráty v příloze).

PROFESNÍ ORGANIZACE

První inženýrské spolky a instituce

Roku 1833 ustavila česká šlechta z iniciativy hraběte Josefa Dietrichsteina první osvětový technický spolek Jednotu ku povzbuzení průmyslu v Čechách. Zanedlouho pak byly roku 1842 pozměněny stanovy tak, aby byl umožněn i vstup měšťanstva a drobných podnikatelů.

Z aktivit společnosti vznikl roku 1865 Spolek inženýrů a architektů v Království českém, po dlouhá léta až do roku 1920 známý pod zkratkou SIA. V roce 1884 se spolek vyhranil na ryze český a upřesnil svých sedm oborů, z nichž dva byly stavební:

- Architektura, výtvarné umění a pozemní stavitelství
- Stavitelství vodní, silniční, železniční a geodézie

Po ustavení samostatného Československa se postupně roku 1920 přeměňuje na Spolek československých inženýrů (**SIA**). V březnu 1921 je rovněž ustavena Inženýrská komora pro Československou republiku, která vydává autorizační razítka. Činnost těchto institucí probíhala velmi úspěšně až do roku 1939. Za protektorátu byla omezena, ale po 2. světové válce obnovena. Roku 1951 byly ovšem obě komunistickým režimem zlikvidovány.

Roku 1968 byl stavovský spolek obnoven pod názvem Český svaz stavebních inženýrů pro Čechy, Moravu a Slezsko (**ČSSI**), ale roku 1978 opět administrativně zlikvidován.

V novém režimu

Obnovující sjezd Českého svazu stavebních inženýrů (**ČSSI**) se sešel na začátku roku 1990 a zahájil intenzivní činnost, která vedla v roce 1992 ke schválení zákona č. 360/1992 Sb. o výkonu povolání autorizovaných inženýrů a techniků, a následně k ustavení České komory autorizovaných inženýrů a techniků ve výstavbě (**ČKAIT**). Komora rozběhla autorizační agendu a stala se postupně ve vztahu s partnerskou ČSSI tou významnější organizací směrem k veřejnosti a orgánům správy.

V rámci ČKAIT zastupuje zájmy našeho oboru **Aktiv profese Geotechnika**.

DOSLOV

V přehledu historie technologií speciálního zakládání staveb jsme objasnili jejich kořeny a cesty vývoje. Znalost těchto souvislostí je nezbytným předpokladem pro práci v geotechnickém inženýrství. Podrobně jsme tak doložili starou pravdu, že každý obor lidské činnosti vyrůstá na ramenou svých úspěšných předchůdců.

V nadcházejících desetiletích 21. století stojí před světem nutnost obnovy technické infrastruktury a přestavby či rozšíření obytných celků. Vše se již bude budovat ve většinou zastavěných územích, v geotechnicky složitějších a náročnějších podmínkách. Proto se začíná uvažovat i o urbanismu podzemí a umělých mořských teritoriích. Technologie speciálního zakládání jsou k plnění těchto úkolů přímo předurčeny.

Pro nový rozvoj společnosti, který vždy po období útlumu znova nastává, je potřeba inspirativní pohled do jejích předchozích světlých období. Lze v nich nalézat cenný zdroj k oživení a podpoře inovativních myšlenek, k promýšlení další budoucnosti.

Věříme, že tato kniha tomu napomůže.

Za všechny své kolegy
JINDŘICH ŘÍČICA

INFORMAČNÍ ZDROJE

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

(stručný výběr)

