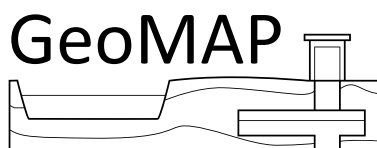


VŠB TECHNICKÁ | HORNICKO
UNIVERZITA | GEOLOGICKÁ
OSTRAVA | FAKULTA

TECHNICKÉ PRŮZKUMNÉ A VRTNÉ PRÁCE

VRTY PRO HYDROGEOLOGICKÉ ÚČELY
VRTNÉ PRÁCE V INŽENÝRSKÉ GEOLOGII A GEOTECHNICE
VRTNÉ PRÁCE VE STAVEBNICTVÍ



Martin Klempa, Jindřich Šancer, Jiří Mališ, Václav Zubíček

Ostrava, 2019



Europäische Union. Europäischer
Fonds für regionale Entwicklung.
Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj.



PROJEKT

GeoMAP – Nástroje geologického, hydrogeologického a geomechanického modelování pro účely zahlazování následků hornické činnosti a obnově území ovlivněného těžbou.

REG. Č.

100348899

RECENZENTI

prof. Ing. Petr Bujok, CSc.

Hornicko – geologická fakulta, VŠB – Technická univerzita Ostrava

Ing. Jaroslav Struna

technický konzultant vrtných prací, DESCO CZ

Text neprošel jazykovou korekturou.

All rights reserved. Printed in EU.

Copyright © Marionetti Press 2019

Copyright © Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava 2019

ISBN 978-80-905737-2-7

OBSAH

Obsah	3
1. Úvod	6
2. Základy technologie vrtných prací	7
2.1 Účely vrtání a druhy vrtů	7
2.2 Způsoby provádění vrtů	8
2.3 Vrtné zařízení	13
2.4 Rozpojitelnost hornin při vrtání	14
2.5 Způsob práce pracovních orgánů vrtacích nástrojů	15
2.6 Vyjádření rozpojitelnosti horniny při vrtání	19
2.6.1 Odpor proti rozpojování	20
2.6.2 Abrazivnost horniny	23
2.7 Energetické hodnocení rozpojovacího procesu	24
3. Vrty hloubené pro hydrogeologické účely	30
3.1 Rozdělení hydrogeologických vrtů	30
3.2 Způsoby a zařízení pro hloubení vrtů na vodu	32
3.2.1 Způsoby vrtání vrtů na vodu	32
3.2.2 Vrtná technika pro vrtání vrtů na vodu	33
3.3 Konstrukce hydrogeologických vrtů	35
3.3.1 Druhy pažnicových kolon	37
3.3.2 Filtry	40
3.4 Vrtné výplachy pro hydrogeologické vrty	51
3.4.1 Vrtné výplachy pro střídající se obzory písčitých a jílovitých zemin	52
3.4.2 Vrtné výplachy pro štěrkopísčité zeminy	52
3.5 Čerpací zařízení používaná v hydrogeologii	53
3.5.1 Čerpadla v hydrogeologickém průzkumu	53
3.5.2 Měření prováděná pomocí testerů	55
3.6 Odvodňovací horizontální vrty	57
4. Vrtné práce v inženýrské geologii a geotechnice	60
4.1 Vrtné práce v inženýrské geologii	60
4.1.1 Vrtná technika pro odběr vzorků hornin a zemin	60
4.1.2 Vrtné práce pro sledování stability svahů	60
4.1.2.1 Přesná inklinometrie	61
4.1.2.2 Měření pórových tlaků	64
4.1.2.3 Extenzometrie	65

4.1.2.4	Metoda křehkých páskových vodičů	70
4.1.2.5	Geoakustické měření ve vrtech	70
4.1.2.6	Měření podélných posuvů na svazích	70
4.1.3	Sondážní práce	72
4.1.3.1	Ručně zarážené sondy	72
4.1.3.2	Vibrované sondy (ruční vrtací kladiva)	72
4.1.3.3	Standardní penetrační sondování	75
4.2	Vrtné práce v geotechnice	76
4.2.1	Geotechnické polní zkoušky	77
4.2.1.1	Presiometrie	78
4.2.1.2	Dilatometrické zkoušky	82
4.2.1.3	Zatěžovací zkoušky lisem	83
4.2.1.4	Měření napjatosti horninového masívu	85
4.2.1.5	Terénní vrtulková zkouška	87
4.2.1.6	Vodní tlakové zkoušky	88
4.2.2	Penetrační sondování	89
4.2.2.1	Dynamické penetrační sondování	90
4.2.2.2	Statické penetrační sondování	96
4.2.2.3	Technika pro penetrační sondování	98
4.2.3	Zatěžovací zkoušky deskou	99
4.2.3.1	Statická zatěžovací zkouška kruhovou deskou	99
4.2.3.2	Dynamická (rázová) zatěžovací zkouška kruhovou deskou	102
5.	Vrtné práce ve stavebnictví	106
5.1	Vrtné práce pro zakládání staveb a v podzemním stavitelství	106
5.1.1	Vrtné práce pro zakládání staveb na pilotách	107
5.1.1.1	Definice a rozdělení pilot	109
5.1.1.2	Piloty ražené	110
5.1.1.3	Piloty předrážené	112
5.1.1.4	Piloty vrtané	122
5.1.1.5	Základy stanovení výpočtového zatížení pilot	143
5.1.2	Podzemní stěny	146
5.1.2.1	Účel podzemních stěn	146
5.1.2.2	Štětové podzemní stěny	147
5.1.2.3	Záporové podzemní stěny	151
5.1.2.4	Pilotové podzemní stěny	153
5.1.2.5	Podzemní stěny budované pod ochranou jílové suspenze	155
5.1.3	Kotvení do hornin	164

5.1.3.1	Účel a podstata kotvení stavebních objektů do hornin	164
5.1.3.2	Vhodnost hornin pro kotvení	167
5.1.3.3	Hloubka zapuštění kotev do hornin	168
5.1.3.4	Hloubení kotevních vrtů	175
5.1.3.5	Technologie kotvení	176
5.1.3.6	Cementové směsi a jejich doprava do kotevních vrtů	184
5.1.3.7	Upínání kotev ve stavební konstrukci	187
5.1.4	Injektování hornin	193
5.1.4.1	Injektování skalních hornin	193
5.1.4.2	Injektování nesoudržných zemin	217
5.1.4.3	Účely injektování hornin	224
5.1.4.4	Trysková injektáž	226
5.2	Vrtné práce používané v bezvýkopových technologiích	235
5.2.1	Základní pojmy	235
5.2.2	Rozdělení bezvýkopových metod výstavby	236
5.2.3	Průzkum a příprava výstavby	239
5.2.3.1	Průzkum pro výstavbu	239
5.2.3.2	Příprava výstavby	242
5.2.4	Výstavba podzemních vedení metodami mikrotunelování	243
5.2.4.1	Metody neřízeného mikrotunelování	244
5.2.4.2	Metody řízeného mikrotunelování	260
5.2.4.3	Mechanizace činností souvisejících s řízeným mikrotunelováním	275
5.2.4.4	Pracovní šachty a jámy	282
5.2.4.5	Směrové vrtání	287

1. ÚVOD

Tato odborná publikace vznikla díky projektu **GeoMAP - Nástroje geologického, hydrogeologického a geomechanického modelování pro účely zahlazování následků hornické činnosti a obnově území ovlivněného těžbou** (reg. č. 100348899), který je financován Saskou bankou a kde jsou autoři této knihy v pozici spoluřešitelů. Cílem projektu je výměna zkušeností mezi českou a saskou stranou v oblasti sanací a rekultivací krajiny postižené hornickou činností. V rámci sanačních a rekultivačních prací je třeba mít mimo jiné i teoretické znalosti z oblasti techniky a technologie průzkumných a vrtných prací. Díky metodám popsaných v této knize lze získat přímé informace, které charakterizují horninové prostředí. Rovněž řada zmiňovaných technických prací napomáhá předcházet mimořádným událostem nebo řešit nastalé mimořádné události jako jsou např. sesuvy, poklesy, výstupy podzemních vod, jímání podzemních vod, odvodňování aj. Text je určen především studentům a pedagogům vysokých škol technického a přírodovědného směru, dále odborným pracovníkům firem zabývajících se sanacemi, rekultivacemi apod. a v neposlední řadě i pracovníkům státní správy a samosprávy, kteří se zabývají touto problematikou.

Cílem této knihy je čtenáře seznámit se základními metodami průzkumných a vrtných prací, přičemž je kladen důraz zejména na průzkumné vrtné práce, využívané jak pro účely ložiskové geologie, tak pro účely inženýrské geologie, hydrogeologie, geotechniky a stavebnictví. Každý, kdo dočte až do konce, získá základní znalosti, které umožní definovat jednotlivé typy průzkumných a vrtných prací, popsat a charakterizovat použité technické prostředky a technologické postupy používané při jejich realizaci a umět je navzájem srovnat s ohledem na jejich výhody a nevýhody použití v konkrétních podmínkách.

Tento text je věnován památce dvou mužů, kteří se na Hornicko – geologické fakultě profesně zabývali problematikou průzkumného a hlubinného vrtání – **doc. Ing. Vojtěch Zeman, CSc. a doc. Ing. Josef Mazáč, CSc.**

2. ZÁKLADY TECHNOLOGIE VRTNÝCH PRACÍ

2.1 ÚČELY VRTÁNÍ A DRUHY VRTŮ

Hlubinné vrtání je oborem, který zasahuje do mnoha jiných oborů buď přímo, nebo nepřímo a tím se stává důležitým a nezbytným pro široký okruh technické činnosti. Hlavní funkce hlubinného vrtání spočívá v jeho spolupráci na **hornické činnosti**, a to

- **při průzkumu ložisek nerostných surovin**, kde je hlavní složkou průzkumné techniky,
- **při samotné těžbě**, kdy přebírá funkci důlních děl. Těžba ropy, zemních plynů a částečně i vody je bez hlubinného vrtu nemyslitelná.

Pro tyto účely jsou vrty realizovány jak ze zemského povrchu, tak i z důlních děl. Dalšími obory, kde je hlubinného vrtání dnes široce využíváno, je především **stavebnictví**, kde je zvláště patrný nárůst vrtných prací, a to jak z hlediska kvantitativního, tak i kvalitativního (**zakládání staveb, injektáže, kotvy** apod.) a také vodohospodářství. V posledním období je zřejmý rozvoj vrtných prací také v **energetice (provádění vrtů pro tepelná čerpadla** a další).

Hlubinný vrt je dlouhé důlní dílo, u něhož poměr (délka/průměr) má maximální velikost. Je hlouben většinou ve svislém směru, ale i ve vodorovném a ukloněném pod různými úhly od tížnice. Hlubinný vrt je prováděn pro účel:

- **průzkumný**: získání geologických a geotechnických informací,
- **provozní**: vytvoření otvoru pro hornické, geologické, stavební a další technické účely.

Na základě tohoto rozdělení se vrty obecně člení na:

1. **Vrty geologicko-průzkumné**, jejichž cílem je získání geologických a geotechnických informací. Charakteristickým rysem je, že slouží jen po dobu vrtání, po ukončení nemá význam (může být i škodlivý), musí se likvidovat. Jsou to vrty.
 - **v geologickém průzkumu**: mapovací, strukturální, opěrné, parametrické, pionýrské, regionálně-profilové, vyhledávací, obrysově apod.
 - **v hornictví**: vyhledávací, orientační, sledné, ložiskové, zajišťovací, parametrické, testovací, vrty pro geomechanické účely apod.
2. **Vrty provozně-technické**, jejichž cílem je vytvoření otvorů, které po odvrtání mají sloužit určitému účelu. Charakteristickým rysem je, že svému účelu začínají sloužit až po dokončení vrtu. Jsou to vrty:
 - **v hornictví**: těžební, větrací, zmrazovací, injektační, vtláčecí, jámové (velkopřůměrové), odvodňovací, degazační, základkové, hasící, spojovací, záchranné, trhací, zplyňovací apod.

- **ve stavebnictví:** pilotové, mikropilotové, monitorovací, injektážní, spojovací, sanační, vrty pro kotvy apod.
- **ve vodohospodářství:** čerpací, pozorovací, balneologické,
- **v energetice:** vrty pro tepelná čerpadla, vrty pro využití geotermální energie.

V závislosti na členění vrtů, tedy geologickém záměru, se rozlišují určité kategorie technických hledisek při hloubení vrtu. Jsou to zejména:

- rozdílné projektované hloubky a konečný průměr vrtu,
- různé typy vrtných souprav podle jejich nosnosti,
- různá složitost konstrukcí vrtů,
- rozdílná volba materiálu, vrtného nářadí a nástrojů,
- rozdílná technologie či způsob vrtání,
- rozdílné vystrojení vrtu a technologie čerpacích procesů.

2.2 ZPŮSOBY PROVÁDĚNÍ VRTŮ

Rozdílnost způsobů rozpojování horniny různými druhy vrtných nástrojů neumožňuje vytvořit jednotné, obecné teorie vrtání hornin. Proto se vytvořily **teorie vrtání pro jednotlivé druhy nástrojů**, např. teorie vrtání valivými dláty a teorie vrtání řeznými nástroji apod.

Při teoretickém rozboru kteréhokoliv procesu vrtání je nutné mít především jasno o **druhu, tvaru a stavu vrtného nástroje a o režimu vrtání**, který bude použit. **Vrtný nástroj** se během vrtání může měnit jen co do tvaru (otěrem), a to bez možnosti zásahu obsluhy, kdežto **režim vrtání** lze regulovat podle vlastního uvážení. Proto **správná klasifikace způsobů vrtání**, která by byla spolehlivým podkladem pro teoretický rozbor, musí vycházet **z režimu vrtání**.

Režim vrtání je dán přitlakem, otáčkami a proplachem. Každá z těchto složek je samostatně regulovatelná, nezávisle na složkách ostatních. Cílem všech teoretických rozborů i provozních zkoušek je zjistit, která kombinace těchto režimových složek je nejvýhodnější.

Hlavní složkou režimu vrtání je přitlak; může být **stálý, kmitavý, přiklepný a nárazový**. V každém z uvedených případů má podstatný vliv na vnikání pracovního orgánu vrtného nástroje (břitu) do horniny, protože velikost přitlaku na břit rozhoduje o hloubce vniknutí břitu do horniny.

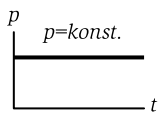
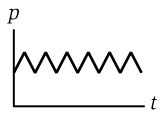

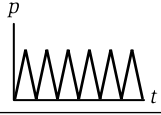

Stálý přitlak je vyvozován buď zátěžkami nebo hydraulickým či jiným podávacím zařízením. Jeho velikost se v závislosti na čase mění jen málo a pomalu. Naproti tomu **kmitavý přitlak** je výslednicí stálého přitlaku s rázy vibračního zařízení, které v jedné poloze zvětšuje a v opačné poloze zmenšuje hodnotu stálého přitlaku; při tom tyto změny probíhají velmi rychle, takže jsou velmi účinné. Podobný průběh má i **přiklepný přitlak**, který vzniká součtem stálého přitlaku s účinkem úderníku; jednotlivé údery se projeví místním zvýšením stálého přitlaku.

Nárazový přítlak je znám od nárazových způsobů vrtání a vyznačuje se tím, že se mění od nuly po maximum a zpět, při čemž mezi jednotlivými údery jsou značné přestávky.

Druhou velmi důležitou složkou režimu vrtání je proplach vrtu. Je jím řízen odnos rozpojené horninové drti z čelby vrtu, od vrtného nástroje, na povrch. **Proplach** lze členit **podle druhu cirkulace** na **přímý** nebo **nepřímý**, **velikosti průtoku** (l/min) a **druhu výplachu** (**kapalný, pěnový, plynný**).

Klasifikaci způsobů hlubinného vrtání uvádí tabulka č. 2.1. Vychází z charakteru přívodu **mechanické** (přítlak na vrtný nástroj) a **hydraulické** (proplach vrtu pro odnos vrtné drtě) **energie** k čelbě vrtu, kde je realizován rozpojovací proces hornin při hlubinném vrtání.

Tab. 2.1 Způsoby hlubinného vrtání.

Přítlak na vrtný nástroj	Odnos horninové drti				
	vrtným nástrojem	Výplachem			
		bez cirkulace	přímá cirkulace	tlaková nepřímá cirkulace	sací nepřímá cirkulace
	náběrné, šnekové		rotarové, jádrové, ponorné pohony	protiproudové	sací
	vibrační				
			rotačně-příklepné, ponorná vrtací kladiva	rychlorázové	
		lanové, pensylvánské	povrchová vrtací kladiva		
			tryskové		

- 1. Vrtání náběrné** je charakterizováno tím, že používá nástrojů, které horninu nejen rozrušují, ale i vynášejí z vrtu. Patří mezi nejjednodušší vrtací metody, určené především pro zeminy a měkké horniny. Používá se zvláště ve stavebnictví a vodohospodářství. Pohon náběrné vrtné soupravy je všeobecně ruční, čímž jsou dány ekonomické hranice použití souprav. Používají se do hloubky cca 30 m, s pomocnou mechanizací max. do 200 m. Vrtným nástrojem je lžíce, případně šapa. K čištění vrtu se používá kalovek s klapkovým nebo polokulovým uzávěrem. Tento způsob zahrnuje i vrtání škrabáky, které je samozřejmě mechanizované.

2. **Vrtání šnekové** je svým charakterem obdobné předchozímu. Použití je výhodné zejména v plastických materiálech. Vrtným nástrojem je talířový spirálový vrták. Na rozdíl od předchozího používá se jako vrtacího zařízení rotačního stolu, konstruovaného pro nízké otáčky a vysoký krouticí moment.
3. **Vrtání vibrační** se používá pro hloubení vrtů v sypkých materiálech, spraších, píscích, které se vyznačují velmi nízkou stabilitou stěn vrtů. Tento způsob vrtání využívá skutečnosti, že sypké látky nabývají při kmitočtu cca 1 000 – 2 000 kmitů za minutu tekutosti jako kapalina. Vrtný nástroj se pak do nich ponořuje. Vrtná kolona plní i funkci pažnic a materiál z vrtu se odstraňuje drapáky. Funkci vibrátoru plní dva protisměrné otáčivé excentry.
4. **Vrtání lanové** je prakticky nejstarším používaným způsobem vrtání. Výhodně se jím vrtalo do hloubek 300 – 400 m. Vzhledem k nutnosti odstraňování rozrušené horniny pomocí kalovky nelze této metody použít v suchých píscích, štěrcích a porézních horninách. Principem tohoto způsobu je **nárazové vrtání**. Zdvih dláta může dosahovat podle tvrdosti vrtané horniny řádově až několik metrů. Vrtacím zařízením je u tohoto způsobu vrtání **sekundární vahadlo**. Podle použitého ocelového lana lze vrtání na laně rozdělit na:
 - Vrtání s lanem bez zkrutu (křížově pletené lano), používané do hloubek cca 60 m. Pootočení dláta se provádělo ručně pomocí berlice, upevněné na laně u ústí vrtu. Na spodním konci lana je upevněn smykač, který umožňuje dopadnutí vrtného nástroje na dno vrtu nezávisle na pohybu lana. Na smykač navazuje zátěžka, která zvětšuje pohybovou energii dopadajícího dláta. Do zátěžky je pak zašroubováno vlastní dláto.
 - Vrtání na laně se zkrutem (stejnoseměrně pletené lano) je obdobou vrtání s lanem bez zkrutu. Odpadá pouze berlice. Její funkci zastává lanová spojka, umístěná na spodním konci lana. Při zatížení se lano částečně rozplétá a tím pootáčí dlátem. Dopadem dláta na dno vrtu je lano částečně odlehčeno a to se opět zkroutí do původní polohy.
5. **Vrtání pensylvánské** je obdobou předchozího způsobu vrtání. Je nejdokonalejší a nejrozšířenější ze všech modifikací lanového vrtání. Základním znakem tohoto systému je **primární vahadlo**, které prostřednictvím lana bez zkrutu uděluje vrtné koloně vertikální zdvih pomocí excentru, přičemž dláto opracovává počvu vrtu. Sestava náradí je složena od spodu takto: dláto, zátěžka, smykač, lanová svěra, lano a primární vahadlo. Mohutné vrtné soupravy tohoto typu se používaly pro hloubení vrtů na ropu až do hloubky 2 000 m. Velká tíha náradí, nezbytná pro značné přítlaky při velkých průměrech vrtů byla dosahována použitím plných vrtných tyčí.
6. **Vrtání rotarové** zaznamenalo od roku 1900, kdy bylo poprvé použito, velký rozvoj a dosáhlo značného stupně dokonalosti, kterým se může

vykázat už jen vrtání jádrové. Rotarové vrtání je v současné době téměř nejuniverzálnější metodou pro různé účely. Jeho užití je soustředěno především na vrtání hlubokých a velmi hlubokých vrtů a pak zejména na vrtání vrtů na ropu, zemní plyn a vodu. Je symbolem právě pro vrtné práce v naftovém průmyslu. Všechny rekordní hloubky v hlubinném vrtání byly dosaženy tímto způsobem. Racionální použití tohoto způsobu je uváděno již od 500 m. Rotarové vrtání je charakterizováno především použitím rotačních stolů s unašečkou jako vrtacího zařízení a systémem podávání náradí do vrtu při vrtání těžním zařízeními vrtné soupravy, tj. pomocí vrátku a kladkostrojového systému, což umožňuje vrtání pouze svislých vrtů. V současné době se jako vrtacího zařízení používají také posuvné rotační hlavy (systém Top Drive). Jednotlivé funkční celky vrtné soupravy tvoří samostatné agregáty, které umožňují pro daný účel sestavit energeticky vyváženou vrtnou soupravu.

- 7. Vrtání jádrové** je rovněž vrtání rotační, přičemž jeho technický vývoj je ovlivňován především kvalitou a rychlostí získávání dokonalých, přímých geologických podkladů – horninových vzorků - vrtných jader. Charakteristickým vrtným nástrojem je vrtná korunka, jejíž velmi úzký řez způsobuje rozrušování horniny jen na velmi úzkém mezikruží, což je energeticky málo náročné. Proto jsou jádrové vrtné soupravy velmi lehké a kompaktní. Jádrové vrtání je charakterizováno použitím rotačních hlav s hydraulickým ovládním jako vrtacího zařízení, které umožňují dodávání náradí do vrtu při vrtání a možnost vrtat v libovolných směrech umožňuje provést dokonalé prozkoumání ložiska a jeho úložních poměrů. Tato možnost, malá hmotnost a rozměry pro snadnou mobilitu, předurčují použití tohoto způsobu v **důlním vrtání**. Podobně jako u rotarového vrtání dosáhl tento způsob značný technický rozvoj zejména použitím diamantových vrtacích korunek, konstrukcí různých typů jádrováků, zavedením malojádrového vrtání s náradím z netradičních materiálů a těžitelnou vnitřní jádrovnicí na laně a dalších. Řada z těchto progresivních prvků je uplatňována také při vrtání v podzemí. Jako metody je možno jádrového vrtání použít i při vrtání rotarovém.
- 8. Vrtání s ponornými pohony.** Při klasickém rotačním způsobu vrtání z povrchu se velká část pohonné energie spotřebuje na jalovou rotaci vrtných trubek, na překonávání tření o stěny atd. Kromě toho je soutyčí namáháno všemi druhy namáhání, takže dochází někdy k jeho deformaci i k lomu. Odstranění tohoto problému vedlo ke konstrukci a použití ponorných pohonů, kde vrtací zařízení – ponorný pohon, je umístěn přímo nad vrtným nástrojem a vrtné trubky jsou bez rotace a slouží k proudění výplachu k ponornému pohonu. Ponorné pohony jsou dvojího druhu a to hydrodynamické a hydrostatické. Představitelem **hydrodynamických pohonů** je vrtná turbína. Pracovní část turbíny je složena z většího počtu pracovních stupňů, tj. dvojic lopatkových kol. Výplach proudící turbínou se lopatami statoru usměrňuje na lopatky rotoru, spojeného s vrtným nástrojem, čímž se pohybová energie

proudícího výplachu mění na mechanickou práci. Při konstantním dodávaném množství výplachu (litráži) s růstem zatížení, tedy růstem krouticího momentu, klesají otáčky a tlak zůstává přibližně konstantní. Naproti tomu **hydrostatické pohony** pracují na objemovém principu, tj. že při konstantní litráži mají téměř konstantní otáčky. Krouticí moment roste s tlakem přibližně lineárně. Tyto pohony pracují na principu šnekového čerpadla, které pracuje v reverzním režimu. Protékající výplach, který otáčí rotorem, mění tímto funkci stroje z čerpadla na motor. Pracovní část je tvořena spirálovitým kanálem kruhového průřezu, ve kterém se otáčí masivní ocelový rotor, vlnovitého tvaru. Hydrostatické pohony se na základě úspornější charakteristiky osvědčily lépe než turbíny. Jejich nasazení je možné na vrtných soupravách se standardním vybavením. Tyto ponorné pohony se používají zejména při speciálních pracích ve vrtu jako je usměrněné vrtání, likvidace havárií, provrtávání různých materiálů v pažnicích apod.

9. Rotačně-příklepné vrtání využívá na rozpojení horniny současné působení rotace a dynamických rázů, vyvozovaných vrtacími kladivy a to povrchovými a ponornými. **Povrchová vrtací kladiva** dosahují podstatně menších vrtných postupů než předchozí způsoby vrtání. Mají pneumatický pohon a používají se pro vrtání krátkých vývrtů pro trhací práce při razicích a dobývacích pracích. Naopak pro vrtání hlubinných vrtů dosáhla většího uplatnění **ponorná vrtací kladiva**. Jako energetické medium se zde používá kapalina nebo stlačený vzduch. Podle toho jsou rozlišeny na **hydraulická ponorná kladiva** (hydroperforátory) a **vzduchová ponorná kladiva** (pneuperforátory). Právě **vzduchová ponorná kladiva** dosahují v posledním období značného využití zejména při plnoprofilovém vrtání v pevných a velmi pevných, křehkých horninách. Základní vlastností ponorného kladiva je jeho vysoká úderná síla, která je přenášena působením tlaku vzduchu na píst a na vrtný nástroj, což je speciálně upravené dláto, bez toho, aby docházelo ke ztrátě energie ve vrtné koloně. Stlačený vzduch se využívá také k odstraňování vrtné drtě z čelby vrtu. Otáčení vrtného nástroje zabezpečuje, aby jeho pracovní orgán nepůsobil vždy na stejné místo. Vrtné soupravy používané pro tuto technologii nemusí mít tedy velký krouticí moment. Vzduchová ponorná kladiva našla uplatnění především ve stavebnictví, hydrogeologii a lomovém dobývání.