- Bauer Z.: Stroje na stavbách, Gardis Bohemia, 2011
- Bauer Z.: Stroje na stavbách – Tabulková příloha, Gardis Bohemia, 2011
- Bauer Z.: Stavební stroje Lanna, Corona, 2005
- Bažant Z.: Problémy zakládání staveb, Academia, 1966
- Bažant Z.: Metody zakládání staveb, Academia, 1973
- Bell A. L.: Grouting in the Ground, ICE-Thomas Telford, 1992
- Bottero D., Bringiotti M.: Consolidamenti fondazioni, Edizioni PEI, 2003
- Bowen R.: Grouting in Engineering Practice, Applied Science, 1975
- Burian R.: Zemní vrtání do malých a velkých hloubek, Matice hornicko-hutnická, 1956
- Čábelka J.: Vnútrozemské vodné cesty, SNTL, 1963
- Denies N., Hamidi B., Huybrechts N., Varaksin S.: Ground Improvement vs. Pile Foundations, ISSMGE, 2016
- Eichler J., Jesenák J., Myslivec A.: Mechanika zemin, SNTL, 1970
- Elson W. K., Fleming W. G. K., Randolph M. F., Weltman A. J.: Piling Engineering, John Wiley and Sons, 1985
- Esterka F.: Technologie vrtného výplachu, SNTL, 1970
- Fagan B. M.: Sedmdesát velkých vynálezů starověku, Slovart, 2005
- Feda J.: Interakce piloty a základové půdy, Academia, 1986
- Feda J.: Základy mechaniky partikulárních látek, Academia, 1977
- Gazda S., Vrana K., a kol.: Hydrogeochemické problémy přírodních vod, GÚDŠ, 1983
- Hálek V., Švec J.: Hydraulika podzemní vody, Academia, 1973
- Hanson W. E., Peck R. B., Thornburn T. H.: Foundation Engineering, LCCPD, 1973
- Hobst L., Zajíc J.: Kotvení do hornin, SNTL, 1972
- Hoch A. A.: Vynálezy, které změnil svět, Orbis, 1941
- Honzák J., Štoll I.: Věda a technika v českých zemích, Fragment, 2002
- Hrkal Z.: Voda – včera, dnes a zítra, Mladá fronta, 2018
- Hunt R. E.: Geotechnical Engineering I., McGraw-Hill, 1986
- Hunt R. E.: Geotechnical Engineering II., McGraw-Hill, 1986
- Chu J., Klotz U., Mengé P., Varaksin S.: State of the Art Report – Construction Processes, XVII. ICSMGE, 2009
- Jedlička M., Kožíšek J.: Provozně geologická příručka, SNTL, 1981
- Jöndl J. P.: Poučení o stavitelství pozemním, I. L. Kober, 1874
- Jůva K. a kol.: Vodohospodářské meliorace, SNTL, 1964
- Kérisel J.: The History of Geotechnical Engineering up Until 1700, XI. ICSMFE – A. A. Balkema, 1985
- Khera R. P., Oweis I. S.: Geotechnology of Waste Management, Butterworths, 1990
- Knápek Z.: Kniha pro každého Kelta, Rubico, 1999
- Koerner R. M.: Construction and Geotechnical Methods in Foundation Engineering, McGraw-Hill, 1984
- kol. ISSMFE: Grouts and Drilling Muds in Engineering Practice, Butterworths, 1963
- Kos J., Peter P., Tkaný Z., Verfel J.: Zakládání staveb, SNTL, 1973

- Kruizinga J. H.: Haal op die hei, ICE, 1997
 Kříž J.: Joachim Barranté, ČGÚ, 1999
 Kutílek M.: Vodohospodářská pedologie, SNTL, 1966
 Kutílek M., Landgráfová R., Navrátilová H.: Homo adaptabilis, Dokořán, 2013
 Leeuw de E. H.: The Netherlands Commemorative Volume, XI. ICSMFE, 1985
 Lilley S.: Stroje a lidé v dějinách, Orbis, 1965
 Macura L.: Úpravy tokov, SNTL, 1966
 Mácha J. a kol.: Želivka tunelem do Prahy, PIS, 1972
 Masopust J.: Navrhování základových a pažicích konstrukcí, ČKAIT, 2018
 Masopust J.: Vrtané piloty, Čeněk a Ježek, 1994
 Masopust J. a kol.: Rizika prací speciálního zakládání staveb, ČKAIT, 2011
 Masopust J., Mühl P.: Velkopřůměrové vrtané piloty, SNTL, 1990
 Matějů V.: Kompendium sanačních technologií, Ekomonitor, 2006
 Mečír R., Válek D.: Novodobá vrtací a trhací technika, SNTL, 1969
 Mejzlík L., Peter P., Votruba L.: Údolné nádrže a priehrady, SNTL, 1966
 Mencl V.: Mechanika zemin a skalních hornin, Academia, 1966
 Mencl V., Záruba Q.: Inženýrská geologie, Academia, 1974
 Oweis I. S.: Geotechnology of Waste Management, Butterworths, 1990
 Peck R. B.: Judgment in Geotechnical Engineering, John Wiley and Sons, 1984
 Pechar J., Staňková J.: Tisíciletý vývoj architektury, SNTL, 1972
 Pelikán V.: Ochrana podzemních vod, SNTL, 1983
 Přibil M., Šmehil K.: Hornictví, rudný a uhelný důl, NTK, 2015
 Pštross Č., Pštross M.: Domovní a vodárenské studny, SNTL, 1971
 Řiřica J.: Funkce piloty a technologické vlivy, časopis Zakládání, 2/1990
 Řiřica J.: Volba izolační varianty zásahu, časopis Odpady, 1994
 Řiřica J.: From the Maturity of Encapsulation to the Rise of Reactive Barriers, XIII. ESSMGE Prague, 2003
 Řiřica J.: Hlavní příčiny geotechnických poruch a havárií staveb, seriál I–III, časopis Stavebnictví, 02/11 – 04/11, 2011
 Řiřica J.: Technologické vlivy ve speciálním zakládání staveb – příspěvek k jejich klasifikaci, časopis Zakládání, 1/2012
 Řiřica J.: Historie speciálního zakládání staveb, seriál, část 1–24, časopis Zakládání, 3/2013 – 2/2019
 Řiřica J.: Současné problémy geotechniky a zakládání staveb – ve světě i v ČR, časopis Stavebnictví, 10/14, 2014
 Řiřica J.: Pohled na situaci stavebnictví ve světě, časopis Stavebnictví 01 – 02/15, 2015
 Széchy K.: Chyby v zakládání staveb, SNTL, 1966
 Tkaný Z., Verfel J.: Těsnění základových půd, SNTL, 1974
 Verfel J.: Injektování hornin a výstavba podzemních stěn, BRADLO, 1992
 Vučka V. a kol.: Havarijní stavy a čistota vod, SZN, 1984