10. Tryskové vrtání využívá k rozpojování hornin energie proudu výplachové kapaliny, která vytváří tlakový náraz na horninu, rozrušuje ji a současně ji odstraňuje z čelby. Tento způsob vrtání je vlastně formou rozpojování hornin hydromonitorem, známou zejména z uplatnění v uhelném hornictví. Proti hydromechanizaci dobývání uhlí se zde používá vyšších tlaků (řádově 100 MPa) a velmi úzkých a ostrých vodních paprsků. Využití energie vodního paprsku našlo již uplatnění také v jiných oblastech. Pracovním médiem je čistá voda nebo jílový výplach, který je výhodnější pro zpevňování stěn vrtů. Principu tryskového vrtání je v současnosti využíváno i v rotarovém vrtání, kde vrtací nástroje – listová a valivá dláta

jsou opatřena pro výtok výplachu z nástroje tryskami, čímž se zvyšuje hydraulický výkon na čelbě vrtu, což významně přispívá k rozpojování i očišťování čelby vrtu. Valivá dláta jsou (s výjimkou malých průměrů do 150 mm) vyráběna již výlučně v tryskovém provedení. Samozřejmě to opět zvyšuje nároky na hydraulický výkon proplachového systému vrtu.

- 11. Protiproudové vrtání** (counterflush) je charakterizováno kombinací rotačního vrtání s nepřímým proplachem vrtu. Dalším rysem je průběžné jádrování s hydraulickým výnosem jádra a minimální kolmatace zájmových produktivních horizontů. Nejlépe se osvědčuje v jílech a slínech, nehodí se pro vrtání ve štěrkových horninách. Značným konstrukčním problémem, který zapříčinil malé rozšíření tohoto způsobu je kvalita těsnění rotační hlavy pro průchod vrtné kolony, které musí zabránit krátkému spojení proplachu vrtu. Pro použití tohoto způsobu vrtání v podmínkách značných ztrát výplachu byla vyvinuta vrtná kolona s dvojitými centrickými trubkami (tzv. technologie „con-cor“, nepřetržitě hydraulické jádrování při použití rotačního vrtání s nepřímým proplachem), kde je proud výplachu veden k čelbě mezikružím mezi těmito dvojitými trubkami.
- 12. Rychlorázové vrtání** bylo vyvinuto z nárazového vrtání se soutyčím, kdy byla dodržena zásada, že nárazové vrtání má být spojeno s nepřímým proplachem vrtu. Tato zásada plyne ze skutečnosti, že tak velké úlomky hornin, které vznikají při nárazovém vrtání, mohou být bez dalšího drcení a tedy ztráty energie, vynášeny jen nepřímým proplachem. Zavedením nepřímého proplachu získaly rychlorázové soupravy mnoho předností a udržely se v provozu po dlouhou dobu. Jejich výkonnost však zůstala pozadu za moderními jádrovými a rotarovými vrtnými soupravami. Používaly se do hloubek až 1 500 m. Na rozdíl od ostatních nárazových systémů dosahují vyššího počtu úderů až 150 za minutu při poměrně malé výšce zdvihu 6 - 15 cm. Vrtacím zařízením bylo opět primární a sekundární vahadlo.
- 13. Sací vrtání** je moderním prvkem ve způsobech hloubení vrtů, využívaném zejména v hydrogeologii, inženýrské geologii a stavebnictví při vrtání málo zpevněných materiálů. Vrtná kolona plní rovněž funkci i pažnicové kolony. Rozrušený materiál hornin a zemin je spolu s výplachem odčerpáván z vrtu.

2.3 VRTNÉ ZAŘÍZENÍ

Vrtným zařízením se označuje určitý komplex zařízení, způsobilý k provádění hlubinných vrtů. Skládá se ze dvou hlavních částí:

- a. Vrtné soupravy**, zahrnující v sobě veškeré **povrchové strojní zařízení** (motory, čerpadla, vrátek, věž apod.). Charakterizují techniku při provádění vrtných prací. Konstrukční skladba všech vrtných souprav má tolik společných znaků, že je lze probrat společně.

b. Vrtného nářadí, zahrnující veškeré nástroje a pomocná zařízení **pracující ve vrtu** (dláta, korunky, jádrováky, zátěžky, vrtné trubky, pažnice, havarijní nářadí a nástroje). Z vrtného nářadí se sestavuje **vrtná kolona**, přizpůsobená daným podmínkám a způsobu vrtání. Z pažnic se sestavuje **pažnicová kolona**, určená k výztuži vrtu a jeho ochraně.

K vrtnému zařízení náleží rovněž **pomocné nářadí**, které zahrnuje všechny nástroje určené k manipulaci s vrtným nářadím (klíče, elevátory, svěry apod.).

Provedení vrtu tvoří určitý uzavřený cyklus prací, tvořený schematicky následujícími etapami:

1. Lokalizace vrtu, tj. vytýčení vrtného bodu a určení plochy pro daný typ vrtné soupravy.
2. Přípravné práce, tj. úprava terénu pro vrtnou soupravu, stavba základů a šachty, výstavba přístupové cesty, stavba vodovodu, elektrického přívodu apod.
3. Montáž vrtné soupravy, tj. montáž vrtné věže (stožáru), veškeré základní a pomocné zařízení, dále strojovny a navrtání šikmé, pomocné kolony.
4. Vlastní vrtání vrtu, tj. hloubení projektovaných intervalů pro jednotlivé kolony pažnic, odebírání horninových jader, provádění elektrokarotážních prací, případně testerů.
5. Izolace vrstev, tj. zapouštění projektovaných pažnicových kolon a jejich zacementování, montáž ústí vrtu.
6. Osvojení vrtu (čerpací zkoušky), tj. perforace pažnic, vyvolání přítoku ložiskového média, výzkum vrtu, předání vrtu do těžby nebo k výzkumným účelům, resp. likvidace vrtu.
7. Demontáž vrtné soupravy, tj. práce prováděné částečně v opačném pořadí podle 3. etapy.
8. Likvidační práce, tj. likvidace nebo úprava základů, výplachových kališť, rekultivace okolí vrtu a vrácení pronajatých ploch.

2.4 ROZPOJITELNOST HORNIN PŘI VRTÁNÍ

Rozpojitelnost hornin při vrtání patří mezi tzv. **technologické vlastnosti hornin**. Tyto vlastnosti představují projev hornin při jejich uvolňování, rozpojování a opracování různými technologickými způsoby. Rozpojitelnost je vlastně první vlastnost horniny, se kterou se ve vrtné praxi setkáváme, přímo se projevující v technologickém rozpojovacím procesu. Jedná se o složitý souborný projev komplexu fyzikálních a mechanických vlastností hornin, který nelze zatím vždy spolehlivě teoreticky definovat, neboť teoretická skladba projevu je složitá a pro praktické účely jen obtížně použitelná. Přesto však následující kapitoly tohoto učebního textu (způsoby hlubinného vrtání, vrtné nástroje, vrtná technika a další) z objasnění rozpojitelnosti hornin při vrtání vycházejí a na ní navazují. Proto pojednání o rozpojitelnosti hornin při vrtání je úvodní kapitolou učebního textu.

V období provádění vrtných prací, které mají za cíl vytvoření průzkumného nebo provozního technického díla – **vrtnu**, tyto vlastnosti hornin společně s technickými a technologickými činiteli na vrtnu ovlivňují rychlost a kvalitu prováděných vrtných prací. Jedná se tedy především o ty vlastnosti provrtávaných hornin, které bezprostředně ovlivňují vlastní proces vrtání a které se v průběhu hloubení vrtnu mění v závislosti na geologickém profilu zájmové oblasti. Patří sem především:

- a. Technologické vlastnosti hornin:
 - tvrdost,
 - abrazivnost,
 - rozpojitelnost (vrtatelnost a řezný odpor hornin).
- b. Mechanické vlastnosti hornin:
 - pevnostní vlastnosti hornin (pevnosti tlakové – redukováná pevnost vtlačná, pevnost v prostém tlaku, pevnosti tečné – smyková a střížná pevnost),
 - přetvárné vlastnosti hornin (moduly pružnosti hornin, energetická bilance hornin).

2.5 ZPŮSOB PRÁCE PRACOVNÍCH ORGÁNŮ VRTACÍCH NÁSTROJŮ

Rozumíme-li pod rozpojitelností (vrtatelností) hornin při vrtání jejich schopnost (souhrn vlastností) klást odpor proti rozpojovacímu účinku **pracovních orgánů vrtacích nástrojů**, pak je patrné, že při rozpojovacím procesu jde o vytvoření takových poměrů mezi nástrojem a horninou, kdy je dosaženo mezného stavu napjatosti za konkrétních úložních a provozně-technologických podmínek ve vrtnu. To znamená, že pro úspěšné definování rozpojitelnosti hornin při vrtání, jako objektivní vlastnosti samotné horniny, je nutno řádně objasnit **kontaktní úlohu hornina – nástroj**, kdy ve vztahu k nástroji tu předně půjde o postavení tvaru, kvality kontaktu a způsobu práce jeho pracovních orgánů a ve vztahu k hornině tu půjde o vymezení podmínek vzniku mezného stavu v hornině a osvětlení mechanismu jejího rozpojení s poukazem na ty vlastnosti horniny a ty vlivy, které tento proces profilujícím způsobem modulují.

V současné době rozeznáváme řadu vrtacích nástrojů, pro jejichž klasifikaci je možno zvolit různá kritéria. Tak je možno například rozeznávat:

- a. Podle způsobu práce:
 - nástroje pro otáčivé vrtání,
 - nástroje pro nárazové vrtání,
 - nástroje pro kombinovaný způsob práce.

- b. Podle geometrie rozpojované počvy vrtu:
 - nástroje pro plnoprofilové vrtání,
 - nástroje pro jádrové vrtání.
- c. Podle způsobu použití:
 - nástroje vrtací – hloubicí,
 - nástroje vrtací – přibírací,
 - nástroje propracovávací – kalibrující,
 - nástroje speciální.
- d. Podle způsobu práce pracovních orgánů:
 - nástroje řezné,
 - nástroje krušící – valivé,
 - nástroje sekací – nárazové,
 - nástroje odvalovací – brokové (šrotové),
 - nástroje škrabací (mikrořezné rýpání) – diamantové,
 - nástroje kombinované.
- e. Podle provedení:
 - dláta,
 - korunky,
 - nástroje speciálního použití.

Přes veškerou rozmanitost vrtacích nástrojů je zřejmé, že pro tvorbu jejich pracovních orgánů, bezprostředně zúčastněných v rozpojovacím procesu, se aplikují poměrně úzce vymezené tvary těchto pracovních orgánů. Jsou to tyto **základní tvary těles pracovních orgánů**:

- **klínovitý** (nesymetrický a symetrický klín),
- **válcovitý** (válcový roubík a vícehranný hranol),
- **kulovitý** (kulička, oválný diamant, kulovitý roubík).

Pracovní orgány vrtacích nástrojů při práci konají různé pracovní úkony podle toho, v jakém kinematickém poměru jsou jednak ve vztahu k samotnému nástroji a jednak ve vztahu k počvě vrtu.

Všechny vrtací nástroje mají **základní pohyb postupný** ve směru hloubení vrtu. U některých způsobů práce je tento pohyb plynulý a u některých přerušovaný. K tomuto základnímu pohybu přistupuje **pracovní pohyb**, který zpravidla charakterizuje způsob práce nástroje. Tak to může být:

- pracovní pohyb otáčivý s rovinou rotace kolmou na podélnou osu vrtu, v jejímž směru se koná základní pohyb postupný, a který v tomto případě je také plynulý,

- pracovní pohyb postupný – střídavý, konaný ve stejném směru jako pohyb základní, který je v tomto případě přerušovaný,
- pracovní pohyb kombinovaný, vzniklý současným konáním obou předchozích pracovních pohybů.

Nekonají-li pracovní orgány nástroje vůči němu žádný relativní pohyb, pak jejich výsledný pohyb je dán součtem pohybu základního a pracovního. Jsou však vrtací nástroje, u nichž pracovní orgány vykonávají vůči samotnému nástroji ještě svůj samostatný pohyb, například u valivých a odvalovacích nástrojů jde ještě o krouživý pohyb, vzniklý odvalováním těchto orgánů (válečku, kužele, kuličky) po počvě vrtu. V tomto případě bude výsledný pohyb dán součtem pohybů nástroje a vlastního pohybu pracovního orgánu.

Optimální použití základních tvarů pracovních orgánů vrtacích nástrojů lze vymežit takto:

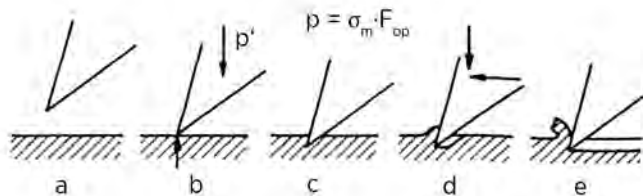
Váleček – roubík je nejvýhodněji použitelný u nástrojů pro rozpojování středně pevných hornin, kde lze vyvozovat potřebnou osovou sílu pro dosažení mezného stavu v hornině a přitom využít kladu největší velikosti rozpojeného objemu a stálosti kontaktních poměrů.

Klín je nejvýhodněji použitelný u nástrojů pro odvrtávání hornin velmi pevných, kde při omezené osové síle lze dosáhnout snadněji mezného stavu, avšak za podmínky, že tyto horniny jsou, pokud možno, poměrně neabrazivní. Zde je nutno podotknout, že při volbě těchto nástrojů je třeba přihlížet s ohledem na uplatňovaný mechanismus rozpojování k rozteči opakovaného působení klínu v souladu se štěpnou roztečí horniny (t_s – viz obr. 2.4).

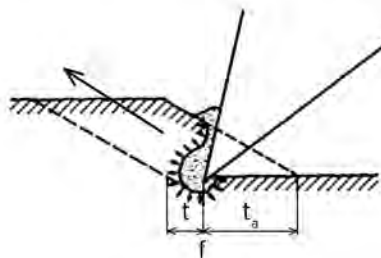
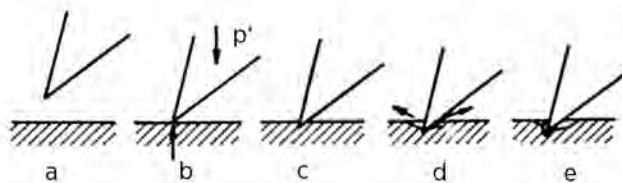
Kulička je nejvýhodněji použitelná u nástrojů pro odvrtávání hornin velmi pevných a abrazivních, kdy při omezené osové síle poměrně snadněji lze dosáhnout mezného stavu a využívá se výhody stálosti kontaktních vztahů. Stálost těchto vztahů je dána buď tím, že kulička se po počvě vrtu odvaluje nebo je s horninou v časově omezeném kontaktu bez skluzu, nebo při skluzu vysokou abrazivní odolností samotné kuličky – pracovního orgánu (diamant). Tento tvar víceméně spojuje výhody obou předchozích tvarů pracovních orgánů vrtacích nástrojů.

V případě, kdy na horninu působí současně vedle sebe několik pracovních orgánů, bude obraz napjatosti od jednotlivých pracovních orgánů obdobný jako v předchozím případě, avšak **celkový obraz napjatosti takto vyvolávané bude závislý od rozteče rozmístění těchto orgánů ve vztahu k velikosti oblasti napjatosti**. Bude-li se rozteč orgánů zmenšovat, pak lze dosáhnout doteku oblasti napjatosti v hornině, až jejího překrytí. Tato skutečnost může vést nakonec k vytvoření mezní vrstvy v určité hloubce v hornině pod kontaktem s pracovními orgány nástroje, a tedy i k objemovému porušení soudržnosti horniny v rozsahu podstatně větším, než by odpovídalo velikosti oblasti napjatosti od jednotlivých kontaktů. Za těchto pohybových a pracovních kontaktních poměrů konají pracovní orgány vrtacích nástrojů svůj pracovní rozpojovací úkon, který může být podle toho, jak se uskutečňuje rozpojení: **řezání, rýpání, usmyknutí, vylupování, vyštěpování, odštěpování, sekání**.

Řezání s tvorbou celistvé, plasticky deformované třísky se v poměrech vrtání vyskytuje v čisté formě poměrně zřídka, jelikož tento způsob rozpojování je možný za existence třístranné volnosti při vzniku třísky horniny a dále je-li hornina v dokonale plastickém stavu, což zpravidla alespoň v jednom bodě splněno nebývá (obr. 2.1). V porovnání k tomuto způsobu se častěji vyskytuje při práci řezných nástrojů, rozpojování horniny nerovnoměrně ve skocích, kdy uvolňovaná tříška není celistvá, nýbrž potrhaná a má úplnou nebo částečnou volnost pouze na jedné, maximálně na dvou stranách, takže **rypné vylamování** horniny je možné buď pouze čelním směrem a jedním bokem nebo maximálně omezeně dvěma boky. V tomto případě mluvíme o **rýpání** (obr. 2.2). Proces rozpojování horniny na počtvě vrtu je tu charakterizován mj. cyklickým narůstáním a poklesem namáhání horniny. Rýpání bývá často za hřbetovou částí pracovního orgánu nástroje doprovázeno **torným vylupováním** horniny v místech zbytku tlakového jádra, které je co do měřítka významné pro pracovní orgány, pracující s negativním úhlem řezu, což je zejména typické pro **diamantové nástroje** (obr. 2.3). Při rýpání rozpojení horniny čelním směrem je způsobeno dosažením kritického stavu buď od normálního napětí (tahového), pak mluvíme o vytržení (odtržení) horniny nebo od tečného napětí a pak mluvíme o usmýknutí horniny, přičemž v obou případech jde o periodický proces období hromadění energie a napětí a období rozpojení horniny, uvolnění zbytkové energie.



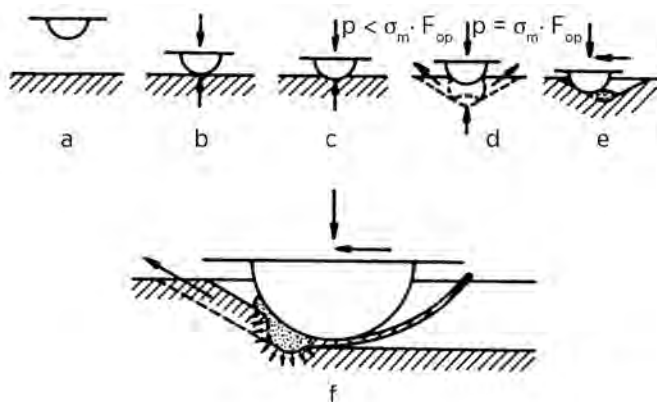
Obr. 2.1 Rozpojovací způsob řezání horniny.



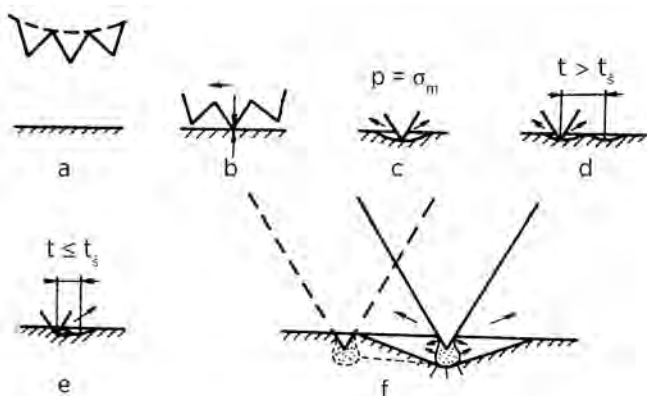
Obr. 2.2 Rozpojovací způsob rypné vylamování horniny.

U nástrojů, u nichž směr hlavního a pracovního pohybu je ztotožněn, neprobíhá rozpojování horniny popsáním způsobem. V tomto případě působí pracovní orgán na počvě vrtu ve směru jeho podélné osy, a to zatlačováním do horniny. Pracovní důsledek takového způsobu práce, za podmínky vtlačení a objemového porušení soudržnosti horniny, může být buď **vyštěpování** horniny, nemá-li tato žádný boční stupeň volnosti, nebo **boční odštěpování** (obr. 2.4), ve směru volného boku. Bude-li takto nástroj působit nárazově, pak jde o **sekání**. Při vyštěpování horniny jde hlavně o projev její pevnosti vtláčné a při odštěpování je kritického stavu v hornině dosahováno hlavně od tečného napětí, i když není vyloučen případ, že k uvolnění horniny od masívu dojde od normálového (tahového) napětí.

Vlivem vyvozované osové síly se pracovní orgán do horniny zatlačuje do takové hloubky, v níž nastane rovnováha mezi hodnotou osové síly a hodnotou odporové síly dané součinem mezního odporu a opěrné plochy nástroje.



Obr. 2.3 Rozpojovací způsob torné vylupování horniny.



Obr. 2.4 Rozpojovací způsob vyštěpování a odštěpování horniny.

2.6 VYJÁDŘENÍ ROZPOJITELNOSTI HORNINY PŘI VRTÁNÍ

Rozpojitelnost horniny je její projev v rozpojovacím procesu a je dána jejími vlastnostmi a objektivními ovlivňujícími činiteli. Zatím co rozpojovací proces, tj.

vlastní rozpojování, zahrnuje v sobě jak projev horniny, tak i vliv druhu pracovního nástroje a způsobu práce tímto nástrojem.

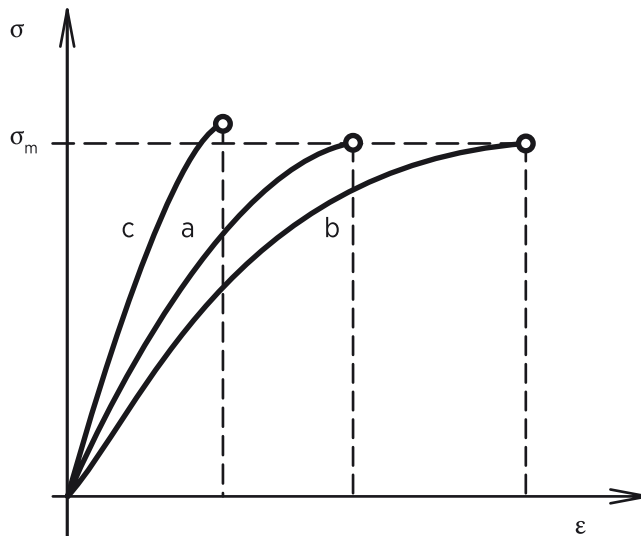
Projev horniny v rozpojovacím procesu je charakterizován:

- odporem horniny proti jejímu rozpojení – rozpojitelnost horniny, obrácená hodnota odporu,
- účinkem horniny na pracovní orgány vrtačího nástroje – abrazivnost horniny.

2.6.1 ODPOR PROTI ROZPOJOVÁNÍ

Odpor proti rozpojování je určen jednak pevností horniny v daných úložních podmínkách při jednotlivých způsobech a druzích namáhání a jednak fyzikálním stavem horniny, zvláště porušeností, trhlinovitostí a orientací trhlin k hlavním směrům působení nástroje.

Jak ukazují zkušenosti, nelze však vyjádřit odpor horniny proti rozpojení pouze její pevností. Je všeobecně známo, že některé stejně pevné horniny jsou rozdílně rozpojitelné. Vysvětlení tohoto rozporu je možné, porovnáme-li u těchto hornin jejich energetickou jímavost na rozpojování a pak zjistíme, že hůře rozpojitelná hornina bude mít větší energetickou jímavost (obr. 2.5).



Obr. 2.5 Vyjádření energetické jímavosti horniny.

Z obrázku (deformačního diagramu závislosti deformace ξ a napětí σ) je vidět, že horniny (a) a (b) jsou stejně pevné, ale mají rozdílnou energetickou jímavost, vyjádřenou plochou deformačního diagramu, tzn., že jsou různě přetvárné a hornina (b) je hůře rozpojitelná. Nakonec hornina (c) je pevnější než horniny (a) a (b), avšak její energetická jímavost je menší, což může v souhrnu znamenat, že bude lépe rozpojitelná, jelikož rozdíl pevností může být menší, než

rozdíl energetických jímavostí. Chceme-li tedy hodnotit rozpojitelnost horniny, je nutné brát v úvahu jak její pevnostní, tak její přetvárný projev (energetickou jímavost). Pevnostní projev může být podle druhů namáhání rozdílný, a proto nelze horninu z hlediska rozpojitelnosti hodnotit jakoukoliv pevností, nýbrž podle toho, jakým mechanismem je dosaženo mezného stavu při rozpojení.

V předchozí části byl osvětlen způsob práce pracovních orgánů vrtných nástrojů a mechanismus rozpojení horniny. Z toho vyplývá, že při **hlavním – osovém pohybu nástroje jde u horniny o odpor proti vtlačení**, a to u všech druhů nástrojů s mechanickým způsobem rozpojování a **při pracovním pohybu** jde:

- při řezání a rýpání o **odpor proti šikmému sevřenému smyku**,
- při odštěpování horniny rovněž o **odpor proti šikmému sevřenému smyku**, avšak jinak orientovanému než v předchozím případě,
- při vyštěpování horniny o **odpor proti vtlačení**.

Tzn., že pro rozpojitelnost horniny jsou důležité odpor proti vtlačení (pevnost vtlačná) a odpor proti šikmému sevřenému smyku (pevnost smyková). Vzhledem k jejich rozdílné velikosti a převažujícímu hlavnímu pohybu vrtného nástroje, je pro hodnocení rozpojitelnosti horniny při vrtání z pevnostního hlediska zásadní **pevnost vtlačná**.

Metodika určování pevnosti vtlačné je svoji podstatou shodná s metodou určování tvrdosti povrchu horniny. Metodiku určování vtlačné pevnosti vypracoval a teoreticky odůvodnil Šrejner. Roubík tvaru válečku se vtlačí na upravenou plochu zkoumané horniny. Podstatou zkoušky je určování tvrdosti povrchu horniny. Vlivem napětí a deformací horniny, které pod roubíkem vznikají, nastává křehké porušení malého objemu pod zkoušeným povrchem. Principem všech mechanických způsobů rozpojování je vtlačení pracovního nástroje do horniny a odštěpování jejích částíček. Podle Šrejnera rozhodující proces při rozpojování je vnikání pracovních elementů vrtného nástroje do horniny. Zdůvodňuje to tím, že bez vnikání elementu do horniny se hornina nemůže odštěpovat. Proces vnikání je z energetického hlediska náročnější než odštěpování, proto základem jeho metody je vtlačení válcového roubíku do horniny.