ARCHIV AUTORA

- Odborné časopisy (např. Engineering News Record, Ground Engineering, European Foundations, DFI Magazine, International Construction, Inženýrské stavitelství, Zakládání, Stavebnictví i mnohé jiné) další knihy a konference
 Firemní prospekty a literatura
 Normy a předpisy provádění prací
 Internetové informace
 Rozhovory s pamětníky domácími (např. J. Jarolímecký, J. Rybák, J. Verfel, F. Peč, V. Stejskal, J. Masopust a mnozí další)
 i zahraničními (např. Soletanche-Bachy, EFFC, DFI, konference apod.)

O AUTOROVI

Ing. JINDŘICH ŘIČICA vystudoval v letech 1966 až 1971 obor vodní stavby a vodní hospodářství na ČVUT Praha. Po absolutoriu pracoval jako odborný technický dozor investora velké inženýrské stavby kmenové stoky K v Praze. Současně získal externě zkušenosti v projektování rekonstrukcí rybníků a jejich objektů.

Od roku 1975 byl zaměstnán u závodu 07 o. p. Vodní stavby jako stavbyvedoucí střediska vrtaných pilot. Podílel se na mnoha stavbách po celé republice, například na budování pražského metra nebo Paláce kultury. Od roku 1980 pracoval v odboru stavebního vývoje, zejména na technologických úkolech. Zúčastnil se i zahraničních projektů v Iráku a SAE. V roce 1989 zahájil doktorandské studium na téma teorie technologických vlivů pilotování, avšak vzhledem k novým možnostem praktického odborného růstu ho předčasně ukončil.

Roku 1991 nastoupil ve firmě Soletanche ČR, s.r.o., jako vedoucí projektů ekologických sanací. V letech 1995 až 2009, kdy odešel do penze, byl jejím generálním ředitelem. Během téměř dvaceti let u této prestižní firmy se zúčastnil přípravy a realizace mnoha projektů v tuzemsku i v zahraničí pro mateřskou společnost Soletanche-Bachy.

Roku 1999 inicioval založení Asociace dodavatelů speciálního zakládání staveb (ADSZS) a je dodnes jejím předsedou. V roce 2000 se ADSZS stala řádným členem European Federation of Foundation Contractors (EFFC). Ing. Řičica se jako český zástupce federace podílel v jejím rámci zvláště na technických projektech spolupráce a mezinárodních jednáních a konferencích.

V roce 2014 pomáhal ustavit Aktiv profese Geotechnika ČKAIT a jako jeho předseda se zúčastnil mnoha diskusí a akcí.

Během své bohaté praxe publikoval řadu odborných článků a vystoupil s příspěvky na konferencích zaměřených především na problematiku speciálního zakládání.

ENGLISH SUMMARY

GEOTECHNICS IN THE HISTORY OF ITS TECHNIQUES

The book's primary intention is to pay homage to past generations of geotechnical engineers and experts in special foundations who have brought this field, particularly in the last one hundred years, to today's top level both in the Czech Republic and around the world.

Its main objective is to awaken the interest of the younger generation in joining our profession. For that reason it was published under the auspices of ADSZS on a non-commercial basis chiefly to be distributed to school libraries and educational institutions free of charge. It might also provide professionals in this field with a historic background to their daily work and inspire them with examples of innovative solutions.