Při zkoušce se používá roubík s různou čelní plochou podle zrnitosti a pórovitosti hornin. Podíl dosáhnutého přitlaku (vtlačná síla F_v) v okamžiku křehkého porušení a plochy kontaktu roubíku s horninou S je vtlačná pevnost σ_v ,

$$\sigma_v = \frac{F_v}{S} \quad [\text{Mpa}] \quad (2.1)$$

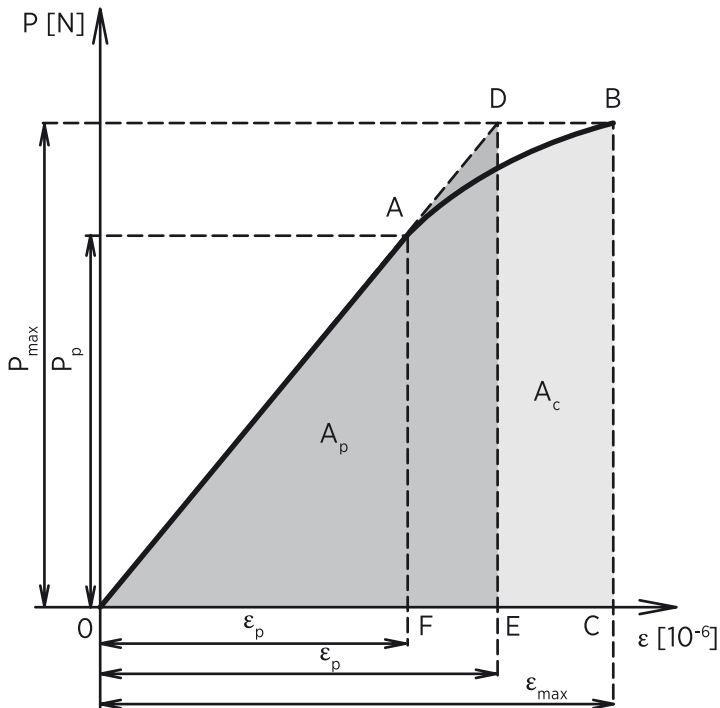
Jak již bylo uvedeno, je odpor proti rozpojení horniny určován jednak pevnostním a jednak přetvárným projevem (**energetickou jímavostí**). Přetvárný projev horniny lze vhodně podchytit z jejího deformačního diagramu (obr. 2.6). Metoda předpokládá, že přímková část deformačního diagramu odpovídá oblasti pružných přetvoření a samotná pružná přetvoření pokračují až do meze pevnosti,

což je prakticky vyjádřeno prodloužením části deformačního diagramu (podle obr. 2.6) do bodu D. Potom „práce pružných přetvoření do porušení“ je vyjádřena plochou trojúhelníku ODE:

$$A_p = ODE \quad [\text{J}] \quad (2.2)$$

a „celková deformační práce“ plochou OABC:

$$A_c = OABC \quad [\text{J}] \quad (2.3)$$



Obr. 2.6 Průběh deformačního diagramu při zkoušce pevnosti vtláčné.

Poměrem obou prací je vyjádřena plastičnost horniny jako **koeficient poměrné plasticity** (resp. poměrná energetická jímavost horniny):

$$K_p = \frac{A_c}{A_p} \quad (2.4)$$

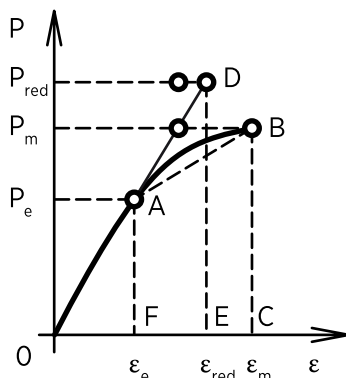
Pro vyjádření rozpojitelosti hornin při vrtání pak zavádí autor metody komplexní parametr, označovaný jako **redukováná pevnost vtláčná**, která je vyjádřena součinem pevnosti vtláčné a koeficientem poměrné plasticity:

$$\sigma_{red} = \sigma_v \cdot K_p \quad [\text{MPa}] \quad (2.5)$$

Pro lepší srovnatelnost upravil *Voropinov* vztah pro redukovanou pevnost vlačnou do tvaru:

$$\sigma_{red} = \sigma_v \cdot \sqrt{K_p} \quad [\text{MPa}] \quad (2.6)$$

Rozdíl v obou výrazech, představovaný odmocninou, je vyjádřením rozdílného chápání energetické spotřeby při rozpojení horniny.



Obr. 2.7 Znáznornění redukované pevnosti vlačné v deformačním diagramu.

Redukovaná pevnost vlačná je definovaná jako **hodnota pevnosti, kterou by měla táž hornina se stejnou energetickou jímavostí a modulem pružnosti, avšak s reologickým modelem, odpovídajícím pružné látce** (pro srovnání se skutečným deformačním diagramem OABC vyjádřeno deformačním diagramem ODE – obr. 2.7). Zohledňuje tak skutečný pevnostní a přetvárný projev horniny při jejím rozpojení a je tedy souhrnným pevnostně přetvárným parametrem. Touto redukcí je tedy možno dosáhnout na základě pevnostních zkoušek objektivní srovnatelnosti hornin ve vrtném procesu.

2.6.2 ABRAZIVNOST HORNINY

Druhým významným parametrem pro posouzení horniny ve vrtném procesu je její abrazivní účinnost. Je to schopnost horniny povrchově opotřebovat pracovní nástroj v procesu vzájemného tření při rozpojování hornin.

Abrazivnost v podstatě představuje účinek povrchových nerovností horniny při relativním pohybu proti druhému tělesu nebo účinek tvrdých částic na rozpojovací nástroj. Důležitost určení abrazivnosti hornin jako technologické vlastnosti vyplývá ze skutečnosti, že opotřebování nástroje má velký vliv na účinnost rozpojovacího procesu. Rozpojovací pracovní nástroj se při práci intenzivně opotřebovuje, tím se mění jeho tvar a rozměry. Při dosažení určité hodnoty opotřebování není nástroj vhodný pro další použití a musí se opravit nebo vyměnit. Intenzita a rychlost opotřebování závisí na velkém počtu současně působících faktorů, ze kterých lze považovat za nejdůležitější:

- druh a vlastnosti třecích povrchů,
- režim vrtání,

- druh a vlastnosti prostředí, ve kterém nástroj pracuje.

Abrazivnost hornin, vzhledem na procesy opotřebování nástrojů při rozpojování hornin, se může hodnotit pomocí provozních pozorování a laboratorních zkoušek. Provozní pozorování jsou založena na sledování opotřebování částí pracovních orgánů vrtacích nástrojů na rozpojený objem hornin.

Rozšířenější jsou laboratorní zkoušky na vzorcích hornin, pro které jsou vypracované příslušné metodiky. Při nich se sleduje opotřebování etalonového nástroje různého tvaru, který se pohybuje po hornině různým způsobem, různou rychlostí a při různém přítlaku. Podstatou všech zkoušek abrazivnosti hornin je **zjišťování úbytku hmotnosti normalizovaného kovového etalonu při jeho pohybu po povrchu horniny při dohodnutém zatížení, čase a rychlosti**. Na základě těchto konkrétních podmínek definoval *Štěřba* koeficient abrazivity ω_a ($\text{mg}\cdot\text{min}^{-1}$). Obdobnou metodiku používá *Vašek* k hodnocení abrazivnosti horniny F_v ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-1}$).

Rozpojitelnost hornin při vrtání je tedy určována dvěma základními kriterii:

- odporem horniny proti rozpojení, vyjádřený tzv. redukovanou pevností vlačnou σ_{red} ,
- abrazivností horniny F_v , resp. koeficientem abrazivity ω_a .

Objektivní stanovení těchto dvou parametrů dává možnost vypracovat klasifikační systém hornin pro potřeby vrtání.

2.7 ENERGETICKÉ HODNOCENÍ ROZPOJOVACÍHO PROCESU

Jak již bylo uvedeno dříve, rozpojovací proces zahrnuje projev vlastností horniny, vlastností vrtného nástroje a jeho pracovních orgánů, způsobu práce s tímto nástrojem, tj. tzv. režimových parametrů a také vliv okolního vrtového prostředí. Pro posouzení tohoto procesu je nutné vybrat takovou metodu, která ho hodnotí jako celek, včetně vlivu všech zúčastněných činitelů a má jednoznačný praktický cíl. Již *Pražský* stanovil, že největší význam mají z tohoto hlediska **energetické metody hodnocení rozpojovacího procesu**.

Energetické teorie rozpojování a porušování vycházejí ze základního předpokladu, že energie potřebná na rozpojení W je úměrná objemu tělesa V . Analytickým postupem výše uvedeného předpokladu pak byly odvozeny pro energii rozpojování W a intenzitu energie rozpojování w vztahy:

$$W = \frac{\sigma_m^2}{2E} \cdot V \quad (2.7)$$

$$w = \frac{\sigma_m^2}{2E} \quad (2.8)$$

kde

σ_m – napětí v okamžiku porušení,

E – Youngův modul pružnosti.

Vztah (2.8) se stal základem tzv. **energetické teorie pevnosti**, která má v současnosti široké uplatnění v praxi při hodnocení energetické náročnosti procesu rozpojování hornin. Hlavní část energie rozpojování se podle současných interpretací této teorie spotřebuje na tvorbu nových povrchů vznikajících produktů rozpojování anebo na plastické deformace.

Při rozpojování hornin působí na čelbě vrtu soustava vnějších sil vykonávající práci, která se spotřebuje na rozpojování horniny. Základní energetickou veličinou, způsobující rozpojení horniny, je energetický výkon P , který je definovaný jako ta část celkového odebraného výkonu vrtného stroje P_{vS} , která se zúčastňuje přímo rozpojovacího procesu. Pro praktické výpočty lze použít vztah

$$P = P_{RS} - P_j \quad [\text{kW}] \quad (2.9)$$

kde P_j je jalová část dodávaného výkonu.

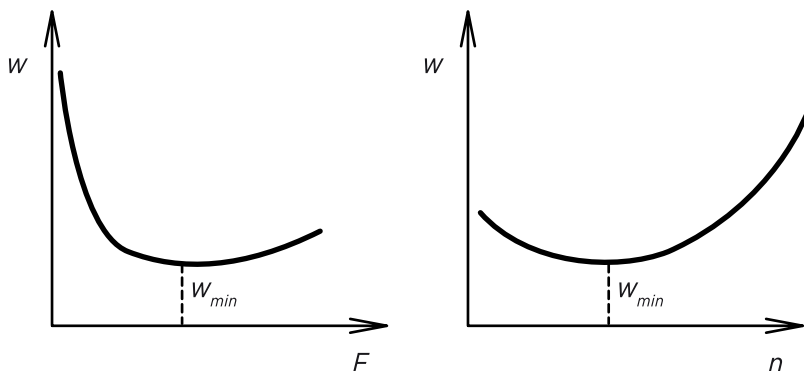
Mezi rozpojovacím výkonem P , krouticím momentem M_k při rotačním vrtání hornin platí výraz

$$P = 2\pi n M_k \quad [\text{kW}] \quad (2.10)$$

Z rozpojovacího výkonu, krouticího momentu, dosažené rychlosti vrtání v a údajů geometrie vrtného nástroje S stanovil *Sekula* měrnou objemovou práci rozpojování w vztahem

$$w = \frac{P}{S_v} = \frac{2\pi n M_k}{S_v} \quad [\text{J} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (2.11)$$

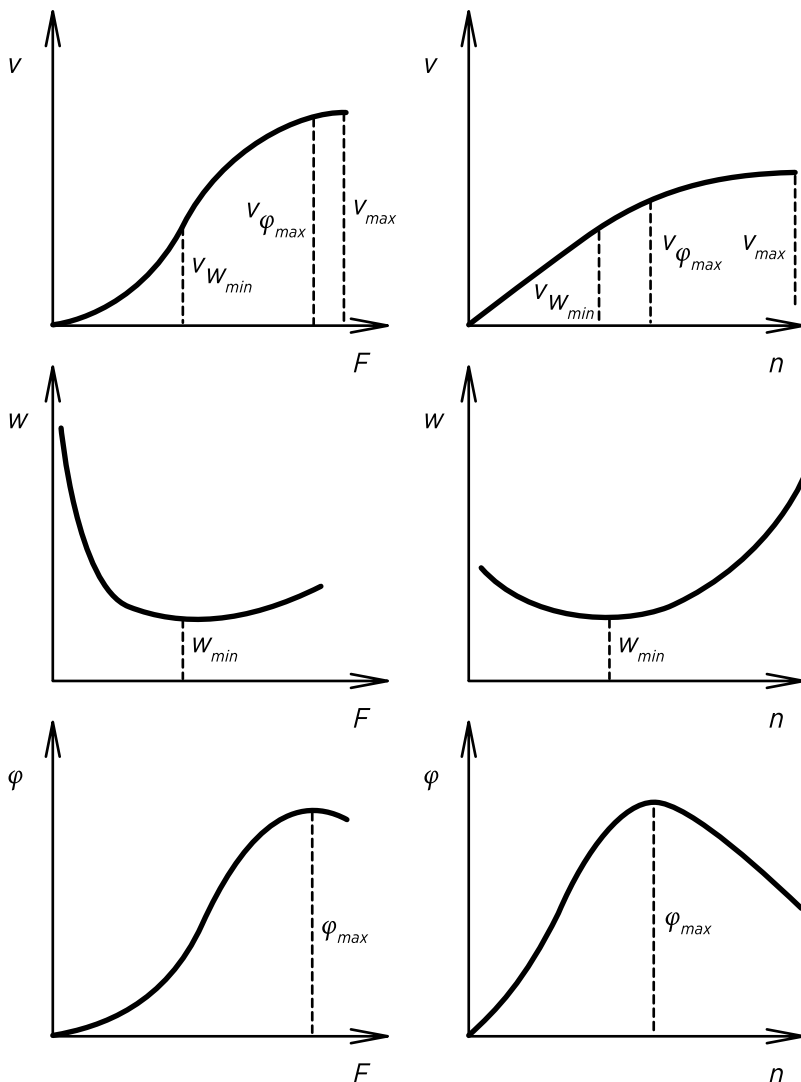
Měrná objemová práce jak rozpojování w je parametr, který je používán pro energetické hodnocení rozpojovacího procesu vrtáním. Je to energie spotřebovaná v procesu rozpojování a vztažená na jednotku rozpojeného objemu horniny.



Obr. 2.8 Závislost měrné objemové práce rozpojování na přítlaku (F) a otáčkách (n).

Analýza experimentálních prací provedená Sekulou a kol. v Ústavu geotechniky Slovenskej akademie vied v Košicích, SR (Úgt) umožnila stanovit závěr, že měrná objemová práce rozpojování vykazuje v závislosti na přítlaku (F) a otáčkách vrtného nástroje (n) minimum w_{min} . Schématické znázornění průběhu těchto závislostí je na obr. 2.8. Je zřejmé, že pro snížení energetické náročnosti rozpojovacího procesu je potřebné zvolit parametry režimu vrtání co nejbližší k parametrům minima měrné objemové práce rozpojování w_{min} . Měrná objemová práce rozpojení slouží také jako optimalizační parametr rozpojovacího procesu.

Měrná objemová práce rozpojování w je odrazem vlastností horniny a vlastností použitého rozpojovacího nástroje v průběhu rozpojovacího procesu. Experimentální výsledky také potvrdily, že existuje **lineární závislost mezi minimem měrné objemové práce rozpojování w_{min} a redukovanou pevností vlačnou σ_{red} , jako pevnostní charakteristikou horniny.**



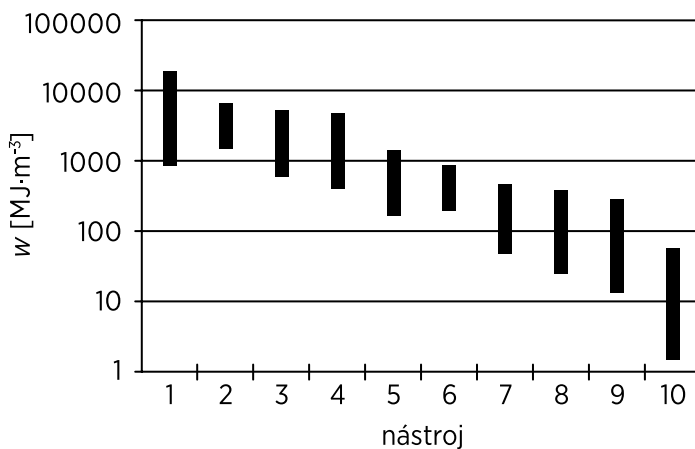
Obr. 2.9 Závislosti rychlosti vrtání, měrné objemové práce rozpojování a měrné okamžité rychlosti vrtání na přítlaku (F) a otáčkách vrtného nástroje (n).

Pro hodnocení procesu rozpojování hornin vrtáním pomocí energetické metody doporučuje *Krúpa* hodnotit proces rozpojování z hlediska:

1. maximální rychlosti vrtání v ,
2. minimální měrné objemové práce rozpojování w ,
3. maximální hodnoty veličiny φ – měrné okamžité rychlosti vrtání, která je podílem rychlosti vrtání a měrné objemové práce rozpojování.

$$\varphi = \frac{v}{w} \quad (2.12)$$

Schématické znázornění průběhu těchto veličin v závislosti na přítlaku na vrtný nástroj F a otáček nástroje n je uveden na obr. 2.9. S využitím těchto grafů lze proces rozpojování hornin při vrtání hodnotit kvantitativními a kvalitativními ukazateli výstupních veličin (v , w , φ) v závislosti na vstupních režimových veličinách (F , n).



Obr. 2.10 Rozsahy měrné objemové práce rozpojování pro různé druhy a průměry vrtných nástrojů.

1 – impregnované korunky se syntetickými diamanty o průměru $D = 0,046$ m; 2 – impregnované korunky s přírodními diamanty, $D = 0,046$ m; 3 – vsazované korunky se syntetickými diamanty, $D = 0,046$ m; 4 – vsazované korunky s přírodními diamanty, $D = 0,046$ m; 5 – tvrdokovové korunky, $D = 0,042 - 0,075$ m; 6 – valivá dláta zkušena na stendu, $D = 0,050 - 0,075$ m; 7 – komínovací souprava BESPADRILL, $D = 0,28$ m; 8 – razicí stroj RS-24-27 H, $D = 2,7$ m; 9 – WIRTH TB II 330 H, $D = 3,3$ m; 10 – DEMAG TVM 55H, $D = 5,5$ m.

Měrná objemová práce rozpojování w závisí také samozřejmě na způsobu rozpojování. Jednotlivé rozpojovací technologie při vrtání vykazují velké rozdíly ve spotřebě energie na rozpojování. V ÚGt byly v laboratorních podmínkách při vrtání otestovány vrtné nástroje různých konstrukcí a průměrů. Jednalo se o diamantové korunky, tvrdokovové korunky a valivá dláta. Z těchto měření a také z provozních monitorování byly stanoveny hodnoty měrné objemové práce

rozpojování w . Obr. 2.10 ukazuje rozsahy stanovených hodnot w pro jednotlivé druhy nástrojů a způsoby rozpojování, když vrtání probíhalo v různorodém horninovém prostředí. Nástroje jsou identifikovány číslicemi 1 až 10 se zvětšujícím se průměrem vrtu. Z obrázku je zřejmé, že měrná objemová práce rozpojování w se zvětšujícím se průměrem vrtného nástroje klesá, přestože jde o různé způsoby vrtání, různé nástroje a různé druhy hornin.

Literatura

Betuš Zvonimír, Pinka Ján: Hydrogeologické vrty, Vydavateľstvo Štroffek, Košice 1998. ISBN 80-88896-27-4.

Krepelka František, Tréfová Ľudmila, Labaš Milan: Optimalizácia režimových parametrov pri rozpojovaní hornín. Acta Montanistica Slovaca, Košice 1/2008, Ročník 13, str.25-32, ISSN 1335-1788.

Krúpa Víťazoslav, Pinka Ján: Rozpojovanie hornín. Technická univerzita Košice, Košice 1998, ISBN 80-88896-10-X.

Miklúšová Viera, Ivaničová Lucia: Energetický prístup k hodnoteniu rozpojovacieho procesu hornín. Acta Montanistica Slovaca, Košice 1/2008, Ročník 13, str.17-24, ISSN 1335-1788.

Pražský Jeroným, Jedlička Miroslav: Technologie Jádrového vrtání, SNTL Praha 1969, DT 622.233.05.

Schneiderwind Jaroslav: Hloubení vrtů na ropu a zemní plyn 1. díl., SNTL Praha 1985, SIP-41691/04466-05/68-06 037 85.

Schneiderwind Jaroslav: Hloubení vrtů na ropu a zemní plyn 2. díl., SNTL Praha 1986, SIP-41691/04466-05/68-06 037 85.

Strnište Karol, Šmolík Stanislav: Hlbinné vrtanie, Alfa Bratislava 1992. ISBN 80-05-01031-1

Vašek Jaroslav, Krúpa Víťazoslav, Pinka Ján: Rozpojiteľnosť uhlí a hornín reznými nástrojmi I., Technická univerzita Košice, Košice 1998. ISBN 80-88896-29-0

Zeman Vojtěch: Hlubinné vrtání I. díl, Vysoká škola báňská v Ostravě, Ostrava 1987.

Zeman Vojtěch: Průzkumné vrtání I., Technika a technologie jádrového vrtání, Vysoká škola báňská v Ostravě, Ostrava 1983.

Zeman Vojtěch, Mazáč Josef, Kalus Dalibor, Sláma Oldřich, Slavík Petr: Těžební vrtání, Vysoká škola báňská v Ostravě, Ostrava 1986.

Zeman Vojtěch, Pinka Ján, Klempa Martin, Struna Jaroslav: Technika a technologie vrtných prací – I. díl Technika pro provádění vrtných prací, Marionetti Press, 2014. ISBN 978-80-905737-0-3

Zeman Vojtěch, Pinka Ján, Klempa Martin, Struna Jaroslav: Technika a technologie vrtných prací – II. díl Základy technologie vrtných prací, Marionetti Press, 2014. ISBN 978-80-905737-1-0

3. VRTY HLOUBENÉ PRO HYDROGEOLOGICKÉ ÚČELY

Hydrogeologické vrtý jsou nejrozšířenějším prostředkem jímání podzemních vod. Charakteristickým znakem hydrogeologických vrtů je snaha o zastižení a provrtání vodonosné vrstvy (zpravidla v plné její mocnosti) a zajištění stěn vrtu výstrojí, jež má umožnit přítok vody do vrtu bez strhávání jemnozrnných frakcí hornin z okolí výstroje vrtu.

Hlavním účelem hydrogeologických vrtů je zjištění hydrogeologických a hydrologických poměrů horninového souvrství, kolektorských vlastností vrstev, vlastností kapalin, těžebních a jímacích podmínek apod.

Vedle základních měření a pozorování ve vrtech – geologické dokumentace, měření hloubky ustálené statické hladiny, teploty a odběry vzorků hornin a vody pro laboratorní zpracování, je komplex dlouhodobých měření a pozorování prováděn obvykle v síti vrtů a pozorovacích objektů, jehož cílem je zjištění zdrojů napájení, jejich vydatnosti, hydrodynamické spojitosti jednotlivých propustných vrstev, těsnosti tektonických poruch aj. Jedná se v podstatě o **soubor hydrodynamických metod** (čerpací zkoušky, testerování) a **geofyzikálních metod měření ve vrtech** (karotáž).

Výsledky plošných hydrogeologických výzkumných a průzkumných prací jsou znázorněny v mapách (mapy izohyps, stejných vydatností, stejných kolektorských vlastností aj.) a grafech, které znázorňují změny sledovaných veličin ve vzájemné interakci.

Získané poznatky slouží k odpovědnému projektování dalšího průzkumu, racionálnímu rozmístování sběrných zařízení, výstavbě hydrotechnických objektů apod.

Provozní hydrogeologická služba na vrtech odpovídá i za provedení některých technických operací na hydrogeologických vrtech, zvláště při vystrojování vrtů a utěsňování zvodnělých horizontů, zkouškách těsnosti a při likvidaci vrtů. Kvalitní provedení těchto prací je podmínkou pro zajištění věrohodnosti výsledků hydrogeologického průzkumu.

3.1 ROZDĚLENÍ HYDROGEOLOGICKÝCH VRTŮ

Hydrogeologické vrtý se rozdělují podle těchto kritérií:

a. Podle účelu:

- **výzkumné vrtý** – které slouží ke zjištění hydrogeologických poměrů daného území, počtu zvodnění a jejich geologického a hydrogeologického charakteru,
- **průzkumné vrtý** – které se provádějí při průzkumu ložisek, průzkumu vodních zdrojů, při inženýrsko geologickém průzkumu aj.,

- **pozorovací vrty** – které slouží k pozorování režimu podzemních vod,
 - **provozní vrty** – které jsou:
 1. **jímací vrty** – vrtané studny – vertikální jímadla pitné a užitkové vody k domovním a vodárenským účelům,
 2. **odvodňovací vrty** – které slouží k:
 - odvodnění stavebních objektů a jam,
 - odvodnění důlních a povrchových těžebních objektů,
 - odvodnění svahového území s nebezpečím sesuvu apod.;
- b. podle etapovosti průzkumu:** pro etapy hydrogeologického výzkumu, vyhledávacího a částečně předběžného průzkumu je nutné rozdělit hydrogeologické vrty v daných podmínkách na dvě kategorie:
- **orientační vrty** - jejichž účelem je poskytnout tyto informace:
 1. litologický profil vrtu,
 2. místa přítoku podzemních vod, zjišťovaná nepřímými (karotážními) metodami,
 3. orientační hydrogeologické kvantitativní a kvalitativní údaje, limitované kapacitou čerpací techniky instalované do vrtu daného vrtného průměru. Využívá se často ložiskových jádrových vrtů, hloubených technologií jádrového vrtání.
 - **ověřovací vrty** – jejichž účelem je poskytnout podrobné hydrogeologické informace o zvodněném horninovém prostředí. Jsou situované na základě předběžných údajů výzkumu nebo orientačních vrtů pro kvantitativní zjištění charakteru zvodnění propustných vrstev, charakteru napájení, vztahu mezi horizonty apod. Používá se technologie bezjádrového vrtání a to s průměry, které po vystrojení umožňují nasazení čerpadel pro odběr maximálního množství vody.
- c. podle hloubkového dosahu** se hydrogeologické vrty dělí do tří skupin:
- **hydrogeologické vrty do 500 m** – zahrnují celou sféru průzkumu a využívání prostých podzemních vod, když hloubka 500 m je současně uznávána za hranici převážné sféry ložiskové hydrogeologie. Pro tuto skupinu vrtů se také plně uplatní rozdělení na kategorie orientačních a ověřovacích vrtů, což zohledňuje i možnosti technického zabezpečení,
 - **hydrogeologické vrty do 1 200 m** – se uplatňují při průzkumu minerálních a termálních vod a zbývající sféry ložiskové hydrogeologie. S ohledem na hloubku nejeví se efektivním rozdělení vrtů do výše uvedených kategorií. Konstrukce vrtu by měla zde zajistit geologické a hydrogeologické informace až do konečné hloubky a umožnit intenzivní snížení dynamické hladiny až do 150 m,

- **hydrogeologické vrty nad 1 200 m** – vycházejí přibližně ze stejných kritérií jako předchozí skupina. Konstrukce vrtů má umožňovat provedení čerpacích zkoušek při dynamické hladině až do 200 m. Podle úvahy se zde může uplatnit kozlíkové čerpání nebo svabování. U prací ložiskové hydrogeologie a prací geotermálního programu navíc přistupuje airliftové čerpání a přelivy vody v důsledku působení airliftu a termoliftu.

Uvedené základní druhy a kategorie hydrogeologických vrtů vycházejí převážně z technických možností jejich realizace. Při provádění těchto vrtů se využívá v řadě případů běžné techniky a technologických postupů, typických pro nejrozšířenější způsoby hloubení vrtů, tj. jádrové a bezjádrové rotační vrtání.

3.2 ZPŮSOBY A ZAŘÍZENÍ PRO HLOUBENÍ VRTŮ NA VODU

Volba **způsobu vrtání vrtů na vodu** (hydrovrtů) záleží na řadě faktorů, z nichž nejdůležitější jsou:

- účel hydrovrtu,
- znalost hydrogeologických poměrů oblasti,
- charakter a vlastnosti vodonosného souvrství.

Na těchto faktorech bude záviset především **konstrukce a výstroj vrtů**. To je další významný činitel, ovlivňující výběr způsobu vrtání. Tzn., že zvolený způsob vrtání a navržená vrtná souprava bude muset zajistit nejen vyhloubení vrtu se zadanými počátečními a konečnými parametry, ale také zabezpečit vystrojení stvolu vrtu příslušnými pažnicovými kolonami a filtry.

Efektivní provedení hydrovrtu ovlivňuje nejen způsob vlastního vyhloubení vrtu, ale i **technologie otvírky a osvojení vodonosné vrstvy**. Nutno zajistit např. minimální kolmataci vrstvy, vyvinout maximální úsilí pro dosažení maximálního a kvalitního souboru hydrogeologických parametrů v daných geologicko-technických podmínkách apod. Proto dále pod pojmem **výběr způsobu vrtání** se rozumí jak výběr vrtné soupravy, tak i technologie otvírky a osvojení vodonosné vrstvy.

3.2.1 ZPŮSOBY VRTÁNÍ VRTŮ NA VODU

Pro hloubení hydrovrtů se mohou používat tyto způsoby vrtání:

a. s přímým proplachem

- jádrové vrtání,
- bezjádrové (rotarové) vrtání;

b. s nepřímým proplachem

- protiproudové vrtání,
- sací vrtání,

- airliftové vrtání;

c. bez proplachu

- náběrné vrtání,
- šnekové vrtání,
- drapákové vrtání,
- vibrační vrtání.

Nejrozšířenějším způsobem vrtání hydrovrtů je rotační vrtání s přímým kapalinovým proplachem. Poměrně významné je i rotační vrtání s nepřímým proplachem, zejména vrtání sací a airliftové.

Používané vrtné soupravy jsou konstruovány pro příslušný způsob vrtání. To však při tak rozmanitých způsobech vrtání dává velký počet různých typů vrtných souprav, což pro daný účel není výhodné. Např. rotarový způsob vrtání hydrovrtů je často používán, avšak rotarovými soupravami se vrtá jen přibližně 20 % těchto vrtů. Právě pro vrtání na vodu jsou výhodné takové konstrukce vrtných souprav, které umožňují použití více způsobů a tedy i technologií vrtání, např. rotační vrtání s přímým i nepřímým proplachem.

3.2.2 VRTNÁ TECHNIKA PRO VRTÁNÍ VRTŮ NA VODU

Vrtná technika pro vrtání hydrovrtů je představována vrtnými soupravami, které umožňují provedení vrtu daného účelu příslušným způsobem vrtání. V současnosti představují vrtné soupravy a jejich příslušenství kompaktní sestavu moderních a technicky náročných strojů a zařízení s výrazným posílením hydraulických a pneumatických prvků. Rovněž větší technická vybavenost, výraznější podíl mechanizace a komplexnější a dokonalejší měřicí a registrační technika jsou jejich současným charakteristickým znakem.

Pro účely vrtání vrtů na vodu se jeví účelné rozdělení vrtných souprav na tyto skupiny:

- a. vrtné soupravy pro **rotační vrtání** (především víceúčelové),
- b. vrtné soupravy pro **speciální technologie** (vibrační, drapákové apod., používané hlavně pro účely hloubení vrtů ve stavebnictví, kde budou také podrobně probrány).

Pro rotační způsob vrtání s přímým proplachem nejsou k hydrogeologickým účelům konstruovány speciální typy vrtných zařízení, souprav či náradí. Vzhledem k tomu, že se jedná o nejrozšířenější způsob vrtání vůbec, využívá se k tomuto účelu celé řady klasické vrtné techniky, používané při průzkumu ložisek nerostných surovin, ať se jedná o **jádrové vrtné soupravy** vřetenové, lafetové nebo s rotačním stolem, či **lehké** (pojízdné) **rotarové soupravy**, včetně příslušného technického a technologického vybavení (vrtné nástroje, náradí, jádrováky, vrtné trubky apod.). K podstatné odlišnosti dochází však, vzhledem k významnému ovlivňování původní propustnosti vrstev, u typů a složení hustých výplachových suspenzí.

Tato **klasická jádrová a rotarová vrtná technika** je pro vrtání hydrovrtů účelově přizpůsobována a to zejména s ohledem na větší vrtný průměr vrtů, nezbytný pro zabudování filtrů a další příslušné výstroje a použití čerpací techniky, při poměrně malé hloubce vrtů. Maximální hloubky hydrovrtů, zvláště vrtných studní, se pohybují okolo 1 000 m, vrtů na minerální vody až do 1 800 m. Mnoho hydrovrtů však nepřesahuje hloubku 300 m, přičemž většina dosahuje do hloubky 100 m. Další charakteristický znak hydrovrtů, který musí použitá technika zohlednit, je schopnost souprav provést kvalitní vystrojení a vyztužení vrtu podle navržené a zadané konstrukce, které ovlivňuje těžební kapacitu a životnost vrtu. To jsou základní účelové aspekty, jež ovlivňují výběr příslušné vrtné techniky.

Vzhledem k větším vzdálenostem mezi vrty jsou pro hydrovrty výhodné mobilní vrtné soupravy, ať už samohybné nebo na návěsech či přívěsech.

Rotační vrtání s **přímým proplachem** umožňuje hloubení vrtů v pevnostně různých typech hornin a proto je i přes své některé nevýhody nejrozšířenějším způsobem vrtání hydrovrtů. Pro tento účel je rovněž výhodné, jestliže konstrukce vrtné soupravy je uzpůsobena tak, že kromě této základní technologie, umožňuje provádět hloubení vrtů jinými způsoby vrtání (jako např. rotačně s nepřímým proplachem, rotačně bez proplachu nebo dokonce rotačně přiklepným způsobem), podle konkrétních geologicko-technických podmínek lokality. Právě u vrtů na vodu, kde je nutné mít na zřeteli jednoznačně zadaný účel, je možnost **kombinace různých způsobů vrtání** dominantním faktorem pro konstrukci vhodných vrtných souprav. Takové vrtné soupravy se pak nazývají **kombinované** nebo také **víceúčelové** (jsou univerzální a pokrývají širokou škálu technických prací v geologickém průzkumu a ve stavebnictví).

Právě víceúčelové vrtné soupravy jsou nejvhodnějším typem vrtného zařízení pro náročné požadavky hydrogeologických vrtů.

Dalšími způsoby vrtání, které jsou využívány u víceúčelových vrtných souprav, jsou **rotační vrtání s nepřímým proplachem** (sací a airliftové) a **rotační vrtání bez proplachu**.

Podle způsobu, jakým se docílí cirkulace výplachu, se rozlišují:

- **sací způsob vrtání** pomocí sacího čerpadla s vakuovým zařízením,
- **airliftový způsob vrtání** využívající systému mamutového čerpadla,
- **ejektorový způsob vrtání**.

U **sacího vrtání** jsou vrtné trubky napojeny na sací čerpadlo, které nasává výplach vrtnými trubkami a udržuje tak cirkulaci ve vrtu. Čerpadlo je konstruováno tak, aby úlomky a zrna zeminy, které projdou otvorem ve vrtném nástroji a vrtnými trubkami, mohly bez závad projít i vlastním čerpadlem.

Při **airliftovém vrtání** je cirkulace výplachu docílena pomocí stlačeného vzduchu, na principu mamutového čerpadla. Zvláštním vzduchovým potrubím je přiváděn podél vrtných trubek stlačený vzduch do směšovače, umístěného v koloně vrtných trubek nad vrtným nástrojem. Rozdílem hustot výplachu a směsi výplachu se vzduchem pak dochází k cirkulaci. Výplach jde přímo z unášecí trubky a výplachové hlavy odpadovou hadicí do usazovací jímky.

Při **ejektorovém vrtání** je v hlavě nebo na spodním konci unášecí trubky umístěna tryska, kterou při vstřikování vody speciálním odstředivým čerpadlem vysokou rychlostí se docílí potřebný podtlak k zajištění cirkulace. Výplach s vynášenými úlomky jde zde rovněž z výplachové hlavy odpadovou hadicí přímo do usazovací jámky.

Rotační způsob vrtání bez proplachu (tzv. náběrné vrtání) je nejvíce používán pro vrtání všech typů zemin a v kombinaci s pažením i pro vrtání ve zvodnělých terénech. První způsob náběrného vrtání používá **nekonečných šnekových vrtáků**. Při zavrtávání do horniny se jednotlivé spirály prodlužují, rozvrtaná zemina naplní závit šnekového vrtáku a po dosažení hloubky se vytáhne šnekových vrták z vrtnu. Tento způsob má tu nevýhodu, že je zapotřebí velkých krouticích momentů, neboť se musí překonávat velké tření mezi stěnou vrtnu a vrtákem v celé délce. Vrtný nástroj je sestaven z vynášecích šneků, speciálních vrtáků a výměnného břitu podle typu horniny.

Druhý způsob náběrného vrtání používá **krátkých** spirálových vrtáků nebo šap (lžícových vrtáků). Rotační pohyb se přenáší pomocí vrtného soutyčí. Spojení soutyčí bylo původně závitové, postupně se přešlo na bezzávitové s šestihranem a čepem. Pro zkrácení manipulačních časů na tažení a zapouštění vrtné kolony se používá **teleskopických unášeců** dvojitých i trojitých, které umožňují vrtání až do 27 m. Pro snadné vyprazdňování nástroje od zeminy jsou využívány **dělitelné spirály a šapy**. U šap se používá buď podélné dělení, nebo s otevíratelným dnem. Soupravy, zejména hydraulické, které mají reverzaci otáček, využívají zpětné otáčky k vyprazdňování spirálových vrtáků. Ruční vyprazdňování spirálových vrtáků a šap je často velmi pracné a použitím výše uvedených zařízení se dosáhne až 60% zvýšení výkonu vrtání.

Způsob náběrného vrtání s použitím teleskopických unášecích trubek je možno kombinovat s rotačním vrtáním s přímým proplachem. Mimo to je možno pažit paralelně s postupem vrtání.

Všechny způsoby náběrného vrtání jsou vzhledem ke svým možnostem omezené. Zejména při vrtání v pevných horninách, kde se nedosahuje potřebných výkonů nebo při vrtání do větších hloubek v zeminách. V těchto případech je samozřejmě výhodnější vrtání s proplachem.

3.3 KONSTRUKCE HYDROGEOLOGICKÝCH VRTŮ

K projektování konstrukce vrtnu se zpravidla přistupuje se **znalostí těchto údajů v místě založení vrtnu**:

- geologická stavba a hydrogeologické podmínky,
- předpokládaná těžba z vrtnu,
- typ a rozměry těžebních zařízení,
- způsob vyztužování vrtnu.

Za předpokladu, že výše uvedené údaje jsou známy, v projektu vrtu se stanoví:

- hloubka vrtu,
- počáteční a konečný průměr vrtu,
- statická hladina vody,
- navrhovaná těžba,
- předpokládaná úroveň dynamické hladiny vody,
- technologie vrtání,
- způsob a technologie cementace pažnicových kolon,
- typ a rozměry filtru,
- metoda zpracování a výzkumu těžené vrstvy.

Při stanovení konstrukce sondy pro **těžbu vody k zásobování obyvatelstva** je nutno věnovat zvláštní pozornost hygienickým požadavkům.

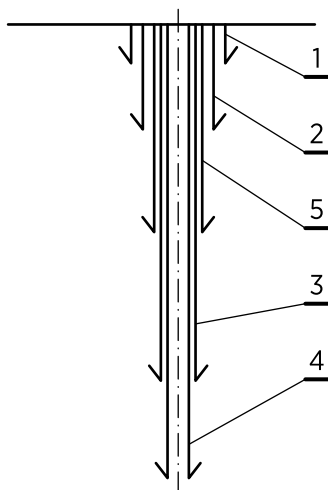
Hloubka vrtu je v podstatě dána úložní hloubkou produktivního horizontu. V případě nevelké mocnosti této vrstvy se obvykle čelba vrtu prohlubuje o 2 – 3 m do podloží vodonosných hornin. Při její značné mocnosti se otvírá v intervalu zajišťujícím požadovanou těžbu. V případě, že jako těžebního zařízení bude použito airliftu, se hloubka vrtu určuje pomocí výpočtu pro určení nutné hloubky ponoření směšovače airliftu pod předpokládanou dynamickou hladinu.

Kromě již dříve uvedených údajů potřebných pro volbu konstrukce vrtu je rovněž rozhodující **cíl, pro který má být daný vrt proveden**. To znamená, zda jde o vrt vyhledávací, průzkumný, těžební nebo pozorovací. Nejnižší počet pažnicových kolon nutných k zajištění kvalitního a bezpečného dosažení projektovaného záměru se určuje v závislosti na:

- počtu vodonosných horizontů,
- chemickém složení vod,
- velikosti vrstevního tlaku,
- přítomnosti vrstev porušených nebo zavalujících,
- ztrátových nebo bobtnavých a hloubka vrtu.

Při **výběru konstrukce pro vrty vyhledávací a průzkumné** má základní význam vrstevní tlak, stabilita stěn vrtu a požadovaná těžba.

3.3.1 DRUHY PAŽNICOVÝCH KOLON



Obr. 3.1 Kolony pažnicových trubek.

Při vrtání na vodu rotačním způsobem je konstrukce vrtu obvykle dána následujícími kolonami pažnicových trubek (obr. 3.1): kolonou řídicí – 1, kolonou úvodní – 2, kolonou těžební – 3, kolonou filtrů – 4. V případě složitých geologických a hydrogeologických podmínek se zařazuje jedna, ale i více pažnicových kolon pomocných, zvaných technické kolony – 5. Tato úplná konstrukce vrtu je použita zejména u **hlubokých hydrogeologických vrtů**. U mělkých vrtů mohou být podle účelu vrtu, geologických a hydrogeologických podmínek některé pažnicové kolony vypuštěny. Konstrukce vrtu je pak značně jednodušší (obr. 3.2 a 3.3).

Kolona těžební – nejdůležitější kolona ve vrtu, překrývá pod úvodní nebo technickou kolonou všechny netěžitelné vodonosné vrstvy nebo vrstvy nesoudržných hornin. Zapouští se na strop té vodonosné vrstvy, ze které je plánovaná těžba. V jejím provedení jsou některé rozdíly.

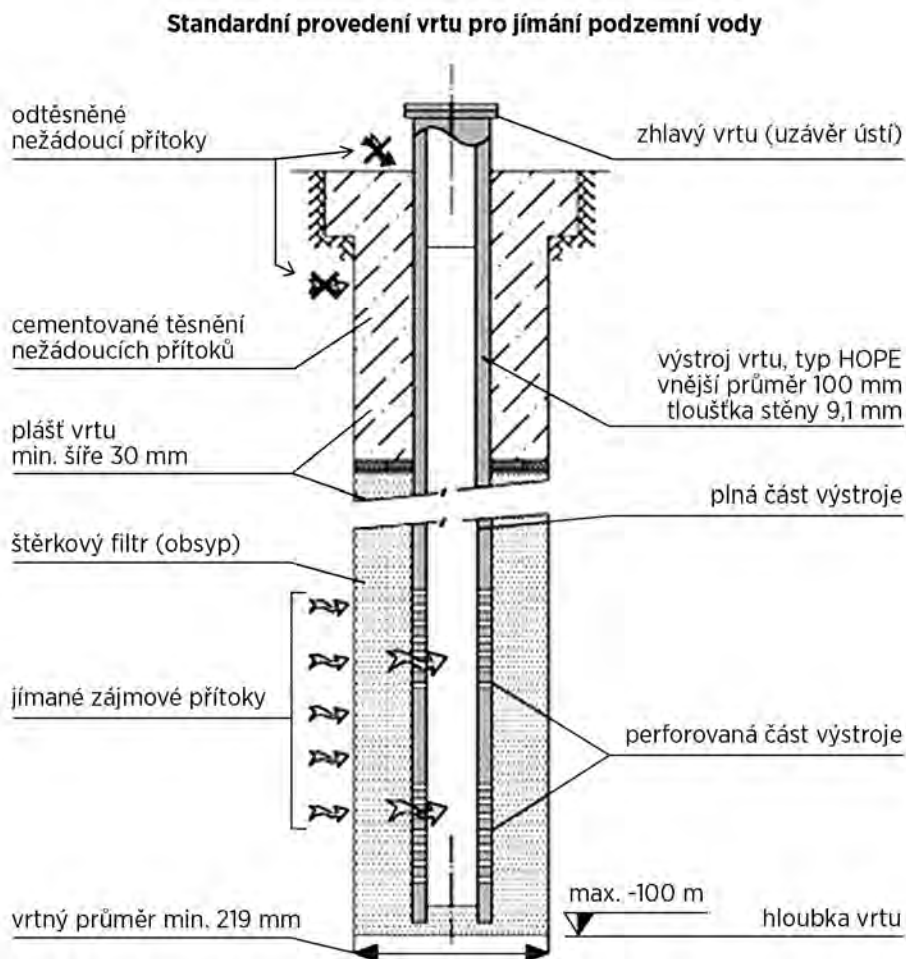
V některých případech je filtr přímým pokračováním kolony těžební (stejný průměr) nebo pomocí přechodu (snížený průměr). Filtr překrývá produktivní vrstvu buď v celé její mocnosti, nebo v intervalu (při vyšší mocnosti), který zajistí požadovanou těžbu. Těžená kapalina vstupuje přes filtr do těžební kolony, odkud je následně čerpána.

Častěji je však **filtr instalován samostatně** a těžební kolona musí být volena takovým způsobem, aby byl zajištěn volný průchod filtru, případně umožněn jeho obsyp, je-li požadován.

Těžební kolona je vždy cementována, a to takovým způsobem, aby nedošlo ke znečištění produktivní vrstvy cementovou směsí (tlakově oknem – manžety apod.).

Základním požadavkem pro zajištění kvality a dlouhodobé pracovní způsobilosti hydrovrtu je **kvalitní provedení cementace** zapažnicového prostoru. Konstrukce vrtu musí plně odpovídat technologii provádění cementačních prací.

Příliš velké nebo naopak malé mezikruží má záporný vliv na kvalitu cementačních prací. Za optimální rozdíl mezi vnějším průměrem pažnicových trubek (v objímce) a stěnou vrtu je považována hodnota 60 – 100 mm. Jde-li o cementaci mezikruží pažnicového, je dostatečný rozdíl 50 mm.



Obr. 3.2 Ukázka jednoduché konstrukce vrtu pro jímání podzemní vody.

Kromě toho je při volbě konstrukce vrtu nutno brát v úvahu hodnotu mezikruží mezi dlátem a stěnami pažnicových trubek, přes které musí dláto projít na čelbu. Tato hodnota se pohybuje v rozmezí 3 – 5 mm.

Vzhledem k tomu, že v provedení **konstrukce hydrovrtu je požadována nejen vodotěsnost, ale zpravidla i plynutěsnost pažnicových kolon**, používají se především pažnicové trubky typu V nebo I dle API. Jejich dimenzování se provádí běžně známými postupy v hlubinném vrtání. V případech nepříznivého chemického složení těžných vod se používají trubky z nerez ocelí nebo také z umělých hmot.

Kolona filtrů – slouží ke vstupu těžného média do vrtu. Konstrukce nebo provedení této části závisí na charakteru vodonosné vrstvy, účelu vrtu a chemických vlastnostech kapalin. Je-li vodonosný horizont tvořen pevnými, trhlinovitými

horninami, obvykle se filtr neinstaluje. V nestabilních málo zpevněných horninách je vodonosný interval vybaven speciálním filtrem, odpovídajícím svými technickými parametry charakteru hornin těženého horizontu.

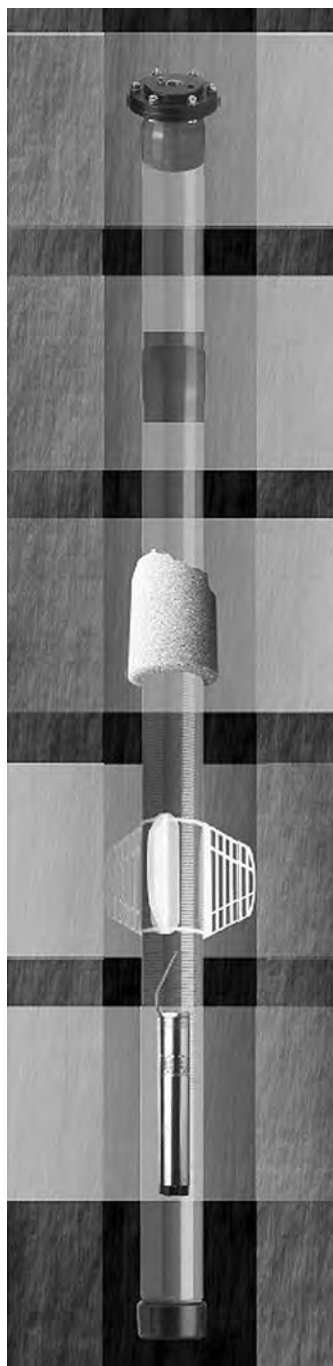
Příklad vystrojení vrtané studny z materiálu PVC

Spojění

Plné potrubí odděluje vrchní vodní horizonty. Prostor mezi potrubím a stěnou vrtu je vyplněn jílovým těsněním. Spoje jsou provedeny na závit. Zamezují prosaku vody z jiného horizontu (lze doplnit pryžovým těsněním).

Filtr

Část, kde je potrubí perforováno pro vsak vody. Perforace 0,5 - 3,0 mm, nejčastěji 1 mm. Prostor mezi filtrem a stěnou vrtu je vyplněn štěrkemurčité frakce. Filtr vystřeďuje trojice distančních křídélek.



Záhlaví studny

Záhlaví studny umístěné v šachtě. Záhlavím prochází potrubí a kabel napájení přímo k ponornému čerpadlu.

Pískový filtr

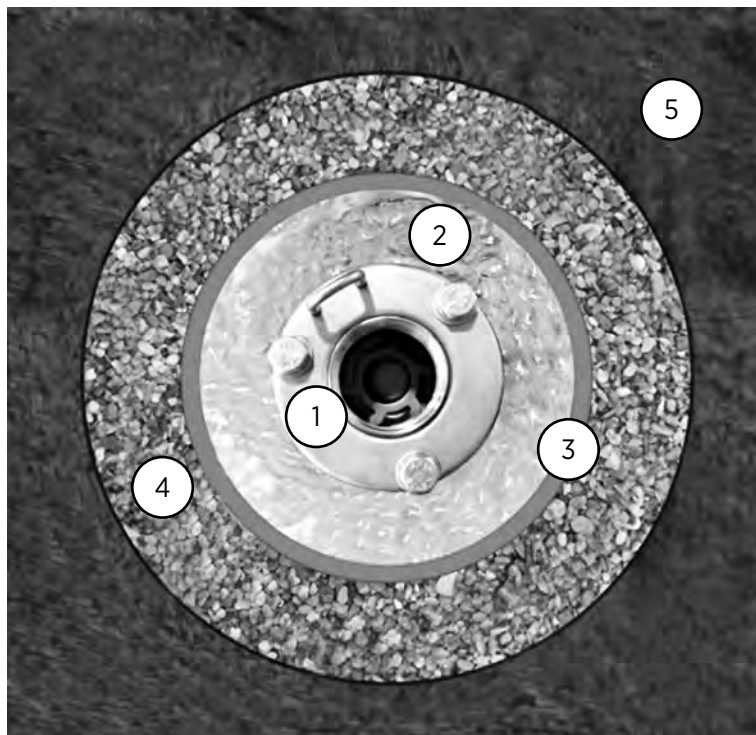
Nalepený pískový filtr na filtru z PVC nebo v nerezovém provedení, vykazuje vysokou propustnost a životnost. Používá se ve vrtech, kde potřebujeme odfiltrovat drobné mechanické nečistoty.

Ponorné čerpadlo

Široká výkonová řada ponorných čerpadel pro čerpání pitné vody, ale o pro systémy závlah. Oblíbené 4" nerezové čerpadlo. Studna je ukončena zátkou na závit.

Obr. 3.3 Příklad jednoduché konstrukce vrtu vystrojeného z materiálu PVC.

Řez vrтанou studnou dle norem minimální požadované vzdálenosti



Jednotlivé dimenze (průměry) se mohou měnit v závislosti na požadovaném odběrném množství nebo místních podmínkách. Minimální požadované vzdálenosti musí být zachovány.

Obr. 3.4 Ukázka vzájemného poměru průměrů u jímacího vrtu – vrтанé studny, vystrojené pažnicemi a filtry z materiálu PVC se štěrkovým obsypem.

1 – čerpadlo o průměru 95 mm, 2 – mezi ponorným čerpadlem a výstrojí vrtu z PVC musí být vždy minimálně 20 mm na zásobu čerpané vody, 3 – výstroj z PVC, dimenze 165×7,5 mm, 4 – materiál obsypu musí mít mocnost minimálně 40 mm, i v tomto obsypu je dílčí zásoba vody k čerpání, 5 – okolní zemina.

3.3.2 FILTRY

Jak již bylo uvedeno, výstroj zájmové části hydrogeologického vrtu – **vodonosné vrstvy** – skládá se zpravidla z kolony trubek (zárubnic), plných ve spodní části, perforovaných přes vodonosnou vrstvu a plných v horní (nástavné) části, ze štěrkového obsypu mezikruží mezi stěnami vrtu a zárubnicemi (nebo tkaninovým obmotem). Zkráceně se tato výstroj nazývá **filtr**.