CHAPTER I (INTRODUCTION) gives a general overview of the subject of geotechnical engineering and explains the book's emphasis on the practical use of foundation engineering techniques.

CHAPTER II (METHODOLOGY) offers a basic division of all activities into four internally related circles with their further hierarchical classification of technique systems.

Based on this methodology, **CHAPTERS III to VI** contain detailed chronological surveys of technological developments in the respective categories (DRIVING, DRILLING, DEEP EXCAVATION and GROUND IMPROVEMENT).

CHAPTER VII provides general information on the historic circumstances of the evolution of our civilisation within cyclical climatic and other significant phenomena influencing the development of science and technology.

A brief history of civil engineering education plus the most important figures, firms and institutions of foundation engineering can be found in **CHAPTER VIII**.

CHAPTER IX gives a similar historic overview of the situation in the Czech Republic.

REJSTŘÍK

VYBRANÝCH POJMŮ, JMEN A FIREM

(u pojmů odkazujeme pouze na stránku s jejich širším vysvětlením; firmy uvádíme verzálkami)

A

airlift	87
Arutomov, Arměj Sergejvič	100
ATLASCOPCO	61

B

Bareš, Petr	84
Bažant, Zdeněk J.	74, 257, 303
Bechyně, Stanislav	126, 256
bentonitová suspenze	135
beran	22
- diesel beran	23
- hydraulický	23
- parní jednočinný	22
- volnopádový	21
beranění	22
- klasické	22
- vibrační	26
Bérigny, Charles	174, 298
betonáž pod vodou	116
BOART LONGYEAR	64
Broms, Bengt B.	213
Březina, Michal	71

C

cirkulace výplachu	49
- přímá	49, 85
- reverzní	87
Combarieu, Olivier	220
Coulomb, Charles-Augustin de	121, 289
Craelius, Per Anton	64

Č

čerpací studny – systém	101
-------------------------	-----

čerpací technika	98
čerpadlo	
- na maltu	192
- odstředivé	99
- peristaltické	203
- plunžrové vysokotlaké	202
- ponorné	100

D

Darcy, Henry	100
Degen, Wilhelm L.	32, 226
dějinný rámec rozvoje civilizace	278
dekontaminace základové půdy	266
displacement	19
drapák lanový	104
drenážní podzemní stěna	155
dynamická konsolidace	256

E

Esterka, František	53
--------------------	----

F

Feda, Jaroslav	74
FLYGT	100
FONDEDILE	233, 239
Francois, Albert	176
Frankignoul, Edgard	29
Freyssinet, Eugène	236
FUNDEX	31

G

Gabiony	242
Geodrény	260
geosyntetické materiály	248

geotechnická věda 11, 73, 289
geotechnické inženýrství 11

H

Hiley, Alfred 30
historický vývoj technologií 14
historie v ČR 14, 301
Hlasivec, Hynek 240
hledisko navrhování 15
- prováděcí 15
Hönigmann, Friedrich 87
hřebíkování 241
Hughes, Howard R. 51
hydrofréza 143
hydromonitor 199

CH

chronologický přehled souvislostí 284

I

Ingersoll, Simon 56
INGERSOLL-RAND 56
injektáž 171
- cementová 174
- chemická 185
- kontaktní 190
- nesoudržných zemin 181
- podpůrná 173
- rektifikační a kompenzační 193
- speciální směsí 186
- výplňová 191
- zhutňovací 191
injektování 171
- komplexní monitoring 189, 196
- technické prostředky 186
- všeobecné utřídění 172
INTRUSION PREPAKT 91
Ischy, Ernest 181

J

Jackhammer 57
Jarolímek, Jaroslav 135
Jedlička, Miroslav 305
Jehlofiltr 101
Joosten, Hugo J. 185

K

kelly tyč 49

Kérisel, Jean L. 74
keson 108
- otevřený 108
- přetlakový 111
- spodem uzavřený 114
Kjellman, Walter 260
klimatické vlivy 281
kompresor 54
konsolidace soudržných zemin 257
- hlubinné drény 258
- předtížením 257
- vakuové 260
koreček vlečný 157
korečkový bagr 102
kotvení 236
Kutílek, Miroslav 165

L

LANNA 101, 304
Larsen, Tryggve 24
Leyner, George 56
LIEBHERR 40
LINDEN-ALIMAK 212
Lizzi, Fernando 233
Longyear, Edmund J. 64
Lucas, Anthony F. 49
Lugeon, Maurice 180