Filtr v hydrovrtu či studni není filtr ve vlastním slova smyslu. Jeho účelem není čistit podzemní vodu nebo ji zbavovat rozpuštěných látek či nečistot, které

nese sebou. Studniční filtr, jako element, přes který vstupuje voda, má **zadržovat písek**, takže do vrtu vstupuje voda zbavená písku. Současně tvoří sběrný prostor, z něhož se čerpá voda na povrch. Filtr v koloně trubek plní rovněž funkci **výztuže**, která má dlouhodobě zabezpečit stabilitu stěn vrtu a zabránit sesutí stěn, kdy čerpání vody by bylo nemožné. Teprve návrh a instalace odpovídajícího typu filtru umožňuje vstup podzemní vody do vrtu po celé ploše stěny vrtu, tzv. v celé mocnosti zvodněné vrstvy.

Zabudováním filtru je tedy zajištěno vyztužení hydrovrtu i zabezpečení vstupu vody do vrtu. Avšak filtr klade určitý **hydraulický odpor** vodě, která vstupuje do vrtu. Dvojitá funkce filtru (zabezpečování stěn vrtu a umožnění přítoku vody zbavené písku) přináší sebou, zvláště v jemnozrnných zvodněných horninách, značné potíže. Zvodněná souvrství, tvořená pevnými, rozpukanými horninami, nepotřebují filtr. Zde vystupuje voda z puklin a trhlin na stěnách vrtu přímo do vrtu. Zkušenosti však ukazují, že ani v tomto případě není zajištěna dlouhodobá stabilita stěn vrtu, vlivem zvětrání hornin a v důsledku reologických procesů v horninovém masivu dochází postupně ke ztrátě stability a k závalům. Rovněž poměrně vysoké pořizovací náklady hydrovrtů, provedených v pevných zvodněných horninách, vyžadují zabudování filtrační i nástavné kolony trub, aby byla zajištěna dostatečná bezpečnost a dlouhodobá životnost odpovídající nákladům. V současné době se všechny hydrovrty, prováděné i v pevných horninách, realizují s výztuží a filtry.

Kolona filtrů ve vrtu je vystavena různým vlivům, jež se projevují vyluhováním a usazováním látek obsažených ve vodě i napadáním trub a filtrů agresivním prostředím. Odolnost filtru, zvláště **proti korozi** se zvyšuje volbou materiálu zárubnic nebo jejich povrchovou ochranou.

V současnosti se používají hlavně filtry se štěrkovým obsypem a s tkaninovým obmotem. **Filtr se štěrkovým obsypem** (převážně používaný) se skládá z **kolony zárubnic**, usazených ve vrtu centricky a z **dostatečně mocné vrstvy sypaného štěrku** (výjimečně nalepeného na zárubnicích). Jako základní trubní kolonu zárubnic lze použít libovolný typ ocelových trubek (pažnic) s podélnými vstupními otvory (také s kruhovou perforací). Ocelové trubky je nutno chránit ochrannými povlaky. Z důvodu odolnosti proti agresivnímu prostředí a chemickým vlivům se prosazují materiály z antikoroční oceli, neželezných kovů, kameniny, dřeva, plastů, skla apod.

POŽADAVKY NA TRUBNÍ FILTRY

Na trubní filtry, používané v hydrovrtech a vrtaných studních, jsou kladeny tyto požadavky:

1. vstup vody bez písku,
2. malý filtrační vstupní odpor,
3. odolnost proti korozi a inkrustaci,
4. mechanická pevnost,
5. hospodárnost,
6. bezpečnost provozu.

DRUHY FILTRŮ

Základní částí filtru je jeho **trubní skelet**, který chrání stěny vrtu před zborcením a umožňuje propouštět vodu prostou pevných částic. Druh filtru, jeho rozměry a materiál, z něhož je proveden se volí v závislosti na granulometrickém složení vodonosné vrstvy a chemickém složení vody. Na základě **materiálu a způsobu provedení trubního skeletu**, jeho vybavením dalším volně nebo pevně uloženým materiálem pro jeho účelové použití, dělí se filtry na:

1. filtry z ocelových trub a pažnic
 - prosté,
 - se sítkovým nebo tkaninovým obmotem,
2. filtry z lisovaných plechů,
3. filtry z drátěného nebo prutového skeletu,
4. filtry štěrbinové, zhotovené ze syntetických materiálů
 - polyetylenových, polyvinylchloridových trub a trub ze skelných laminátů,
 - stavebnicové z polypropylenových lamel,
 - s lepenou polymerovou drtí,
 - sestavené z kruhových skleněných disků nebo disků z umělých hmot,
 - z polyesterového drátu,
 - provedené odlitím,
5. filtry keramické,
6. filtry dřevěné,
7. filtry štěrkové
 - s lepeným štěrkem,
 - se štěrkovým obsypem.

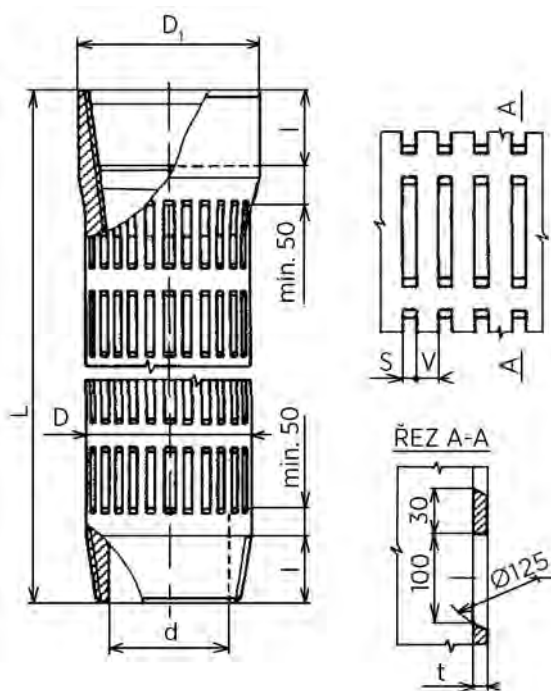
U **materiálů používaných na výrobu trubních filtrů** jsou důležité tyto vlastnosti:

- a. **ocel:** vysoká pevnost, jednoduché zpracování materiálu, lehká a bezpečná volně visící konstrukce,
- b. **neželezné kovy:** stálost proti korozi, jednoduché zpracování materiálu, lehká a bezpečná konstrukce, vyšší pořizovací náklady,
- c. **keramické materiály:** vysoká odolnost proti korozi, vysoká pevnost v tlaku (původně náhradní materiál za neželezné kovy), malá pevnost v tahu,
- d. **dřevo a podobné materiály:** odolnost proti korozi, jednoduché zpracování materiálu, lehká konstrukce při dodržení hustoty $\geq 1\ 000\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$,

- e. **syntetické materiály:** vysoká odolnost proti korozi, jednoduché opracování materiálu, lehká konstrukce při dodržení hustoty $\geq 1\ 000\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$,
- f. **zvláštní provedení:** kombinace různých materiálů, např. ocel s potahem z umělé hmoty, umělé pryskyřice armované skelnými vlákny apod.

FILTRY Z OCELOVÝCH TRUB A PAŽNIC

Je to velmi rozšířený druh filtrů. Jsou vyrobeny z **pažnic typu I a III. Kruhové otvory** u vrtané perforace mají průměr 7 – 25 mm. **Štěrbínovou perforací**, vytvořenou frézováním, lze rovněž použít na všech průměrech pažnic a při šířce štěrbin 4, 6, 8 mm lze dosáhnout až 20 % perforace. Děrované pažnice se vyrábí s povrchovou ochranou nebo bez ní. Druh ochrany se předepisuje a označuje doplňkovou číslicí za číslem normy a to bez povrchové úpravy (0), s povrchovou ochranou asfaltem (1), zinkem (2) a epoxidehem (3). Ukázka štěrbinového filtru s frézovanou podélnou perforací je na obr. 3.5.



Obr. 3.5 Ukázka štěrbinového filtru s frézovanou podélnou perforací.

D_1 – průměr trubky v pěchované části, D , d – vnější a vnitřní průměr filtru, l – délka závitu, L – délka filtrační trubky, S – šířka perforace, V – šířka plné části trubky mezi perforací, t – síla stěny trubky.

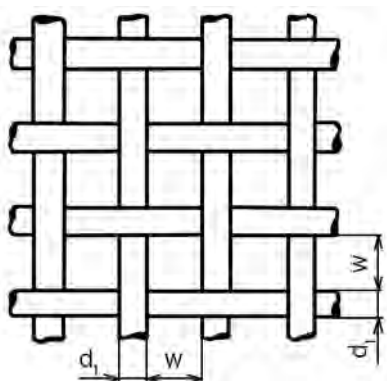
Proti vniknutí jemných pevných částic do hydrovrtu jsou trubní filtry z perforovaných pažnic opatřovány **tkaninovým obmotem**. Mezi kovovou tkaninou a trubním skeletem jsou ve více řadách uloženy drátěné spirály nebo podélné dráty, které drží tkaninu v určité vzdálenosti od trubky, aby se snížil filtrační odpor.

Z hlediska konstrukce tvoří filtrační tkaninu podkladová a prýmková tkanina. Materiálem je obvykle hutnická měď.

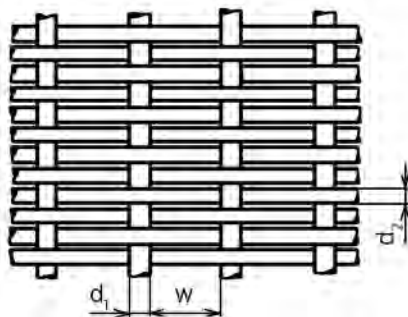
Podkladová tkanina (obr. 3.6) je tvořena pravouhly se křížícími dráty a slouží výlučně k podpírání vlastního tkaniva filtru. Průměr drátů (d_1) má hodnoty 1,25 nebo 1,4 mm; jejich vzdálenost (w) pak 5, resp. 9 mm.

U **prýmkové tkaniny** (obr. 3.7) jsou svislá vlákna umístěna ve větších vzdálenostech vedle sebe a jsou vodorovně, těsně vedle sebe ležícími dráty křížově proplétána. Rozměry těchto tkanin, podle označení na obr. 3.7 jsou následující: d_1 (0,28; 0,36; 0,45; 0,5 mm), d_2 (0,22; 0,28; 0,38; 0,4 mm) a tomu odpovídající w (1,0; 1,3; 1,7; 2,7 mm). Prýmková tkanina se používá výlučně jako filtrační a zvláště se hodí pro použití v jemnějších pískách.

U šterkových filtrů není možno trubní filtr z vrtu vytáhnout. Naproti tomu může být filtr s tkaninovým obmotem opět vytažen z vrtu za účelem jeho opravy nebo čištění, ovšem pouze u kolony filtrů, zapuštěné jako liner, tj. na ztraceno.



Obr. 3.6 Podkladová tkanina.



Obr. 3.7 Prýmková tkanina.

FILTRY Z LISOVANÝCH PLECHŮ

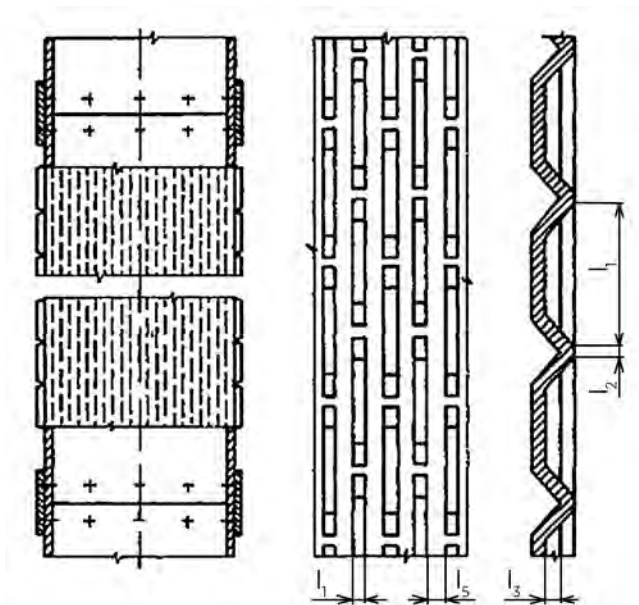
Do této skupiny patří 2 druhy filtrů:

- svařované ocelové zárubnice s lisovaným děrováním,
- lisované můstkové šterbinové filtry.

Můstkové šterbinové filtry jsou trubní plechové filtry s neúplnými prolisky ve tvaru tzv. **můstků**. Jejich výhodou je, že zrna šterkopískového obsypu nemohou být uložena tak, aby ucpala průchody a zabraňovala vstupu vody do šterbin. Výšku můstků lze v určitém rozsahu regulovat podle zrnitosti obsypu nebo zrnitosti zvodněné vrstvy. Proti plechovým filtrům s úplnými prolisky mají zvýšenou pevnost. Schematické znázornění konstrukce můstkových filtrů je na obr. 3.8.

Filtry jsou vyráběny v průměrech od 100 do 1000 mm, z plechů síly 2,5 – 8 mm, v délkách 2 m do průměru 500 mm, větší průměry v kratších délkách. Vyrábějí se ve dvou sortimentech, s normálním provedením můstků a ve speciálním provedení

pro jemnozrné štěrkové obsypy s užšími můstkovými štěrbinami. Nejužívanější povrchová ochrana je pomocí polymerových hmot.



Obr. 3.8 Můstkový štěrbinový filtr.

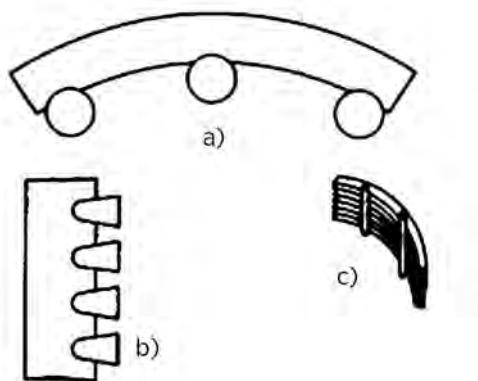
l_1 - výška otvoru můstků, l_2 - šířka můstků, l_3 - šířka mezery mezi můstky, l_4 - délka můstku, l_5 - vzdálenost mezi můstky po délce filtru.

FILTRY Z DRÁTĚNÉHO A PRUTOVÉHO SKELETU

Typickým představitelem této skupiny je filtr typu Johnson. Je to velmi známý a ve světě užívaný typ skeletových protikorozních filtrů. Filtr se skládá z **nosné konstrukce**, tvořené ocelovými pruty o průměru 2 – 8 mm a **horizontálního vinutí z ocelového drátu profilu V**. Drátěné vinutí je k nosné kostře připevněno svářem. Konstrukce filtru je schematicky znázorněna na obr. 3.9.

Výchozím materiálem kostry i vinutí jsou většinou ušlechtilé legované oceli, speciální bronz, speciální slitiny antikoročních ocelí s vysokým obsahem niklu, chromu a malým obsahem uhlíku, jen výjimečně je ocel chráněna pozinkováním.

Konstrukce filtru umožňuje optimální vtok. Velikost otvorů se pohybuje v rozmezí od 0,15 do 6,35 mm a je vždy určována podle geologických podmínek. Filtry jsou určeny zejména **pro vystrojování studní v nezpevněných horninách**, kdy je nutné zabránit ucpávání a zanášení studní. Otvory filtru jsou rozvrženy rovnoměrně. Jsou to vlastně souvislé štěrbinové okolo celého obvodu filtru, které umožňují rovnoměrný přítok vody do studny a zároveň jsou ochranou proti zanesení filtru. Otvory mají konický tvar s užším koncem na vnějším okraji filtru, který je hladký a ostrý. Tento ostrý okraj a konický tvar zabraňují také zanesení filtru.



Obr. 3.9 Konstrukce filtru typu Johnson.

a - horizontální řez, b - vertikální řez, c - výřez filtru, pohled zevnitř.

FILTRY ZE SYNTETICKÝCH MATERIÁLŮ

Při velkém rozšíření umělých hmot je samozřejmé, že tyto mnohostranně použitelné materiály s jejich velmi dobrou pevností a známou odolností proti korozi, jsou používány i v těžbě vody k výrobě filtračních rour. Již dlouho předtím, než umělé hmoty získaly podstatný význam ve stavbě vodovodních potrubí, byly ve studnařství používány filtrační trubky z PVC o malém průměru jako pozorovací a měřicí trubky. **Polyvinylchlorid (PVC) je u filtrů z umělých hmot nejrozšířenějším materiálem.**

Trubní filtry z umělých hmot jsou velmi rozšířené. Filtry z PVC se používají především pro pozorovací hydrogeologické vrty. Jako trubní materiál se používají i vytlačované bezešvé trubky novodurové, polyetylenové, popř. trubky z jiných termoplastů a termosetů. Vyrábějí se až do průměru 225 mm. Vstupní otvory filtrů se provádějí vrtáním nebo řezáním kotoučovou pilou. Spoje filtrů jsou buď řešeny jako hrdlové nebo čelním svárem na tupo.

KERAMICKÉ FILTRY

Filtry z keramických materiálů vznikly původně jako náhrada filtrů z barevných kovů pro studny s dlouhou životností. Z keramických materiálů se nejlépe osvědčila kamenina a mikroporézní keramika. **Kamenina** má, ve srovnání s méně pevnou keramikou, pevný, hustý střepek a liší se způsobem glazury od všech ostatních glazurovaných keramických hmot.

V průběhu používání kameninových filtrů byly vyvinuty z tohoto materiálu filtrační roury s rozdílnými otvory filtrů, trubními spoji a také rozdílnými konstrukcemi filtrů. V současné době se používá pouze jeden typ prefabrikátu a to buď s nátrubkovým spojením (šířka štěrbin 2,5 resp. 6 mm při vzdálenosti žebor 4 resp. 12 mm) nebo s beznátrubkovým spojením s obepínací bandáží (šířka štěrbin 2,5 mm při vzdálenosti žebor 1,5 resp. 4 mm). Podstatným znakem těchto kameninových rour jsou vertikálně provedená zakulacená žebra, před vlastními štěrbinovými otvory, která zabraňují vniknutí štěrkových zrn do štěrbin.

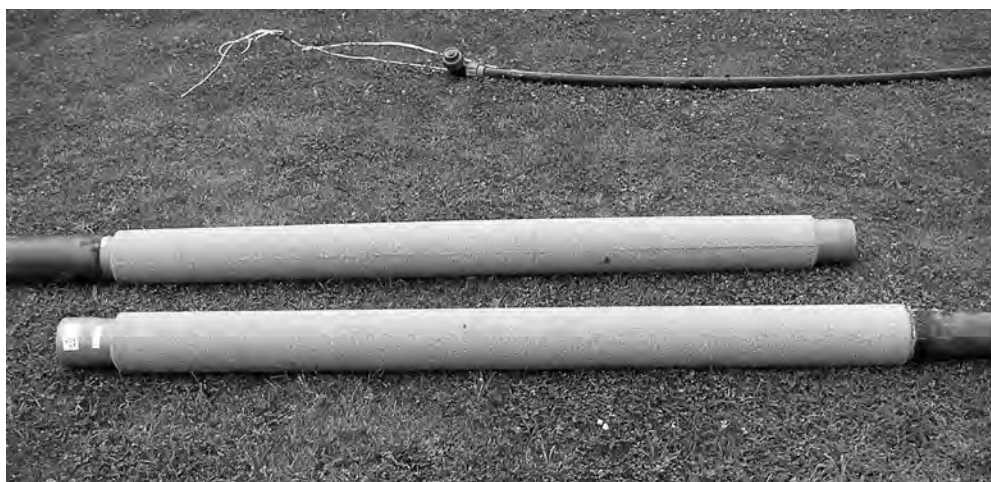
FILTRY ZE DŘEVA A DŘEVU PODOBNÝCH MATERIÁLŮ

Rozhodujícími faktory při použití dřeva byly lehká opracovatelnost a **vysoká odolnost proti agresivním vodám**. Až donedávna se používalo dřevo v solných provozech, ve studních s minerální vodou a v lázních se silně agresivní léčivou vodou. Používání dřevěných filtrů se osvědčilo především u kyselých podzemních vod, ovšem potud, pokud dřevěná filtrační trubka byla zcela pod vodní hladinou, tedy stále, i při poklesu vodní hladiny. Pro plnou trubku ležící v rozmezí kolísání hladiny, musely být voleny jiné, korozivzdorné materiály. Obtížné bylo také usazení filtru ve vrtu z důvodu vztlaku dřeva.

Dnes jsou dřevěné filtry bezvýznamné a nejsou vyráběny. Na významu však získalo zhotovování studničních filtrů ze dřeva a umělé pryskyřice ve formě **slisovaného dřeva s umělou pryskyřicí**. Tento materiál pozůstává z dřevěné dýhy, namáčené v umělé pryskyřici, skládané před sebe v různém směru let a potom lisované do desek nebo jiných tvarů. Přitom jsou nutné tlaky až 20 MPa a teploty okolo 150 °C. Lisovaná látka z umělé pryskyřice je tak pevně svázaná se dřevem. Chemické a fyzikální vlastnosti odpovídají zpracovávaným umělým pryskyřicím. Pevnost jednotlivých dílů zvyšují vlákna dýhy zalisovaná do umělé pryskyřice. Materiál je odolný vůči všem ve vodárenství se vyskytujícím agresivním vodám. Podstatným znakem filtračních trubek z tohoto materiálu je segmentový způsob stavby. Lehce transportovatelné trubní segmenty jsou při zabudovávání spojovány profilovým gumovým těsněním s měděnými nýty nebo spojkami. Hustota trubního materiálu je 1 360 kg·m⁻³, takže i při velmi hlubokém vystrojování je celková hmotnost kolony velmi malá.



Obr. 3.10 Konstrukce filtru s lepeným štěrkem.



Obr. 3.11 Ukázka filtrů s lepeným štěrskem připravených k zapuštění do vrtu.



Obr. 3.12 Kolona filtrů s lepeným štěrskem ve věži vrtné soupravy při zapouštění do vrtu.

FILTRY S LEPENÝM ŠTĚRKEM

Filtry s lepeným štěrkem (obr. 3.10, 3.11 a 3.12) se vyrábějí lepením štěrkové vrstvy na perforovanou trubku, jen výjimečně samonosné bez nosného skeletu. Nahrazují zárubnice s obsypem. Jejich předností je rovnoměrné rozmístění štěrku kolem skeletu a možnost zmenšení šířky lepené vrstvy, protože jde o tříděný, zrnitostně stejnorodý štěrk. Jako nosný skelet se používají perforované ocelové pažnice, ocelové pozinkované trubky i trubky z umělých hmot. Křemitý tříděný štěrk je používán ve dvou třídách VP-II a VP-III.

FILTRY ŠTĚRKOVÉ – OBSYPOVÉ

V praxi hydrogeologických vrtů, kdy vodonosné vrstvy se skládají obvykle z nesoudržných písčitých hornin, jsou nejčastěji používány trubní filtry s kruhovými nebo štěrbinovými otvory, často ze vstupní strany ovinutými síťovinou z umělých hmot. Mezikruží je zpravidla zaplněno písčito štěrkovým materiálem.

Podle výsledku dlouhodobého sledování je nejúčelnější jak z hlediska doby využívání, tak i konstrukce takové provedení filtrové části těžební kolony, kdy vlastní trubka je z antikorozi oceli a mezikruží je zaplněno štěrkovým obsypem.

Štěrkový obsyp je dán pískem volené zrnitosti. Tím je zajištěna jejich vysoká pracovní způsobilost při nízkém hydraulickém odporu a dlouhodobé pracovní spolehlivosti. Tento druh filtru se vyznačuje nízkým stupněm chemické a mechanické kolmatace.

KONSTRUKCE ŠTĚRKOVÝCH FILTRŮ

Efektivnost práce těžebních vrtů na vodu se štěrkovými filtry závisí na:

- délce filtru,
- síle obsypu,
- druhu a zrnitosti obsypu.

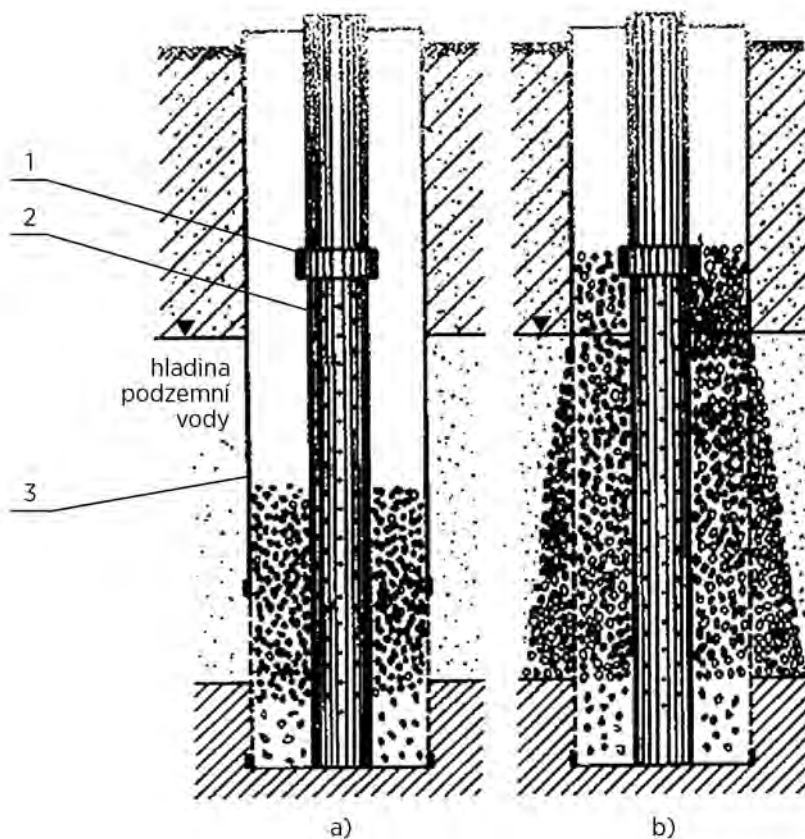
Tyto základní konstrukční prvky mají zásadní vliv na vstupní rychlost filtračního toku a vydatnost vrtu. V podstatě platí, že propustnost štěrkových obsypových filtrů musí být mnohem vyšší než propustnost těžené vrstvy. Propustnost filtru však nesmí způsobit vyplavování (erozi) písků vodonosné vrstvy s následným zanášením filtrů. Je zřejmé, že v této souvislosti je nutné řešit **granulometrické složení obsypového materiálu**, které se musí pohybovat v takových mezích, kdy je zajištěna minimalizace hydraulických odporů, ale ještě nedojde k vyplavování písků vodonosné vrstvy.