M

MACCAFERRI 242
manžetová trubka 181
materiál a druhy ražených pilot 24
matrace 243
Masopust, Jan 74
Ménard, Louis 256
MÉNARD SOILTREATMENT 220, 229
metodika 15
- metodika záznamu historie 17
- třídění technologií 15
mikropiloty 231
Mitchell, Alexander 27
monitoring 12
- deformací konstrukce 195
- vrtání 51
- výrobního procesu 189
Moran, Daniel E. 110, 224, 290

N

naftové vrtání v Texasu	49
návodní jímka	122
názvosloví	17

O

obturátor, viz pakr	177
odvodňování hloubkové	98
okruhy činností	16
- hloubení	95
- ražení	19
- vrtání	43
- zlepšování základové půdy	167
opěrné a zárubní zdi	118
oscilátor výpažnic	75
osobnosti v teorii a praxi	228, 306
- období užší specializace	291
- počátky teorie	289
- spojení teorie a praxe	291
- ustavení nové vědy	290
- všestranní praktici	289

P

pakr (obturátor)	177
paralelogram vrtné soupravy	82
pažicí bentonitová suspenze	79, 135
- faktory	135
- výroba a recyklace	146
pažicí konstrukce	122
pažicí stěna	125
- berlínská	127
- janovská	131
- milánská	133
- pařížská	129
pažicí stěny	122
- alternativní	152
- kompozitní	152
- mikrozáporové	131
- pilotové	129
- podzemní	132
- ražené	127
- záporové	127
pilotovací práce – rozdělení objemu	46
piloty vřáněné/ražené	19
- Franki	29
- pískové	224
- předrážené	29
- šroubovitě	37

- Vibrex	31
- Vibropile	30
- vplachované	35
- vtlačované	35
piloty vřtané na místě betonované	72
- Atlas	92
- BDP/FDP	92
- CFA, CAP	89
plazový nosič	38
podzemní bariéry kontaminace	163
Poetsch, Friedrich H.	261
polymerová suspenze	137
ponorné kladivo	59
- spřažené	84
porucha integrity betonu	152
Poulos, Harry G.	74
práce na vodě a pod vodou	102
pracovní plocha	41
Priebe, Heinz-Joachim	228
Priestman, William D.	104
Proctor, Ralph R.	250
profesní organizace	298, 307
- ADSZS	299
- API	51
- ASCE	298
- ČKAIT	307
- DFI	299
- EFFC	299
- FIDIC	299
- ICE	298
- ISSMGE	298
přehradý – výstavba ve světě	45

R

ražení	19
- nárazové beranění	22
- sonické	28
- vibrační	26
reaktivní bariéra	274
replacement	72
rotační vrtné dláto	50
- přibírkové	50
- valivé	52
rotátor	77
Roussy, Ray	29
Rybák, Jan	135

S

sací bagr	105
sanace znečištění	266
- aktivní	274
- kombinovaná	274
- pasivní	270
SANDVIK	59
Schwing, Friedrich W.	89
sloupové inkluze	219
SOILMEC	306
soil-mixing	209
- hydrofrézou	215
- rýhovačem	215
- se suspenzí	213
- spirálovým vrtákem	212
- s práškovým vápnem	212
- tryskovou injektáží	217
solidifikace	271
Sommelier, Germain	54
SooySmith, William	73, 290
souhrnný přehled vývoje technologií	280
souvislosti společnosti, vědy a techniky	285
specializované firmy	292, 304
speciální zakládání staveb – úvod	11
splavování konstrukcí	105
Stenuick, André	60
Stephenson, Robert	289
světový stavební trh	297
svorníky horninové	36
SZS, VODNÍ STAVBY	306

Š

Škopek, Jiří	255
šnekový/spirálový vrták	48
šterkové pilře	226
- mokré	228
- náhrada	229
- suché	228
štetovnice	24
štíhlé základové prvky	230

T

technologická kompetence	13
technologické faktory výroby	13
- podzemních stěn	135
technologické systémy problematika	15
- třídění	16
technologické vlivy	13

tenké těsnicí stěny	161
teorie vrtání	52
TERRE ARMÉE	247
Terzaghi, Karl	74, 178, 290
těsnicí clona	156
těsnicí podzemní stěna	156
těžba podzemních stěn	138
- pažicích	142
- těsnicích	157
TONE BORING	84, 145
trysková injektáž	199

V

Veder, Christian	132
Verfel, Jaroslav	135, 184, 303
Vesic, Aleksandar S.	74
vhánění	19
vibrátor	26
- ponorný horizontální	32
- vertikální	26, 253
- vysokofrekvenční	28
Vibrocat	34, 228
vibroflot	33, 252
vibroflotace	33, 252
Vidal, Henri	246
vplachování	35
vrtání	43
- maloprůměrové	47
- nárazové	47
- ponorné kladivo	59
- Sonic-drilling	68
- vrchní příklep	53, 59
- vrtací kladivo	53
- rotační	49
- Duplex	65
- jádrové	62–65
- pažnicové	65–68
- plnoprofilové	48–53
- příklepné	53, 59
- s výplachem	49
- usměrněné	52
- velkopřůměrové	72
- nárazové	75
- dláto a kalovka	75
- na laně	75
- nárazový drapák	75
- rotační	77
- cyklické náběrové	77

- ponorné kladivo	84, 90
- průběžné přímý výplach	85
- průběž. reverzní výplach	87
vrtací soupravy	69
vrtná nástavba	78
výpažnice speciální	75, 82
výplach	48, 85, 87
- jílový	49
- vodní	63
- vzduchový	56, 88
výplň podzemní stěny	149
- bariéry kontaminace	165
- pažicí	149
- těsnicí	157
vývoj civilizace od dávnověku	278
vývoj ekonomických pozic	295
vývoj technické vzdělanosti	288
významné firmy spec. zakládání	293, 304
- BACHY	293
- BAUER	293
- CEMENTATION	293
- I.C.O.S.	294
- KELLER	293
- RODIO	294
- SOLETANCHE	294
- TREVI	295
- ZAKLÁDÁNÍ STAVEB	306

vyztužování základového prostředí	230
- hřebíkování	241
- kotvení	236
- mikropiloty	231
- skalního prostředí	248
- zemního prostředí	241

W

Warner, James	193
WIRTH	82

Z

Záruba, Quido	303
zhutňování nesoudržných zemin	250
- dynamické	255
- hlubinné vibrozhutňování	252
zlepšování základové půdy	167
- bez příměsí	250
- s příměsmi	171
zmrazování	261
- kapalným dusíkem	263
- solankou	261

ASOCIACE DODAVATELŮ SPECIÁLNÍHO ZAKLÁDÁNÍ STAVEB



Cílem činnosti Asociace je podpora rozvoje metod speciálního zakládání ve všech oblastech použití

Řádní členové:

A-Z PREZIP, a.s.
BP STAVBY Morava, s.r.o.
ČENĚK a JEŽEK, a.s.
EUROGEMA CZ, a.s.
GEOINDUSTRIE, spol. s.r.o.
GEOSTAV, spol. s r.o.
GRANSON, s.r.o.
HINTON, a.s. Divize zakládání staveb
KELLER - Speciální zakládání, spol. s r.o.
LENAKO, spol. s r.o.
WinningPS - PMK Drill, spol. s r.o.
PORR, a.s., Speciální zakládání staveb
PRAGIS, a.s., divize STAVEBNÍ SPECIALIZACE
SOLETANCHE Česká republika, s.r.o.
ZAKLÁDÁNÍ GROUP, a.s.
ZAKLÁDÁNÍ STAVEB, a.s.

Podpůrní členové:

ARMOBET, s.r.o.
DEUTSCHE LEASING ČR, spol. s r.o.
INTERMARKET, s.r.o.
PEMECA s.r.o.
Doc.Ing. Jan Masopust, CSc.

ADSZS (Asociace Dodavatelů Speciálního Zakládání Staveb)
Mikulandská 2, Praha 1
Tel: 224 933 658, 224 933 658, 224 933 518, 224 933 518
Fax: 224 934 101
E-mail: secretary@adszs.cz
Kontakt: Irina Vařilová

www.adszs.cz

A7PREZIP

spojení s profesionalitou



**PILOTOVÉ ZAKLÁDÁNÍ
PREFABRIKOVANÉ KONSTRUKCE**

www.azprezip.cz



Bylo mi ctí podpořit vydání této knížky.
Ale fotografie našich vrtaček?
To po mně nechtějte...

Vojtěch Ježek



DODAVATEL PILOTOVÉHO ZALOŽENÍ VELKOPRŮMĚROVÝCH PILOT TECHNOLOGIÍ CFA

- Provedeme realizaci pilotového založení
- Zpracujeme výrobní dokumentaci
- Provádíme stavby bytové, občanské a průmyslové

POŽADAVKY NA POPTÁVKY A DOTAZY:

piloty@eurogema.cz
Blanická 19, 77200 Olomouc



GEOINDUSTRIE s. r. o.