VÝHODY ŠTĚRKOVÝCH FILTRŮ

Za předpokladu, že hydrogeologický vrt se štěrkovým filtrem je řádně proveden, že je dostatečně zbaven písku a že provozní doby pro trvalý odběr vody jsou voleny na základě čerpacích zkoušek, lze výhody tohoto filtru shrnout takto:

- u štěrkových filtrů není nutno používat žádné tkaninové obaly;

- proti korozi jej lze dostatečně chránit vhodnou volbou materiálu filtračních trubek;
- jev inkrustace – tj. srážení se rozpuštěných kovů, solí a jiných látek se nedá odstranit ani u štěrkových filtrů;
- štěrkové filtry vzhledem k většinou velkým vrtným průměrům zajišťují nízké vstupní rychlosti toku, takže lze předpokládat i malý vstupní odpor; při laminárním proudění vody ve studních lze do jisté míry dosáhnout i snížení jevu inkrustace, protože tření vodních částic mezi sebou značně tento pochod zvyšuje;
- štěrkové filtry možno označit za zařízení o velmi dlouhé životnosti.



Obr. 3.13 Štěrkový obsypový filtr.

1 – levá objímka, 2 – perforovaná filtrační trubka, 3 – manipulační pažnicová kolona.

ZPŮSOBY ZŘIZOVÁNÍ ŠTĚRKOVÝCH FILTRŮ

Zřizování štěrkových filtrů je prováděno mnoha způsoby s nejrůznějšími odchylkami, které závisí především na:

- hloubce vrtu,
- šířce mezikruží,
- technicko-technologické úrovni výrobní společnosti.

Po ukončení vrtání a před zahájením prací na instalaci filtru musí být provedeny všechny práce související s ukončováním vrtu pro těžbu, jejichž hlavním cílem je zajistit, aby **vrt byl v celé délce čistý**. Nejjednodušší provedení štěrkového filtru je znázorněno na obr. 3.13.

Z obrázku je zřejmé, že vrt je v celé své délce provrtán (mimo zaústění) průměrem odpovídajícím požadovanému průměru filtru. Po zapuštění manipulační pažnicové kolony až na počvu vrtu se zapouští vlastní filtrační trubka, jejíž vnější průměr by měl být minimálně o 100 mm menší než vnitřní průměr pažnicové kolony. Filtrační trubka se zapouští buď na vrtných trubkách, nebo na pažnicích odpovídajícího průměru obvykle spojené levým přechodem. Pro centraci filtrační trubka musí být opatřena centrátory.

Po zapuštění filtru na počvu vrtu se přistoupí **k provedení obsypu**. V případě malé hloubky se obvykle provádí **prostým násypem do mezikruží** s následnou kontrolou stavu tyčemi. Běžnější je však postup, kdy do mezikruží mezi filtrem a pažnicovou kolonu se zapouští **trubky průměru 50 – 380 mm, kterými se v malých dávkách zaplňuje mezikruží tříděným štěrkem**. Podle postupu zásypu se v krátkých intervalech povytahuje manipulační pažnicová kolona tak, aby byl zásyp po celou dobu práce vždy v mezikruží pažnicová kolona – filtr. V průběhu zasypávání se doporučuje protáčení manipulační pažnicovou kolonou. Zásyp mezikruží se provádí o 5 – 10 m výše než je aktivní část filtru, to proto, že část zásypu se dostává přes filtr a je vynášena.

Dobré výsledky při zasypávání filtrového mezikruží se dosahují v těch případech, kdy současně s nasypáváním se **provádí čerpání z vrtu**. Takový postup je reálný, když vlastní filtrační trubka je zapuštěna na pažnicové koloně. Po provedení štěrkového obsypu do větších hloubek je vypracován **hydromechanický způsob ukládání štěrku** do zafiltrovaného prostoru.

3.4 VRTNÉ VÝPLACHY PRO HYDROGEOLOGICKÉ VRTY

Při hloubení hydrogeologických vrtů se setkáváme s rozdílným litologickým složením provrtávaných zemin s odlišnými hydrogeologickými poměry. Bez havarijní vrtání vyžaduje především zvolit vhodný typ výplachu, a to též k předpokládané vydatnosti a exploataci vodního zdroje.

V hydrogeologických rajonech se setkáváme se dvěma (dle hrubého dělení) litologickými složeními provrtávaných zemin:

- a. střídajícími se obzory písčitých a jílovitých zemin,
- b. štěrkopísčitými sedimenty.

3.4.1 VRTNÉ VÝPLACHY PRO STŘÍDAJÍCÍ SE OBZORY PÍŠČITÝCH A JÍLOVITÝCH ZEMIN

Hloubení střídajících se obzorů písčitých a jílovitých zemin vodou přináší **potíže z hlediska nestability jílových zemin, jejich dispergace, tvorbu kaveren a závalů**. V horizontech písčitých naopak nastává **ztráta vrtného výplachu** za současné jejich kolmatace. Nutno tedy volit výplach takového typu, který by stabilizoval jílovité zeminy a přitom jen málo kolmatoval porézní horizonty, případně aby vzniklá kolmatace byla v převážné míře odstranitelná.

K uvedenému požadavku se blíží **polymerové nebo osmoticko-polymerové vrtné výplachy**. Z organických polymerů nutno vyloučit KMC vzhledem k jejím kolmatačním účinkům. Ze zbývajících polymerů lze doporučit HEC, biopolymer, bobtnavé škroby, ze zahraničních materiálů Antisol, Revert. Jejich koncentraci nutno volit podle viskozity roztoků tak, aby zdánlivá viskozita naměřená na FANN viskozimetru se pohybovala v intervalu $10 - 20 \cdot 10^{-3}$ Pa·s, což při hrubém srovnání odpovídá „průtokové“ viskozitě dle SPV-5: 25 – 40 s.

Pro zvýšení stabilizačního účinku na zeminu je třeba dávkovat minerální soli, nejlépe KCl v množství 3 – 5 %. Polymerové výplachy přejdou na osmoticko-polymerové. Uvedená koncentrace KCl nemá podstatnější vliv na reologické vlastnosti polymerových výplachů.

Nejrealnější se jeví výplachy tvořené **roztokem HEC v kombinaci s KCl**. Tyto výplachy mají vhodné reologické vlastnosti, odvrtná jílovitá zemina v nich jen omezeně disperguje, na stěně vrtu se vytváří vrstva gelu HECu, a to jak v obzorech jílovitých, tak i písčitých. Kolmatační účinek HECu je snížen, neboť povrch písků je chráněn gelovitým povlakem a při čerpacích zkouškách je tento ve vodě rozpustný.

3.4.2 VRTNÉ VÝPLACHY PRO ŠTĚRKOPÍŠČITÉ ZEMINY

Štěrkopísčité zeminy jsou nejčastěji zvodněné. Vyznačují se tím, že jsou **relativně málo stabilní, dobře propustné, silně zvodněné**, přičemž vydatnost těchto obzorů je dosti značná. Při vrtání v těchto sedimentech se na vrtný výplach kladou specifické požadavky:

- a. zajistit stabilitu provrtávaných sedimentů,
- b. v minimální míře kolmatovat,
- c. umožnit intenzifikační procesy.

Uvedené zeminy **nelze provrtávat bez použití jílového výplachu**. Zde nutno mít na paměti dodržení hodnoty hustoty výplachu tak, aby hydrostatický tlak sloupce výplachu jen málo převyšoval tlak vody v hornině. Znamená to tedy použít jílové výplachy lehčené, dávkováním PAL, za použití inertních materiálů. Jako inertní materiály jsou vhodné granulovité materiály, např. drcený vápenec, perlit, hrubozrnnější antuka apod., které sice sníží propustnost, ale v podstatě neovlivní vydatnost vodního zdroje, neboť jsou jednak vytěsnitelné přes hrubý filtr, případně rozpustné působením kyselin.

3.5 ČERPACÍ ZAŘÍZENÍ POUŽÍVANÁ V HYDROGEOLOGII

Čerpání kapaliny, snížení hladiny, její měření nebo měření tlaku na vrtu po zastavení čerpání patří mezi základní metody moderní hydrogeologie pro určení filtračních parametrů zvodněných vrstev.

Čerpací zařízení, používaná v hydrogeologickém průzkumu, sloužící k získání informací o zkoumané vrstvě lze rozdělit do dvou skupin:

- klasická čerpací zařízení (čerpadla),
- testerovací zařízení.

3.5.1 ČERPADLA V HYDROGEOLOGICKÉM PRŮZKUMU

Čerpací zařízení, používaná běžně v hydrogeologii se skládá z **čerpadla a potrubí**. Pro čerpání vody z hlubinných vrtů se postupně vyvinula řada typů čerpacích zařízení, z nichž některá jsou pro účely čerpacích zkoušek z průzkumných vrtů velmi vhodná. Můžeme je rozdělit podle způsobu výtlaku kapaliny na:

1. čerpadla:

- a. odstředivá
 - s povrchovým pohonem,
 - ponorná,
- b. pístová (jednočinná, dvojčinná),
- c. šroubová,
- d. rezonanční,

2. vzduchová čerpadla (airlifty),

3. trysková čerpadla (ejektory).

PONORNÁ ODSTŘEDIVÁ ČERPADLA (POČ)

Jsou pro hydrogeologický průzkum velmi vhodná, pokud ovšem vyhovuje jejich průměr, který bývá kolem 300 mm.

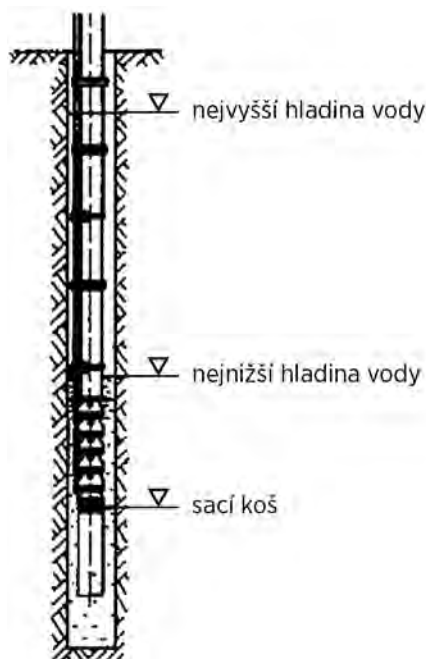
SLOŽENÍ A PRINCIP PRÁCE POČ

Rotor odstředivého čerpadla je opatřen řadou lopatek, ohnutých proti směru otáčení a je připevněn na hřídeli, otáčejícím se velkou rychlostí. Je umístěn ve spirálovitém krytu, který přechází v odvodní trubku. Činnost odstředivého čerpadla je založena na tom, že voda, zachycená lopatkami rotoru je odstředivou silou odváděna na vnější část lopatek a směřována do odvodní trubky. Volný prostor v centrální části čerpadla je postupně zaplňován novou kapalinou. Výkony těchto typů čerpadel se pohybují kolem 350 – 3 000 l·min⁻¹ průtoku a kolem 100 m výtlaku; existují však ponorná čerpadla i s podstatně vyššími výkony.

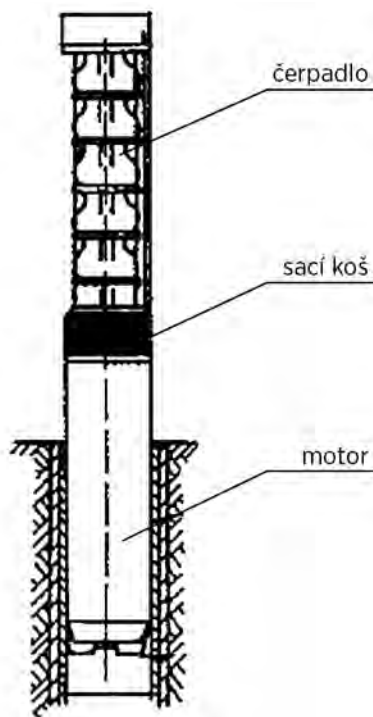
Předností ponorných čerpadel odstředivých je možnost značného zvýšení výtlačku zařazením několika stejných čerpadlových stupňů v řadě za sebou. Tento typ je označován jako **čerpadla vícešupňová s vysokým tlakem** (čerpadla jednošupňová s nízkým tlakem mají zařazen pouze jeden čerpadlový stupeň). Zvětšení tlaku u těchto typů čerpadel nastává následkem přechodu vody postupně přes všechny stupně a získání nového přídatného tlaku. Takový typ čerpadla, který vytváří celý **čerpací ponorný agregát**, se skládá z:

- vlastního hlubinného čerpadla,
- hlubinného elektrického asynchronního motoru,
- sacího koše.

Čerpadlo se nachází v horní části sestavy, sací koš uprostřed a motor v dolní části (obr. 3.14). Na obr. 3.15 je znázorněno schéma hlubinného čerpadla s motorem. Celý agregát je zavěšen prostřednictvím horní části čerpadla k dolnímu konci tlakového potrubí, na které je rovněž upevněn kabel, kterým se přivádí k motoru elektrický proud. Kabel bývá zpravidla třížilný, je dělený; jednotlivé úseky se připojují pomocí speciálních vodotěsných kabelových spojek. Zavěšení čerpacího agregátu na povrchu se provádí pomocí svěr, opřených na dvou nosnících.



Obr. 3.14 Umístění čerpadla ve vrtu.



Obr. 3.15 Sestava ponorného čerpadla.

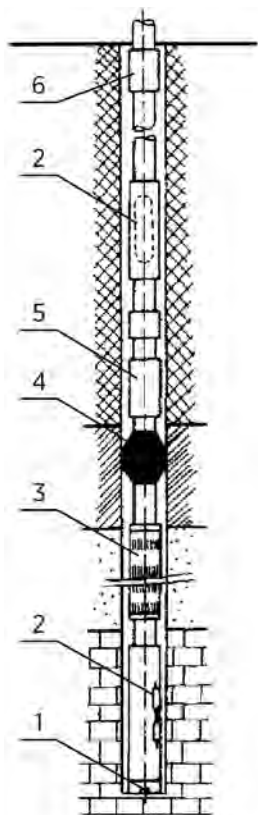
3.5.2 MĚŘENÍ PROVÁDĚNÁ POMOCÍ TESTERŮ

Využití **způsobu testování v hydrogeologických vrtech** je velmi různorodé. Závisí na mechanických vlastnostech provrtávaných hornin, na vhodné výstroji vrtu a v neposlední řadě na přístrojovém vybavení testeru. Je to především:

- měření hydromechanických vlastností hornin,
- určování fyzikálně-chemických vlastností vody v jednotlivých úsecích vrtu buď přímým měřením nebo odběrem vzorků (např. teploty, pH atd.),
- kombinace uvedených druhů měření.

SESTAVA TESTEROVACÍHO ZAŘÍZENÍ

Pro objasnění funkce testerovacího zařízení je zvolen **tester ISV** – obr. 3.16. Tento tester vychází z konstrukčních principů testerů používaných v ropné praxi. Je určen pro intervalové čerpací zkoušky v průběhu hloubení vrtu s jílovým výplachem ve zpevněných horninách a nezapažených vrtech.



Obr. 3.16 Tester ISV.

Tester se skládá z šesti základních částí: 1 – opěrka, 2 – hlubinný manometr s vnitřní registrací (je umístěn ve zkoušené části vrtu izolované pakrem), 3 – filtr, 4 – pakr (vlivem hmotnosti nářadí se roztahuje a odděluje zkoušenou část vrtu), 5 – sdružený ventilový systém, 6 – uzavírací plovákový ventil.

Pakr je ovládán mechanicky hmotností vrtných nebo čerpacích trubek, na kterých je testovací zařízení do vrtu zapouštěno. Pryžová část pakru je zhotovena ze speciální pryžové směsi, která dovoluje bezpečné oddělení zkoušeného intervalu vrtu při hmotnosti zapouštěcích trubek 500 - 2 500 kg, které jsou umístěny nad pakrem.



Obr. 3.17 Provádění horizontálního odvodňovacího vrtu lafetovou jádrovou vrtnou soupravou.



Obr. 3.18 Provádění horizontálního odvodňovacího vrtu vřetenovou jádrovou vrtnou soupravou.



Obr. 3.19 Horizontální odvodňovací vrty pro odvodnění svahových sesuvných území.



Obr. 3.20 Vystrojené horizontální odvodňovací vrty.

3.6 ODVODŇOVACÍ HORIZONTÁLNÍ VRTY

Provádění horizontálních odvodňovacích vrtů souvisí s činnostmi ve stavebnictví a případně v geotechnice. Mohou najít uplatnění při zakládání soustředěné výstavby a uplatnění nacházejí zejména při **stabilizaci sesuvných oblastí**, které ohrožují dopravní a jiné stavby.

Technologií horizontálních vrtů, vystrojených perforovanými trubkami, byly provedeny horizontální i úklonné vrty, které dosáhly délek i přes 200m. Těto metody lze použít i **provrtání železničních a silničních náspů**, kde je třeba provést průvlaky bez přerušení provozu. Pro tento účel byly provedeny horizontální vrty o průměru až 300 mm.



Obr. 3.21 Odvodňovací vrt při plnění své funkce.

Metoda horizontálních odvodňovacích vrtů je na příslušných lokalitách kombinovaná s dalšími pracemi pro tento účel, jako jsou například velkopřůměrové sběrné studny, které mohou být následně propojovány horizontálními vrty apod.

Literatura

Betuš Zvonimír, Pinka Ján: Hydrogeologické vrty, Vydavateľstvo Štroffek, Košice 1998. ISBN 80-88896-27-4

Kovář Luděk: Technické průzkumné práce, přednášky pro denní a dálkové studium, VŠB – TU Ostrava 2010.

Zeman Vojtěch: Vrtné práce v hydrogeologii a inženýrské geologii, Rekvalifikační postgraduální kurz, VŠB – TU Ostrava, 1989.

Zeman Vojtěch, Kalus Dalibor, Mazáč Josef: Vrtání na vodu a jímání podzemních vod, Vysoká škola báňská v Ostravě, Ostrava 1985.

4. VRTNÉ PRÁCE V INŽENÝRSKÉ GEOLOGII A GEOTECHNICE

4.1 VRTNÉ PRÁCE V INŽENÝRSKÉ GEOLOGII

Vrtné práce v inženýrsko-geologickém průzkumu jsou prováděny v zásadě pro dva účely:

- **odběr vzorků zemin a hornin** pro následné laboratorní zkoušky a geotechnické posouzení jejich fyzikálně mechanických vlastností;
- provedení hlubokých otvorů do horninového masivu pro uložení snímačů a čidel, prostřednictvím nichž jsou **průběžně sledovány jeho geomechanické projevy**, zejména svahové posuny.

Samostatnou skupinu technické činnosti v inženýrské geologii tvoří **sondážní práce**.

4.1.1 VRTNÁ TECHNIKA PRO ODBĚR VZORKŮ HORNIN A ZEMIN

Pro tento účel jsou používány běžné typy rotačních vrtných souprav jako pro účely ložiskové geologie nebo hydrogeologie, s aplikací technologie **rotačního jádrového vrtání s přímým proplachem** (u hornin) nebo **bez proplachu** (u zemin). U zvodněných zemin lze použít **náběrné hloubení** drapákovými soupravami.

4.1.2 VRTNÉ PRÁCE PRO SLEDOVÁNÍ STABILITY SVAHŮ

V současné době slouží vrty také jako velmi důležitý prostředek pro **umístění snímacích zařízení pro sledování a hodnocení deformací v horninovém prostředí**. Samozřejmě, že na tyto vrty jsou kladeny speciální požadavky. Následně je uveden komplex metod, které využívají vrtného prostředí a používají se pro **měření svahových deformací a pohybů**:

- přesná inklinometrie,
- měření pórového tlaku,
- extenzometry (pro vodorovné vrty i svislé vrty),
- křehké páskové vodiče,
- geoakustické měření ve vrtech,
- měření podélných posuvů na svazích.

Vrty, využívané pro **sledování stability skalních stěn a svahů**, jsou vrtány **běžnými jádrovými rotačními soupravami**, vřetenovými i lafetovými, technologií rotačního jádrového vrtání s přímým proplachem, včetně technologie lanového jádrování.

Na **inklinometrický vrt** nejsou z hlediska vrtání kladeny nijak mimořádné nároky. Jedná se o vrty průměru 112 mm, resp. vrty průměru 93 mm. U těchto vrtů je především nutno zajistit dobrou průchodnost, resp. přímost z hlediska následného propažování polyetylénovými pažnicemi (PE).

U inklinometrických vrtů je největší důraz kladen na správnost vystrojování a osazování vrtu PE pažnicemi. Především je nutno zajistit:

- dokonalé slícování drážek jednotlivých PE trubek (zároveň musí být respektována zásada, že myšlená rovina proložená dvěma protějšími drážkami bude totožná s předpokládaným směrem pohybu svahu);
- u svislých vrtů zajistit maximální svislost osazení pažnic (interpretace výsledků u dokonale svislých vrtů není na rozdíl od šikmých vrtů zatížena chybami);
- vyvarovat se znečištění vnitřku PE pažnic;
- dbát na vodotěsnost spojů PE trubek.

Výsledným stadiem inklinometrického vrtu by měl být vystrojený vrt s upraveným zhlavím, připravený k provádění vlastního měření.

U ostatních metod monitorování, které se provádí ve vrtech (měření pórových tlaků, extenzometrie aj.), zásadními požadavky na vrt jsou:

- jeho dobrá průchodnost a přímost,
- volit průměr vrtu tak, aby byla dobrá manipulace s náradím (vrtné tyče nebo injekční tyče) při osazování přístroje do vrtu a při jeho cementaci či obsypu.

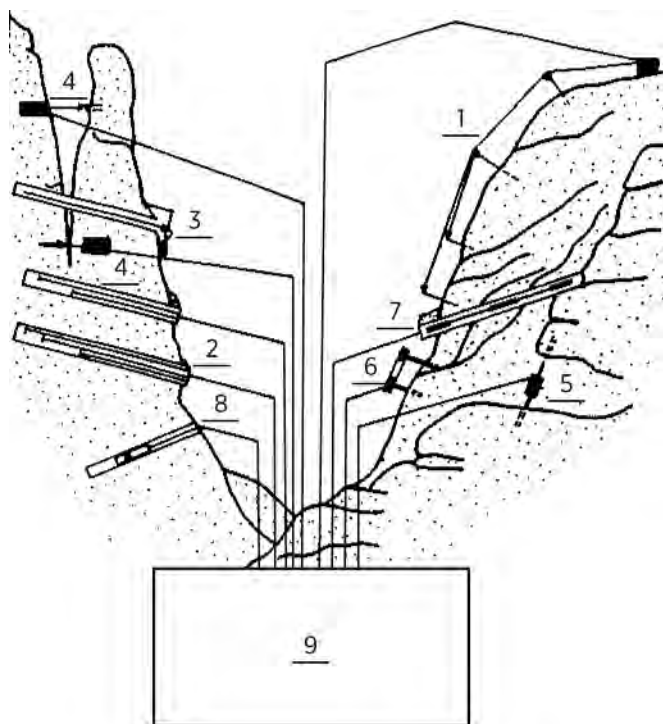
Měření se provádí ve vrtech realizovaných z povrchu nebo z důlních děl, např. z průzkumných štol. Komplex metod pro sledování deformací skalních stěn a převisů je ilustrován na obr. 4.1 a pro sledování deformací svahů a sesuvů na obr. 4.2. Stručná charakteristika jednotlivých metod je uvedena v následujících kapitolách.

4.1.2.1 PŘESNÁ INKLINOMETRIE

Jedná se o základní metodu pro kontrolní sledování a měření velikosti horizontálních pohybů a deformací pod povrchem. Charakteristické je použití při určování smykových ploch, sledování směru pohybů v patách hrází přehrad, sledování opěrných zdí apod. Princip metody je znázorněn na obr. 4.3.

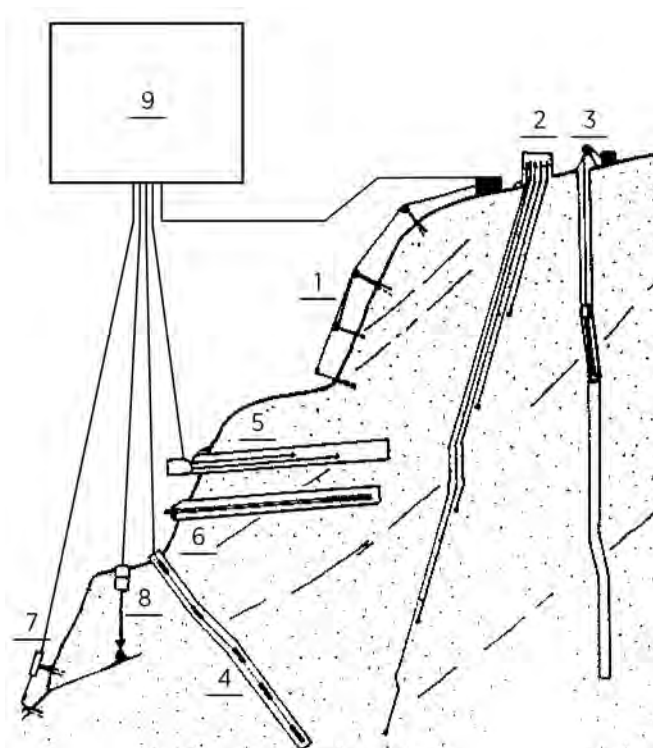
Odvrtaný vrt se zapaží pažnicemi z umělých hmot s přesnými vodícími drážkami. Následně se provede cementace této kolony. Pažnice musí zasahovat až do prostředí, kde se již neprojevují vlivy přetvárných procesů, tzn., že dno vrtu musí zasahovat až do stabilního prostředí. Tato podmínka zaručí, že **údaj měřený ze spodní části vrtu je během provádění periodických měření stálý**. Po zapuštění inklinometrické sondy se provádí **nulté, referenční měření**. Měří se s krokem zpravidla rovným délce sondy. Ve stanovených časových intervalech, daných rychlostí pohybu svahu nebo jejím předpokládaným vývojem, se měření ve stejných

hloubkových úrovních periodicky opakuje. Pomocí dvou náklonoměrných čidel se měří odklon od svislice ve dvou navzájem kolmých rovinách A, B. Měření se provádí ve dvou polohách (poloha 0° a poloha sondy o 180° otočené), čímž se vyloučí případná chyba v odečtu. Rozdíly náklonu sondy vůči svislici v odpovídajících si hloubkách reprezentují změnu náklonu úhlu θ , která je převedena přímo na lineární posun $\Delta = L \cdot \sin \theta$. **Progresivní vývoj těchto změn indikuje smykovou plochu zóny pohybu.** Vyneseme-li v jednotlivých hloubkových úrovních změny náklonu (resp. posunu) vůči nultému měření, dostaneme tzv. **křivku "delta" Δ** . Tato křivka vyjadřuje relativní posun osy vrtu v dané hloubkové úrovni. Vyneseme-li v jednotlivých hloubkových úrovních součet změn náklonu od nejhlubší úrovně směrem k povrchu, dostaneme **křivku "suma delta" $\Sigma\Delta$** , která udává velikosti vodorovných deformací. Inklinometry pro měření svahových pohybů jsou několikanásobně přesnější než běžné karotážní inklinometry (měří se řádově sekundy stupně). Většina přístrojů pracuje na gravitačním principu, tzn. pohybu hmoty při změně klidové polohy. Azimutální měření se neprovádí, neboť stálá poloha sondy je zajištěna drážkou v pažnici.