NA PEVNÝCH ZÁKLADECH







HINTON

STAVĚT NÁS BAVÍ

Divize zakládání staveb

Projektční činnost → projektování sloupů tryskové injektáže
→ projektování pilot a mikropilot → projektování pažících konstrukcí
→ projekty na pilotové stěny, hřebíkové stěny, horninové kotvy

Strojní vybavení → vrtné soupravy Bauer BG24H a BG20H

Výrobní program → piloty → mikropiloty → pilotové stěny
→ záporové pažení → horninové kotvy → trysková injektáž
→ zemní hřebíky a svorníky → injektáže

Těšíme se na společnou spolupráci v budoucnu.



www.hinton.cz



Váš partner pro složité základové poměry

- ◆ Kompletní zajištění stavebních jam
- ◆ Hloubkové vibrační zhutňování
- ◆ Dynamické zhutňování
- ◆ Deep Soil Mixing
- ◆ Konsolidační geodrény
- ◆ Horizontální odvodňovací vrty
- ◆ Velkopřůměrové vrtané piloty, CFA
- ◆ Mikropiloty, DUCTILE piloty
- ◆ Trysková injektáž
- ◆ Klasické injektáže, Soilfrac®
- ◆ Štětové stěny, těsnící clony
- ◆ Dočasné a trvalé kotvy
- ◆ Hřebíkování zemin, stříkané betony
- ◆ Zpracování projektové dokumentace





SPECIÁLNÍ ZAKLÁDÁNÍ STAVEB



| HORNINOVÉ KOTVY | MIKROPILOTY |
| ZÁPOROVÉ PAŽENÍ |

**Intelligentní
stavění
spojuje lidi.**

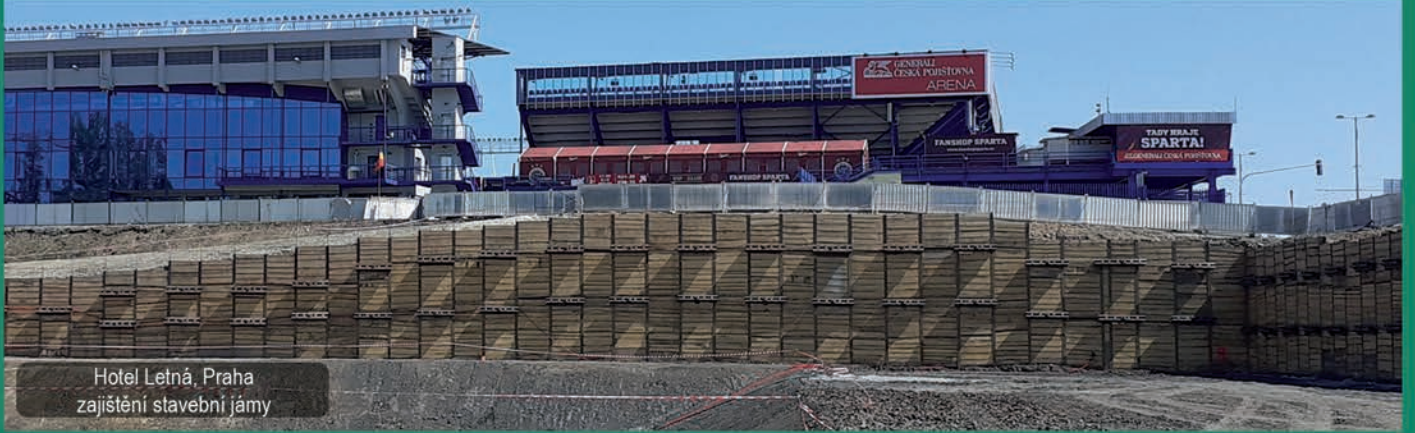


Pobočka Speciální zakládání staveb, člen Asociace dodavatelů speciálního zakládání staveb, Vám nabízí komplexní provedení prací speciálního zakládání staveb pro dopravní, inženýrské a pozemní stavby.

- Projekty speciálního zakládání a statiky stavebních konstrukcí
- Sanace sesuvů svahů
- Kompletní zajištění stavebních jam
- Podzemní konstrukční stěny, těsnicí stěny hloubené drapákem
- Předvrtávané pilotové stěny
- Vrtané piloty, piloty prováděné technologií CFA
- Mikropiloty, zápory
- Tyčové a lanové horninové kotvy dočasné/trvalé, hřebíky
- Injektáže hornin a stavebních konstrukcí
- Těsnicí clony
- Odvodňovací vrty - odvodnění stavebních jam a sesuvů
- HLV ražené piloty