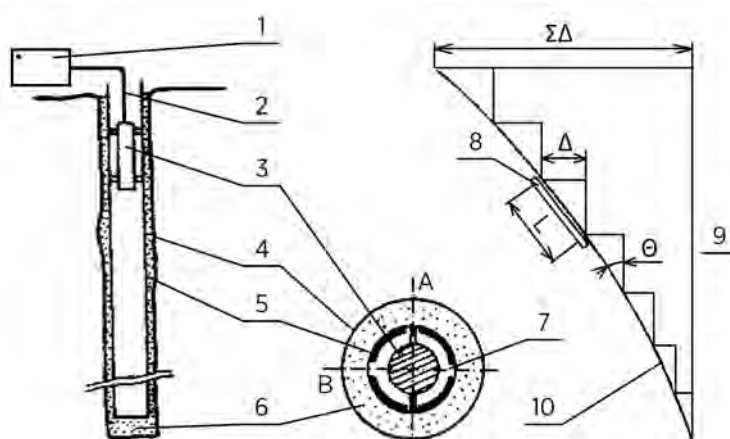
Obr. 4.1 Metody pro sledování deformací skalních stěn a převisů.

- 1 – povrchový drátový extenzometr, 2 – víceúrovňový tyčový extenzometr, 3 – mechanický indikátor pohybu, 4 – elektrický indikátor pohybu se signalizací na dálku, 5 – skalní deformetr pro určení mezní hodnoty stavu posunu skalních bloků, 6 – puklinometr pro třírozměrné měření posunu po smykové ploše, 7 – řetězový deflektometr, 8 – geofon – senzor hluků a šumů vznikajících v hornině, 9 – vyhodnocovací jednotka.



Obr. 4.2 Metody pro sledování deformací svahů a sesuvů.

1 - povrchový drátový extenzometr, 2 - drátový extenzometr pro lokalizaci smykových zón, 3 - přesná inklinometrie, 4 - řetězový deflektometr pro měření příčného sedání, 5 - víceúrovňový tyčový extenzometr s mechanickým záznamem, 6 - deformetr (měření pohybu po kluzných plochách), 7 - dynamometr (měření předpětí kotev), 8 - hadicová vodováha na měření horizontálních pohybů, 9 - vyhodnocovací jednotka.



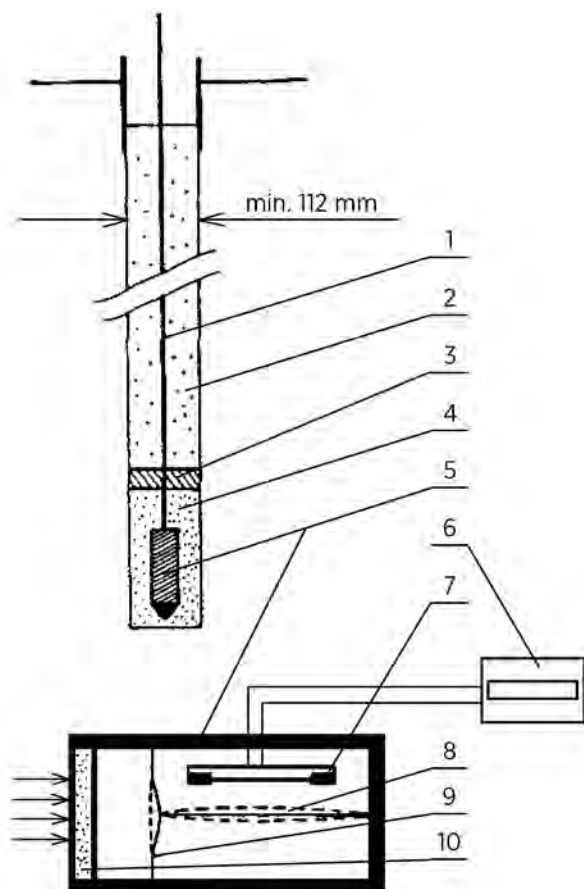
Obr. 4.3 Princip metody přesné inklinometrie.

1 - vyhodnocovací zařízení, 2 - kabel, 3 - sonda, 4 - vrt, 5 - pažnice, 6 - injekční směs, 7 - vodící drážky, 8 - měřicí interval, 9 - referenční profil, 10 - měřený profil.

4.1.2.2 MĚŘENÍ PÓROVÝCH TLAKŮ

Účelem měření je **kontrola průběhu pórových tlaků** např. v podloží násypů hrází během jejich výstavby a provozu, ověření prognóz napětí uvnitř zemních konstrukcí, zjišťování změn tlaků s časem v předpolí těžebních svahů povrchových velkolomů a sledování stability svahů.

Zařízení je složeno ze snímače, kabelu a vyhodnocovacího přístroje (obr. 4.4). Princip snímání je založen na **závislosti kmitočtu struny na velikosti jejího napětí**. Jeden konec struny je připevněn na membráně, druhý na krytu snímače. Tlak vody se přenáší na membránu, jejíž průhyb způsobuje změnu napětí struny a tedy změnu její rezonanční frekvence (ta je buzena elektromagnetickým budičem kmitů). Změny pórového tlaku jsou úměrné druhé mocnině vibrační frekvence. Vzhledem k tomu, že sonda s čidlem má průměr 6 cm a pro její instalaci ve vrtu je nutný pískový obsyp, je **minimální požadovaný průměr vrtu 112 mm**.



Obr. 4.4 Měření pórových tlaků.

1 – kabel, 2 – vodotěsná zálivka vrtu, 3 – utěsnění bentonitem, 4 – pískový obsyp, 5 – snímač pórových tlaků, 6 – vyhodnocovací zařízení, 7 – elektromagnet, 8 – vibrační struna, 9 – membrána, 10 – filtr.

4.1.2.3 EXTENZOMETRIE

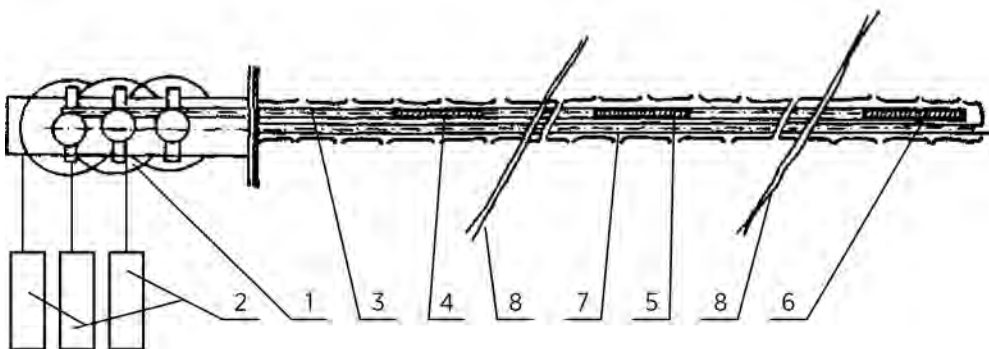
DRÁTOVÝ EXTENZOMETR

Přístroj se používá pro stanovení **velikosti deformací a poruchových zón v tělese svahu, v podzemních stavbách, v násypch apod.**

Vlastní těleso **víceúrovňového extenzometru** (obr. 4.5) sestává:

- z úvodní kotvy (umožňuje fixaci systému kotev před jejich cementací);
- ze základní kotvy, připevněné na trubce, jež přejímá tlak zaváděcího soutyčí;
- z normálních kotev (počet bývá podle potřeby měření). Jsou rozmístěny mezi základní kotvou a měřicím zhlavím. Jsou průchozí pro nižší kotevní stupně. Každá kotevní úroveň je spojena se zhlavím extenzometru.

Vlastní měřicí zhlaví se skládá z příslušného počtu vnitřních kladek, které jsou spojeny s kotevními úrovněmi; z vnějších kladek, přes které jsou jednotlivé struny napínány pomocí zátěží, a z měřidel a snímačů velikosti posunu.

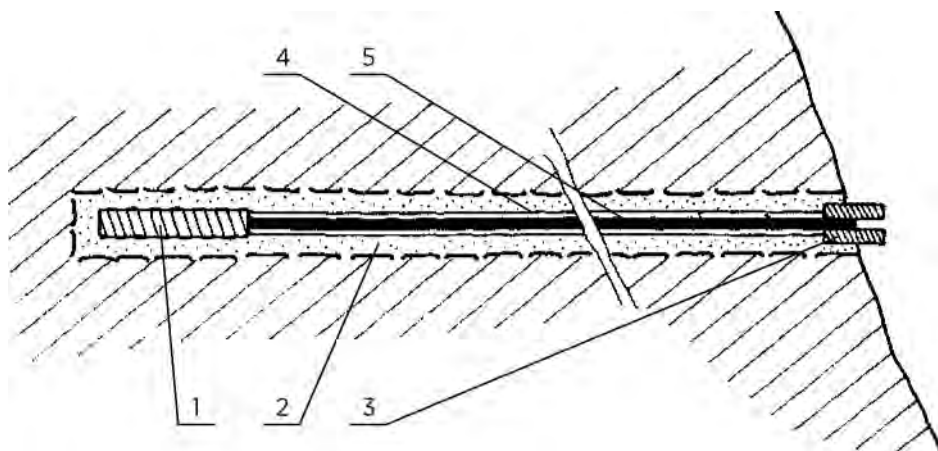


Obr. 4.5 Schéma víceúrovňového extenzometru.

1 – zhlaví s kládkami, 2 – zátěže, 3 – spojovací struna, 4 – normální kotva, 5 – základní kotva, 6 – úvodní kotva, 7 – injektážní trubka, 8 – poruchové zóny.

TYČOVÝ EXTENZOMETR

U této konstrukce extenzometru jsou struny nahrazeny sklolaminátovou tyčí. Toto řešení vylučuje problémy s korozí strun u drátového extenzometru. Zároveň není nutno předepínat kotvy, neboť se měří posuv tyče extenzometru přímo, mechanickým měřidlem. Celá sestava tyčového extenzometru je v jednom celku a umožňuje velmi jednoduchou manipulaci, zejména u osazování do vrtné není třeba používat vrtné nářadí. Tyčový extenzometr je znázorněn na obr. 4.6.



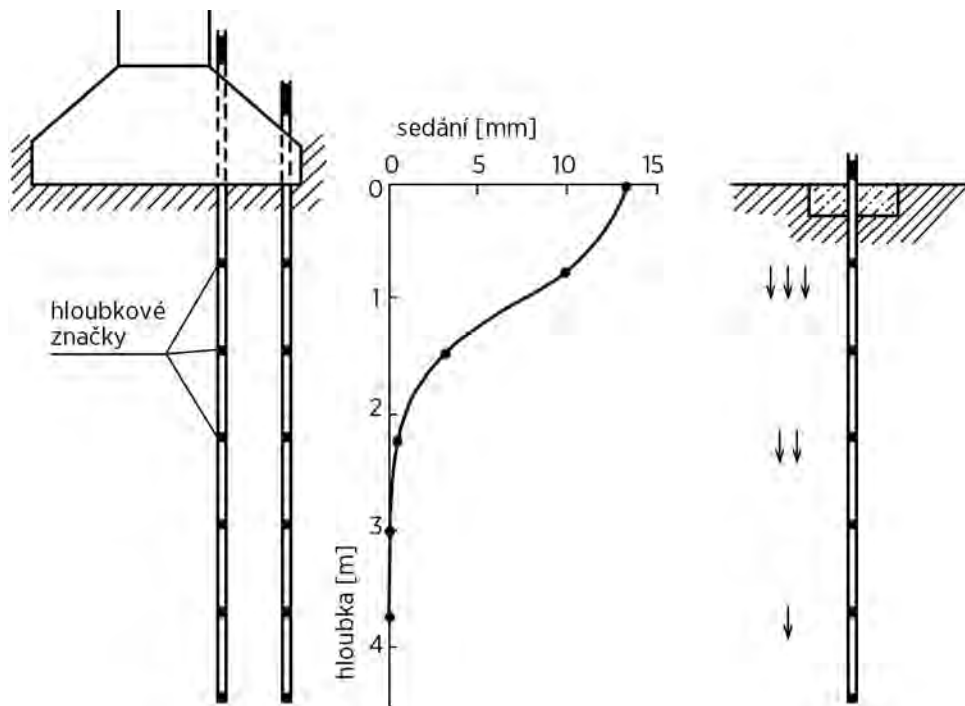
Obr. 4.6 Tyčový extenzometr.

1 - kotva, 2 - cementace, 3 - zhlaví (mechanický odečet pohybu tyče), 4 - plastový krycí kabel, 5 - laminátová tyč.

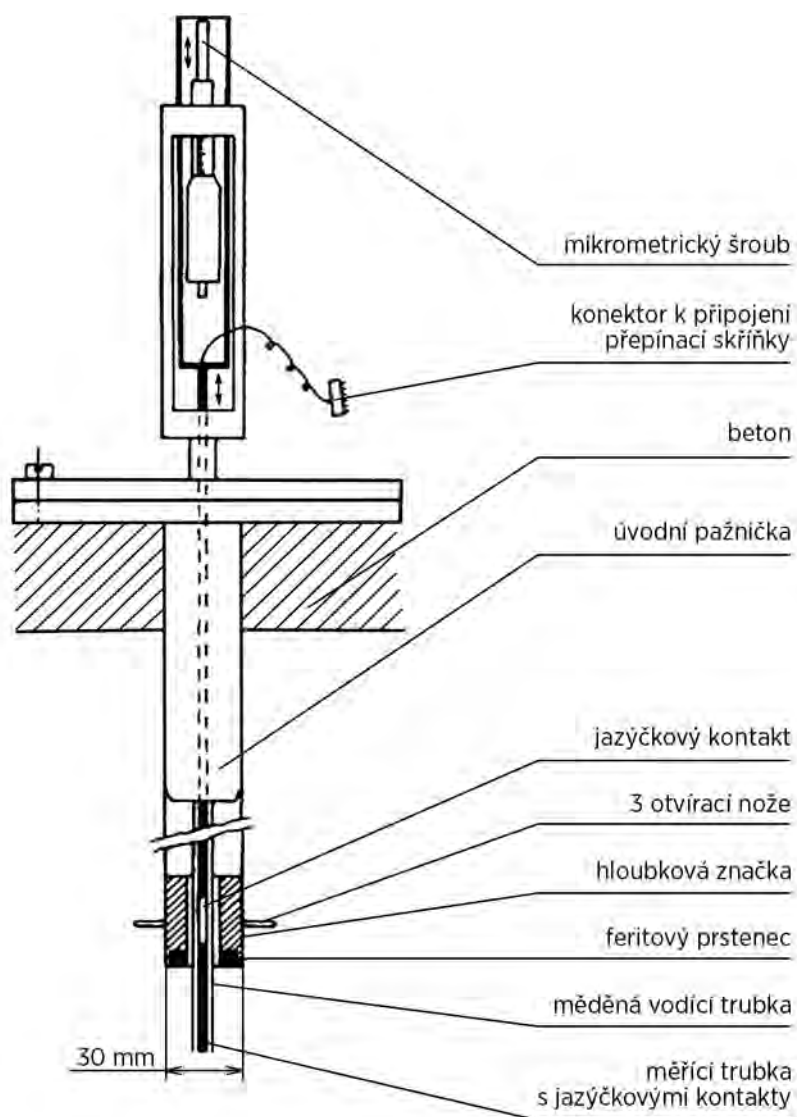
SVISLÝ EXTENZOMETR DO MALÝCH HLOUBEK

Účel měření

1. Měření sedání základové půdy v různých hloubkových úrovních (obr. 4.7) a **určení hloubky deformační zóny pod základy.**
2. Měření **svislých deformací základové půdy** vlivem smršťování vysycháním, bobtnání a kolísání hladiny podzemní vody.



Obr. 4.7 Měření svislým extenzometrem v malých hloubkách.



jazýčkový kontakt



skleněná trubička

hloubková značka



vysunovací nůž

Obr. 4.8 Schéma měřicího zařízení.

Popis zařízení a měření

Do vrtu \varnothing 30 mm se ve zvolených hloubkových distancích osadí hloubkové značky spojené speciálním způsobem se stěnou vrtu. V hloubkové značce je zabudován feritový prstenec (magnet). Ve zhlaví je trvale umístěn mikrometrický šroub a na něm je zavěšena měřicí trubka \varnothing 8 mm, v níž jsou ve zvolených distancích jazýčkové kontakty (relé).

Otáčením mikrometrického šroubu se pohybuje měřicí trubka nahoru, dolů. Jakmile jazýčkový kontakt vstoupí do magnetického pole hloubkové značky, samočinně sepne elektrický obvod. Na mikrometrickém šroubu se odečte změna hloubky značky oproti předchozímu měření. Schéma měřicího zařízení je znázorněno na obr. 4.8.

Technické parametry systému

maximální hloubka vrtu	4 m
maximální počet hloubkových značek	7
přesnost měření	$\pm 0,2$ mm
rychlost odečtu 1 vrtu cca	5 min.

SVISLÝ EXTENZOMETR DO VELKÝCH HLOUBEK

Účel měření

Zjištění průběhu stlačování základové půdy do hloubky a **zjištění hloubky deformační zóny pod základem**. Používá se pod základovými deskami, pod násypy, případně v násypech a důlních výsypkách.

Popis metody

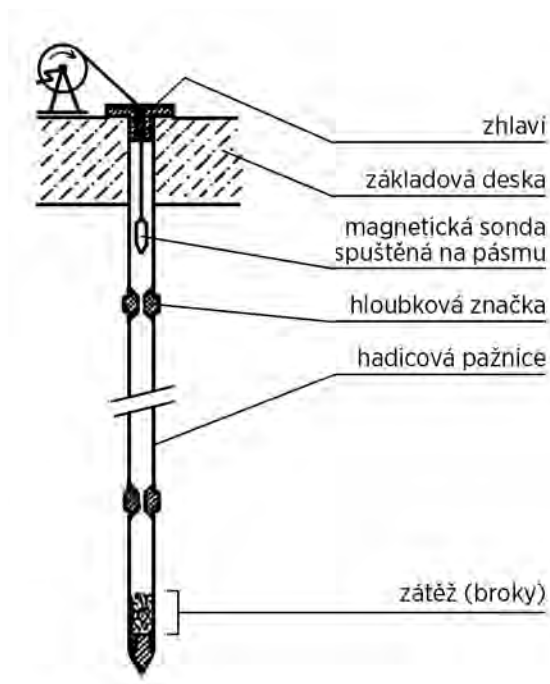
Extenzometr je tvořen libovolným počtem hloubkových značek pro měření sedání, spojených kovovou (spirálovou) hadicí, osově stlačitelnou, která slouží ve vrtu jako pažnice.

Hadice se značkami se spustí do vrtu. Je-li vrt vyplněn hustým výplachem, po zapuštění hadice se výplach vypláchne vodou.

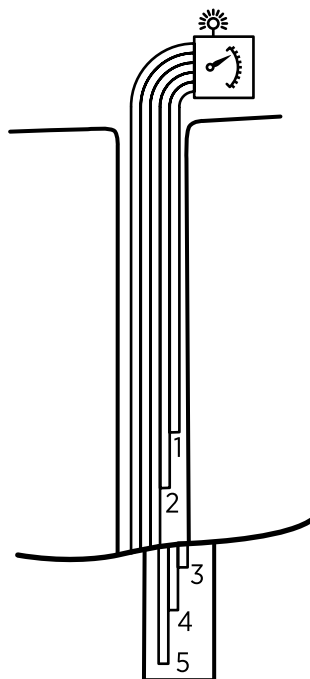
Hloubkové značky jsou duté válečky z PVC, v nichž je zabudován feritový prstenec (magnet). Na měřickém pásmu se spouští do vrtu olovnice s jazýčkovým kontaktem uvnitř. Při vstupu sondy do magnetického pole hloubkové značky se rozsvítí signální žárovka. Na měřickém pásmu se odečte hloubka značky.

Technické parametry systému

maximální hloubka vrtu	100 m
průměr vrtu	90 - 100 mm
počet hloubkových značek	libovolný
přesnost odečtu je dána přesností měřického pásma	



Obr. 4.9 Schéma svislého extenzometru pro vrty větších hloubek.



Obr. 4.10 Metoda křehkých páskových vodičů: okruhy 3 – 5 nesvítí, smyková plocha je mezi okruhy 2 a 3.

4.1.2.4 METODA KŘEHKÝCH PÁSKOVÝCH VODIČŮ

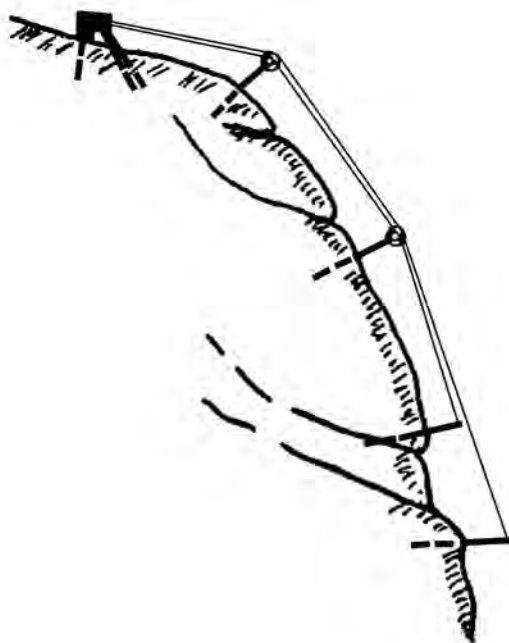
Toto měření slouží k určení hloubky, ve které došlo ke **smykovému pohybu**. K tomu se využívá vícežilový vodič, kde propojením jednotlivých žil se vytvoří soustava různě dlouhých elektrických obvodů (obr. 4.10). Délka těchto obvodů je dána geologickým profilem. Páskové vodiče mohou být zapuštěny do vrtu na vnější straně inklinometrických pažnic nebo samostatně. Po zapuštění do vrtu se vodiče zacementují. V případě **příčného pohybu podél smykové plochy dojde zároveň i k porušení elektrického obvodu dané hloubkové úrovně** a elektrických obvodů nižších hloubkových úrovní.

4.1.2.5 GEOAKUSTICKÉ MĚŘENÍ VE VRTECH

Metoda je založena na měření četnosti a intenzity zvukových emisí, které jsou vyvolány **porušováním krystalů, resp. mikrostrukturních jednotek horninového masívu**.

4.1.2.6 MĚŘENÍ PODÉLNÝCH POSUVŮ NA SVAZÍCH

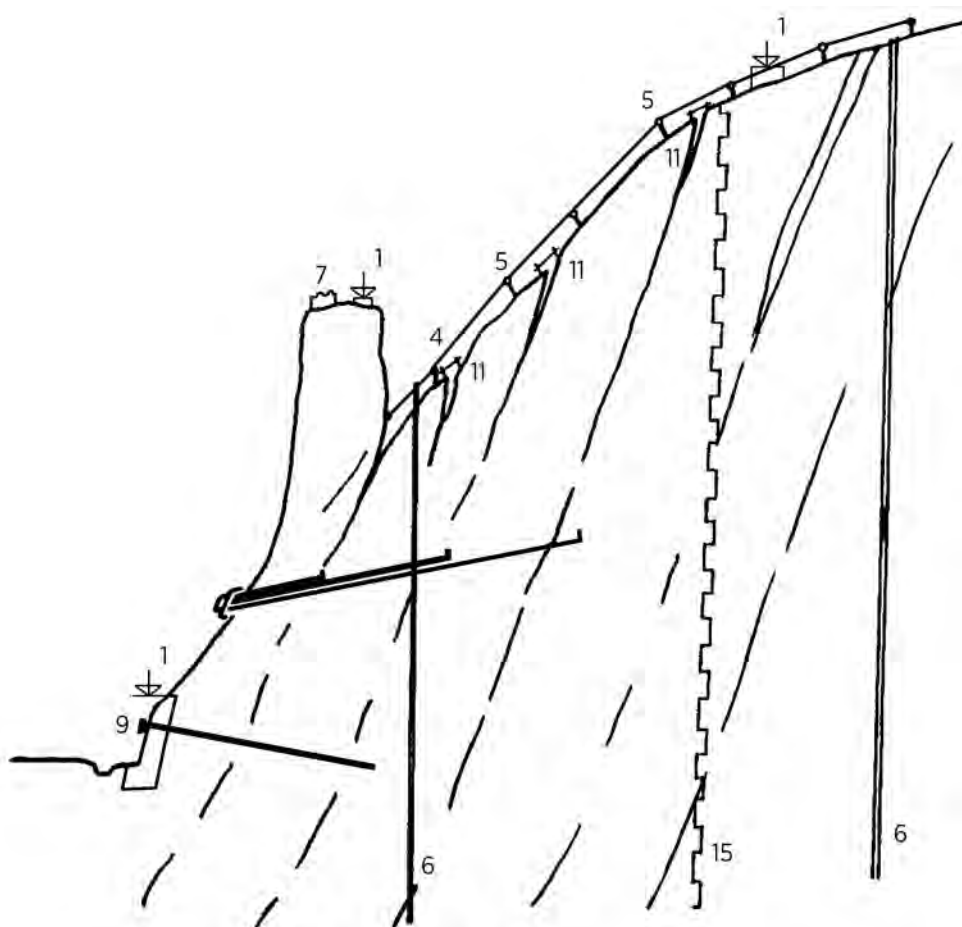
Měření se používá se pro **sledování svahových povrchových pohybů** (obr. 4.11), měření podélných deformací v důlních dílech, sledování posuvů a naklánění objektů apod. Měřicím přístrojem je **pásmové konvergenční měřidlo** např. typ Interfels typ KM-15 (výrobce INTERFELS – Salzburg, Rakousko)



Obr. 4.11 Příklad měření podélných posuvů na svazích pásmovým měřidlem Interfels.

Princip měření

Měří se **relativní délkové změny mezi body pevně osazenými do bloků na povrchu terénu** nebo podél stěny důlního díla. Měřené body jsou upraveny pro našroubování měřidla. Mezi sousedními body nesmí být žádná překážka, která by bránila natažení pásma. Pásmové měřidlo je mezi dvěma body napjato konstantní silou (pružinou zabudovanou do přístroje). Odečítání naměřených délek se provádí na setiny milimetru. Před každým měřením se přístroj cejchuje na cejchovacím rámu. Rozsah měřidla: 1,5 – 20 m, přesnost měření: $1 \cdot 10^{-5}$ měřené délky.