PORR a.s. Jahodová 523 | 58 . 620 00 Brno
T +420 602 536 312 . zakladani@porr.cz
porr.cz

powered by **PORR**



Hotel Letná, Praha
zajištění stavební jámy



Celková přestavba ÚCOV Praha
opěrná nábrežní zeď přístaviště



Slaviborské nám., Třeboradice
jímka z pilotové stěny



Madeta a.s., Planá nad Lužnicí
pilotové založení objektu



PRAGIS a.s.
DIVIZE STAVEBNÍ
SPECIALIZACE



SOLETANCHE

 trysková injektáž



 piloty



 kotvy

 podzemní stěny



... a další technologie speciálního zakládání

BUILD ON US

winningps-pmk drill





- # Přes 50 let historie firmy
- # Zakládání stěžejních staveb v ČR
- # Silné technologické a strojní zázemí
- # Působení v regionu celé střední Evropy
- # Široké spektrum technologií speciálního zakládání
- # Pružnost a variabilita při optimalizaci technických řešení

**ZAKLÁDÁNÍ[®]
STAVEB**



Zakládání staveb, a. s.
K Jezu 1, P. S. 21
143 00 Praha 4 - Modřany
www.zakladani.cz

ZPRACOVÁNÍ BETONÁŘSKÉ OCELI SVAŘOVÁNÍ ARMOKOŠŮ

www.armobet.cz





Prodej, pronájem, servis
stavebních strojů
pro zakládání staveb

www.pemeca.cz





PRODEJ PRONÁJEM SERVIS

- velkoprofilové a maloprofilové vrtné soupravy
- vibrační a nárazová beranidla
- čerpadla betonových směsí
- plovoucí sací bagry a obouživelná rypadla
- vrtné nářadí a příslušenství
- štípače betonových pilot

STROJE OD ŠPIČKOVÝCH VÝROBCŮ: SOILMEC, DIESEKO GROUP (ICE), BELL, TESCAR, MECBO, TURBOSOL, DAWSON, PAJOT, JEAN LUTZ, TAETS a další.

INTERMARKET s.r.o., K Třebonicům 1074, 155 11, Praha 5 – Řeporyje



+420 774 995 424



info@intermarket.eu



www.intermarket.eu



DIČ: CZ48114511

VRTNÉ SOUPRAVY

S.R.O.

Výhradní zastoupení firmy COMACCHIO na českém a slovenském trhu.



PRODEJ PRONÁJEM SERVIS

- Stavební maloprofilové a velkoprofilové vrtné soupravy COMACCHIO
- Geologické a studnařské vrtné soupravy COMACCHIO
- Vrtné soupravy COMACCHIO na automobilových podvozcích
- Nástavby rypadel a vybavení pro vrtné práce

Zajišťujeme prodej, záruční i pozáruční servis, dodávky náhradních dílů a pronájem vrtných souprav COMACCHIO.



JINDŘICH ŘIČICA

GEOTECHNIKA V HISTORII TECHNOLOGIÍ

Vydáno péčí ADSZS v roce 2020

Mikulandská 2, 110 00 Praha 1

1. vydání

Publikace je určena školním knihovnám a všem technikům a inženýrům

v oboru geotechniky

Copyright © Jindřich Řičica, 2020

Grafická úprava Martin Šusta

Obálka Jiří Světlík (foto Libor Štěřba)

Jazyková redakce Jan Zelenka

(spolupráce Hana Tomková, Tomáš Gottwald, Libor Štěřba)

ISBN 978-80-270-7758-8

Ryze praktický pohled na obor geotechnického inženýrství nazírá toto téma přes oblast prováděcích technologií. Odkrývá svět, v němž se živě prolínají speciální stavební techniky a geologické zvláštnosti přírody. Otevírá jej přiměřenou popularizací i pro ještě nezavěšené zájemce.

Technologické postupy a zejména jejich technické prostředky jsou spleť vzájemně provázané. Mají různé kořeny v minulosti a prošly v posledních padesáti letech bouřlivým vývojem. Doposud na ně bylo povětšinou nahlíženo z úzkého zájmu pro teoretický návrh geotechnické konstrukce. Ten byl obvykle soustředěn na momentální stav prováděcí metody, zachycený v předepsané normě. Tato publikace chce doplnit celkový kontext vzájemných souvislostí i v jejich historickém vývoji.

Autor představuje účelově zaměřenou metodiku rozřídění technologií a v jejím rámci pak podává široký přehled chronologického vývoje spřízněných technologických systémů. Doplnuje rovněž širší dějinný rámec vývoje v obecnějších souvislostech rozvoje civilizace i techniky. Poukazuje také na působení vyhraněných osobností, firem nebo i profesních institucí.



Vydáno péčí Asociace dodavatelů speciálního zakládání staveb

ISBN 978-80-270-7758-8



9 788027 077588 >