Obr. 4.12 Aplikace kontrolního sledování na skalních svazích.

Měřické metody (obr. 4.12)

Rozevírání jednotlivých puklin se měří **sázecím deformetrem** (4) nebo **konvergenčním měřidlem** (11). Deformace povrchu v delších úsecích je vhodné měřit **pásmovým extenzometrem**. Tak lze kontrolovat úseky o délce několika desítek metrů (5). Naklánění osamělých bloků se ověřuje **přenosným nebo stacionárním náklonoměrem** (7). Vodorovné deformace v závislosti na hloubce v nitru masívu se určují **inklinometrickou sondou** (6). V případě větších plastických deformací lze využít ke zjištění polohy smykové plochy i **pásmové křehké vodiče** (15). Systém

je účelné doplnit geodetickým polohovým měřením sítě povrchových bodů (1) a v případě zvyšování stability svahu i kontrolním měřením v předpětí kotev dynamometry (9).

Účel měření

Vysoké skalní svahy a zářezy, ve kterých bývají komunikace či jiné objekty, je velmi drahé a obtížné sanovat. Přitom je nesnadné určit **rozsah sanačních prací**. Tam, kde je podezření na možnost vzniku nestability svahu a jeho zřícení, je výhodné kontrolovat včas měřeními a sanovat jenom ty partie, které vykazují zhoršující stabilitu a ohrožují objekty pod nimi umístěné. Tak je zajištěna jak **bezpečnost, tak i ekonomický přístup k řešení problému**.

4.1.3 SONDÁŽNÍ PRÁCE

Do této skupiny patří **vrtné a zarážené sondy s výnosem horninového vzorku**. Jsou rozmístovány podle potřeby v závislosti na účelu průzkumu, morfologii a přístupnosti terénu, mocnosti, složení a zvodnění pokryvu. **Zarážené sondy** se rozdělují na:

1. ručně zarážené (trubkové) sondy,
2. vibrované sondy (ruční vrtací kladiva),
3. standardní penetrační sondování.

4.1.3.1 RUČNĚ ZARÁŽENÉ SONDY

Ručně zarážené (trubkové) sondy dosahují hloubky 1 až 2 m, s průměrem 2 až 4 cm (obr. 4.13 a 4.14), v nezpevněných sedimentech bez větších zrn (úlomků) lze získat orientační litologický profil, posoudit granulometrii, vlhkost aj. Jde o metodu nestandardní, pokud nelze jinak získat informace o zeminách.

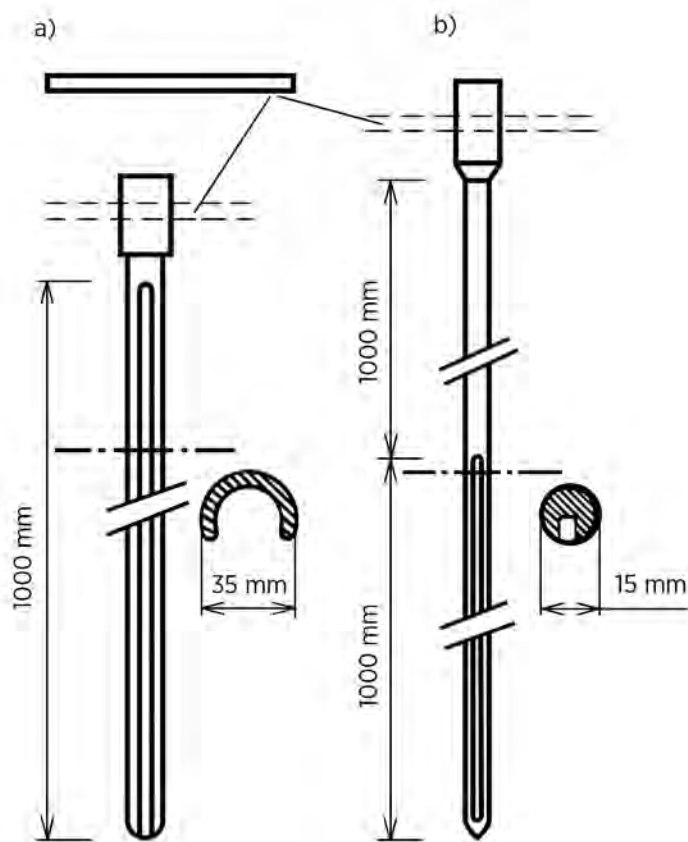
Výhodou zarážených sond jsou nízké náklady na vybavení a provedení sond a použití ve špatně dostupném terénu. **Nevýhodou** je nízká vypovídací schopnost, omezení horninovým složením zkoumaného profilu a mělký dosah. **Využití těchto sondážních prací** je při řešení úloh environmentální geologie, u mělkých a jednoduchých staveb a v nepřístupném terénu, např. při průzkumu sesuvů.

4.1.3.2 VIBROVANÉ SONDY (RUČNÍ VRTACÍ KLDIVA)

Tato metoda využívá **vibrační zarážení jádrovnice** dlouhé 0,2 až 1 m, průměru 35 až 146 mm, s podélnými výřezy či zcela uzavřené, upevněné na soutyči (obr. 4.15); vhodná je do hloubek 1 až 6 m; pro menší hloubky použitelná v zeminách mimo tvrdých jíílů a hrubých štěrků; vhodná pro stanovení litologických rozhraní a jejich korelací (doplňují jádrové vrty); vzorky mohou být vibrační ztuhlé.

Vibrované sondy nacházejí **uplatnění** v environmentální geologii, při inženýrsko - geologickém průzkumu pro mělké a jednoduché stavby, na železnicích (obr. 4.16) a v nepřístupném terénu.

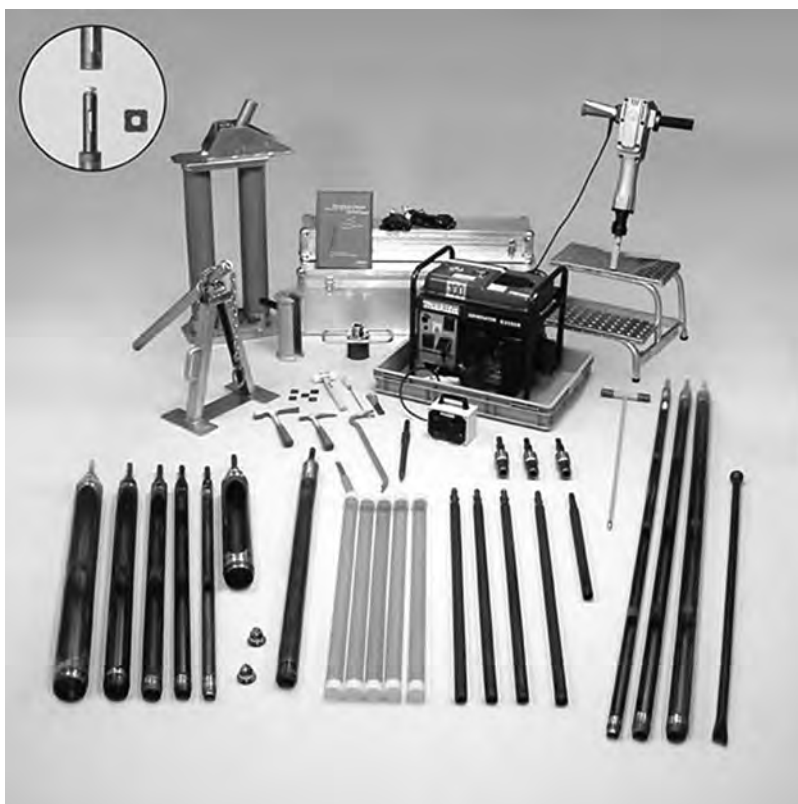
Výhodou je levné zařízení a provádění průzkumných prací v nedostupném terénu, možnost odběru relativně neporušených vzorků. **Nevýhodami** jsou nízká vypořádací schopnost a mělký dosah.



Obr. 4.13 Schéma zarážených sond.



Obr. 4.14 Vybavení pro zarážení sondy.



Obr. 4.15 Technické vybavení pro provádění vibračních sond ručními vrtacími kladivy.



Obr. 4.16 Příklad použití vibračních sond.

4.1.3.3 STANDARDNÍ PENETRAČNÍ SONDOVÁNÍ

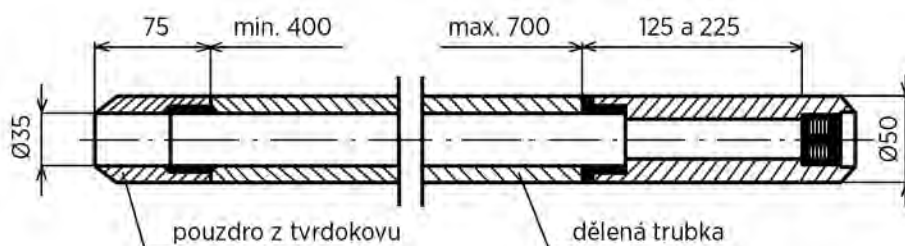
Standardní penetrační sondování provádí vibrační zařízení **jádrovnice** dlouhé 0,2 až 1m, průměru 35 až 146mm, s podélnými výřezy či zcela uzavřené, upevněné na soutyči; je možné ho použít do větších hloubek; pro menší hloubky použitelné v zeminách mimo tvrdých jíílů a hrubých šterků; vhodné pro stanovení litologických rozhraní a jejich korelaci (doplňují jádrové vrty); vzorky mohou být vibrační zhutněny (Výrobci zařízení: Geoprobe, Pagano, MBZR, Simco – obr. 4.17, 4.18).



Obr. 4.17 Vibrační souprava
fy. Geoprobe.



Obr. 4.18 Vibrační souprava
fy. Simco.



Obr. 4.19 Odběrná jádrovnice pro vzorky zeminy.

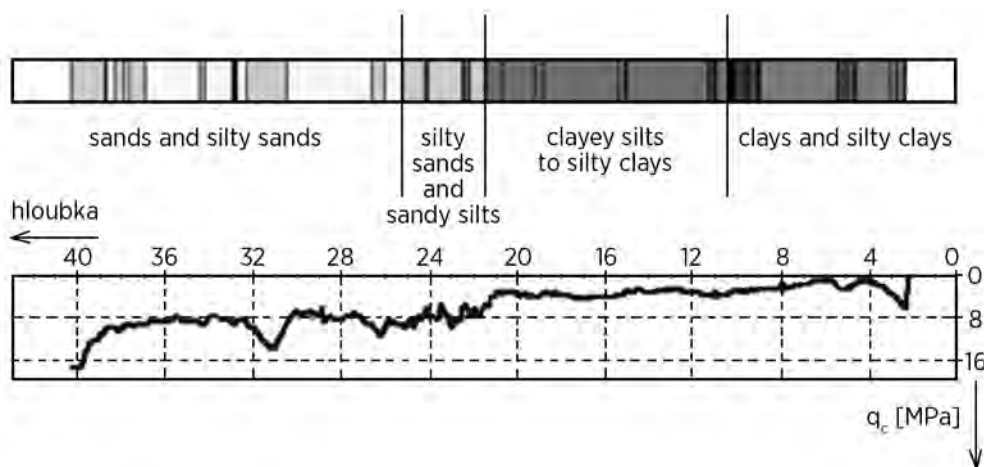
Princip metody

účelem je určení charakteristického odporu zeminy na čelbě vůči dynamické penetraci děleného odběrného přístroje (obr. 4.19) a získání vzorků zeminy.

Hmotnost beranu je 63,5 kg, výška pádu beranu na kovadlinku na horním konci soutyčí je 760 mm. Zjišťuje se **penetrační odpor N** potřebný pro zaražení odběrného přístroje o 300 mm.

Standardní penetrační sondování poskytuje dlouhodobě odvozené, ověřované a dobře korelovatelné vztahy. Na rozdíl od jiných penetračních metod (statická a dynamická penetrace) je možná **vizuální kontrola vzorků zemín**.

Výhodou je dobrá korelace výsledků, výnos vzorků zeminy a rychlost provedení. **Nevýhodou** je litologické omezení použití, zaměřené především na písky, empirické odvození parametrů a vyšší cena. Metodu lze s výhodou použít především pro jemnozrnné sedimenty a v hůře přístupném terénu. Metoda je použitelná pro zjištění deformačních parametrů. Příklad vyhodnocení získaných výsledků je na obr. 4.20.



Obr. 4.20 Příklad vyhodnocení výsledků stanovením měrného penetračního odporu (q_c).

4.2 VRTNÉ PRÁCE V GEOTECHNICE

Geotechnika je obor, který aplikuje metody mechaniky zemín, mechaniky hornin, inženýrské geologie a dalších příbuzných disciplín na **inženýrské stavby, těžbu nerostných surovin a ochranu životního prostředí**. Je charakterizovaná následujícími činnostmi:

- zjišťování fyzikálních parametrů zemín a hornin** prostřednictvím zkoušek a měření včetně navrhování vhodné metodiky zkušebních procesů a jejich vyhodnocování a to s ohledem na povahu příslušného inženýrského problému a konkrétní geologické situace;
- řešení stability přirozených i umělých svahů** v zeminách a horninách, včetně návrhu sanace sesuvů. Jde například o stanovení stabilních sklonů svahů u silnic, železnic, lomů, svahů, povrchových dolů atp. Při zabezpečení skalních svahů lze využít i kotvení;

- c. **řešení problematiky podzemních staveb** (tunelů, šachet) s uvážením i ekologických aspektů v případech, jako jsou úložiště radioaktivních odpadů, složiště popílků, uložení výsypek atd.;
- d. **posouzení dynamických účinků, jež působí na zemní i stavební konstrukce** a navrhnout opatření na jejich snížení;
- e. **stanovení mezních stavů v podzákladí staveb**, včetně návrhů vhodných způsobů uložení a příslušných výpočtů únosnosti a sedání.

4.2.1 GEOTECHNICKÉ POLNÍ ZKOUŠKY

Moderní způsoby zakládání staveb požadují získání co nejvíce číselných údajů o pevnosti a stlačitelnosti základové půdy, o její propustnosti a o pravděpodobných mezích, v nichž se budou pohybovat posuvy, zejména sedání navrhovaných objektů. Pro moderní geotechnický průzkum nestačí většinou stanovení tzv. **indexových (popisných) vlastností zemin**, které se většinou stanovují laboratorně na porušených, částečně i neporušených vzorcích. Základním požadavkem u složitějších staveb je stanovení mechanických vlastností zemin, jejichž znalost umožňuje **předvídat vztah napětí, přetvoření a času daného zemního tělesa – základové půdy**. Pro zakládání má prvořadou důležitost stlačitelnost a smyková pevnost základové půdy. Pro stanovení základních mechanických vlastností půdy se uplatňují **geotechnické zkoušky**, tj. polní zkoušky in situ, vykonané buď **ve vrtech v průběhu sondování**, nebo přímo **na zeminách v základovém tělese**.

Jedná se o následující metody:

- presiometrické zkoušky stlačitelnosti zemin a hornin,
- dilatometrické zkoušky,
- zatěžovací zkoušky lisem,
- měření napjatosti horninového masívu,
- statické a dynamické penetrační sondování,
- zatěžovací zkoušky deskou,
- vrtulkové smykové zkoušky,
- vodní tlakové zkoušky.

Ve vrtech se používají především **metody deformační** (presiometrie, zatěžovací zkoušky lisem, dilatometrie) a **metody napjatostních zkoušek** (měření triaxiální buňkou). Především první tři jmenované metody kladou velmi náročné požadavky na **kvalitu provedení vrtu a na dodržení tolerance v jeho průměru**. Sondy presiometru, dilatometru i lisu jsou velmi náchylné na některé nehomogenity ve vrtu (např. změna charakteru horniny, poruchové zóny, kaverny), které zapříčiňují jejich poškození a havárie. Proto základním požadavkem je vyloučení těchto vlivů. Před každým měřením zájmových úseků vrtu je nezbytné stanovit optimální místa pro měření geologických charakteristik, kde toto nebezpečí nehrozí.

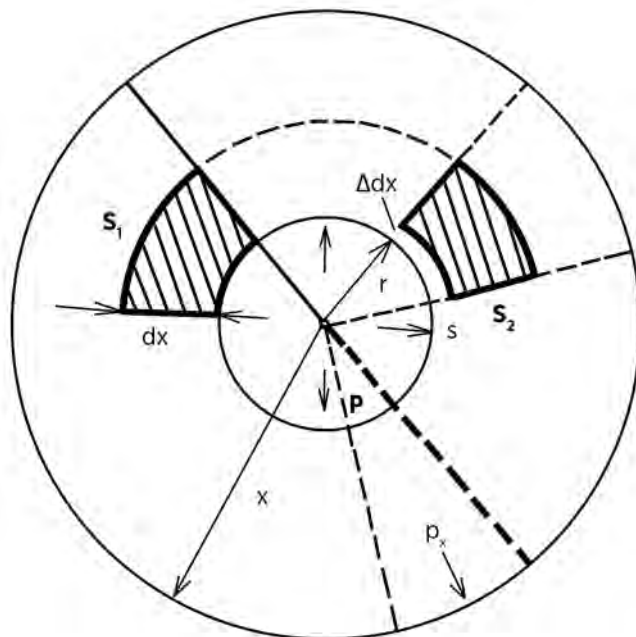
4.2.1.1 PRESIOMETRIE

Účelem presiometrické zkoušky je **měření deformace zemin a měkkých skalních hornin** vyvolané roztažením válcové ohebné membrány tlakem. Jedná se v podstatě o **zatěžovací zkoušku ve vrtu prováděnou kolmo k jeho podélné ose pomocí presiometrické sondy**.

Zkouška spočívá ve **vložení sondy, vybavené válcovou ohebnou membránou, do podloží** a to buď do předem vytvořeného vrtu nebo samozavrtáváním sondy či jejím zatlačováním. Jakmile sonda dosáhne požadované hloubky, membrána se rozpíná aplikovaným tlakem při **současném zaznamenání tlaku a roztažení** až po dosažení nejvyššího roztažení, které je dané pro příslušný přístroj. Roztažení je měřeno jako radiální posun nebo je vypočteno ze změny objemu válcové membrány (obr. 4.21).

Zkouška je použita pro **odvození pevnosti anebo deformačních parametrů základové půdy** nebo specifických **presiometrických parametrů**. Výsledky lze použít pro **odvození křivek napětí - přetvoření** (obr. 4.22) v jemnozrnných zeminách nebo měkkých skalních horninách.

$$\Delta dx = \frac{p_x}{E_x} \cdot dx \quad (4.1)$$

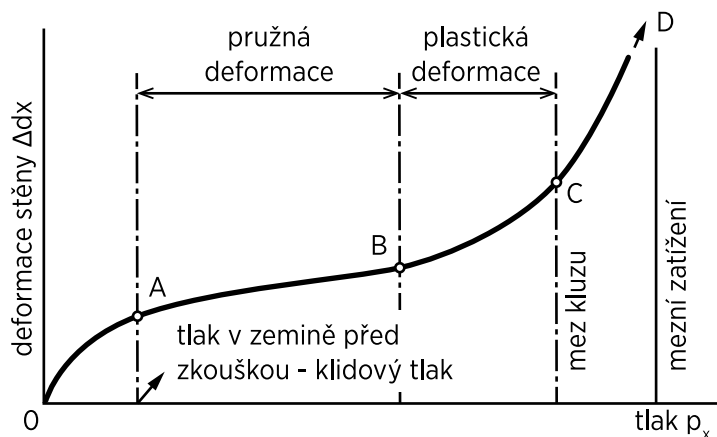


Obr. 4.21 Schematické znázornění principu metody presiometrie.

Princip metody

V nejbližším okolí vrtu je prakticky rovinné zatížení zeminy ve vodorovném směru procházejícím středem měřicí buňky (obr. 4.21):

- tlakem presiometru se zvětší původní poloměr vrtu r na $(r+s)$ a diferenciální plocha S_1 se posune a stlačí původní objem zeminy na objem reprezentovaný plochou S_2 ,
- horizontální posun soustředných kruhových ploch Δdx je přímo úměrný tlaku p_x působícímu ve vzdálenosti x od středu vrtu a nepřímo úměrný horizontálnímu modulu deformace E_x .



Obr. 4.22 Průběh deformace stěny vrtu.

Deformace na stěně vrtu prochází v čase čtyřmi oblastmi (obr. 4.22):

1. oblast 0 - A oblast narůstání tlaku do mezní hodnoty tlaku v klidu,

$$p_k = \rho_0 h n g \quad [\text{N} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (4.2)$$

kde

ρ_0 - je objemová hustota zeminy [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],

h - hloubka středu sondy pod terénem [m],

n - součinitel klidového tlaku,

g - zemské tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$].

2. oblast A - B oblast pružných deformací,

3. oblast B - C oblast plastických deformací,

4. oblast C - D zlomové pásmo.

$$E_{def,p} = 2(1+n)(v_0 + v_m) \frac{D_p}{D_v} \quad (4.3)$$

kde

v_o – základní objem středního článku prázdné sondy (nulové čtení),

v_m – objem vody natlačené do měřicí buňky středním tlakem p_m ,

D_p/D_v – směrnice přetvárného diagramu v lineární fázi,

n – Poissonovo číslo

Při navrhování zkušebního programu pro projekt musí být specifikován **typ použitého presiometru**.

Běžně jsou dostupné čtyři různé typy přístrojů:

- presiometr do předem vyhloubených vrtů (PBP), např. pružný dilatometr podle EN ISO 22476-5,
- Ménardův presiometr (MPM), specifická forma PBP, podle EN ISO 22476-4,
- samozávrtný presiometr (SBP) podle EN ISO 22476-6,
- zatlačovaný presiometr (FDP) podle EN ISO 22476-8.

Presiometry PBP a MPM jsou **zapouštěny do zkušebního vrtu**, vytvořeného speciálně pro presiometrickou zkoušku. Presiometr SBP je **zavrtáván do podloží** pomocí řezného nástroje, který je jeho nedílnou součástí, přičemž rozpojený materiál je s postupem rozpojovacího nástroje vynášen a tím se vytváří vlastní zkušební vrt. Presiometr FDP je obvykle **zatlačován do podloží** pomocí hrotu, připevněného na jeho spodní konec a tak vytváří vlastní zkušební vrt. Presiometr MPM lze v některých případech zatlačovat či zarážet do podloží. Sondy PBP, SBP a FDP mohou mít četné formy v závislosti na způsobu instalace a měřících systémech.

Základním přístrojem používaným u této metody je **presiometr Ménard**. Pracuje na **principu změny objemu kapaliny** ve střední měřicí buňce sondy, která je přímo úměrná deformacím stěn vrtu v závislosti na změnách tlaku a času.

Přístroj se skládá z vlastní **sondy, která se zapouští do vrtu** a z měřicí aparatury. Sonda je složena ze tří komor, z nichž **střední, tzv. měřicí**, je plněna pod tlakem vody, obě krajní komory plynem. Měřicí přístroj tvoří volumetrická nádoba se stupnicí po deseti cm^3 . Měřicí přístroj je se sondou spojen samostatným kabelem, který obsahuje dvě koaxiálně uspořádané trubice. Vnitřní se do sondy dopravuje voda do střední komory, mezikružím střední a vnější trubice se dostává do krajních komor plyn. Roztlačení střední měřicí buňky sondy, po vyvození radiálního tlaku na stěnu vrtu, se projeví změnou objemu vody v měřícím systému, tj. poklesem na stupnici. Ze zjištěných hodnot tlaku, objemu, konstant přístroje a Poissonova čísla zkoušené horniny je možno stanovit průměr měřicí komory sondy (při daném tlaku) a následně potom určit **presiometrický modul přetvárnosti**.

Měřicí buňka je pružný válcový vak, z něhož je vedena hadice ke zdroji tlaku. K přenesení tlaku se užívá kapaliny (voda, olej) nebo stlačeného plynu (CO_2) nebo kombinace obou. Velikost roztažení a tedy **deformace prostředí se měří bud**

nepřímo – na základě **zvětšení objemu množství vtlačené kapaliny** do buňky nebo **přímo** – **pomocí elektrických snímačů deformace**: tenzometrický nebo piezoelektrický snímač tlaku přímo v měřicí sondě.

Základním předpokladem pro použití zapouštěného presiometru je pečlivě provedený jádrový vrt, jehož průměr nepřesahuje tolerance stanovené pro jednotlivé průměry měřicích sond (\varnothing 32 mm, \varnothing 44 mm, \varnothing 58 mm, \varnothing 74 mm). Při snaze užívat u průzkumných jádrových vrtů větších profilů, kde je lepší výnos jádra, používá se nejvíce sonda \varnothing 74 mm. Tolerance na průměr vrtu je neobyčejně přísná, 76 až 80 mm. Podle zkušeností provozu je nutno k hloubení vrtu zásadně **používat vrtného \varnothing 76 mm**, protože vrty, které se svým průměrem blíží k horní toleranční hranici presiometru, nedávají, zvláště v méně kvalitních horninách, požadované výsledky. Při vysokých aktivačních tlacích sondy (4 až 8 MPa) může nedodržení tolerance průměru vrtu vést k poškození sondy. Presiometrické vrty vzhledem k dosahu sondy nebývají hlubší než 50 m.

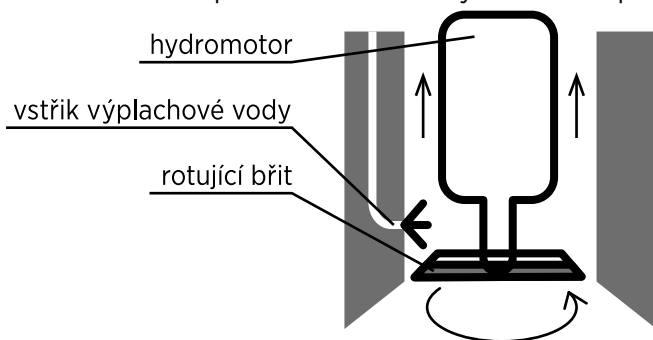
Samozávrtný presiometr (SBP) je používán zejména pro tyto účely:

- určení **stlačitelnosti zeminy v původním uložení** (ve vodorovném směru). **Stanovení modulu deformace, eventuálně modulu pružnosti**,
- určení **vodorovného geostatického napětí** působícího v hornině.

Poznámka: Metoda není vhodná pro pevné horniny a zeminy s valouny a úlomky hornin.

Pracovní postup

Presiometrická sonda se z počátku zatlačuje bez rotace do země jako odběrný přístroj na neporušené vzorky zemin. Při vrtání **rozrušuje zeminu rotující břit**, umístěný na dolním konci sondy. Výplachová kapalina vynáší rozvrtanou zeminu vnitřkem presiometrické sondy a vrtem na povrch (obr. 4.23).



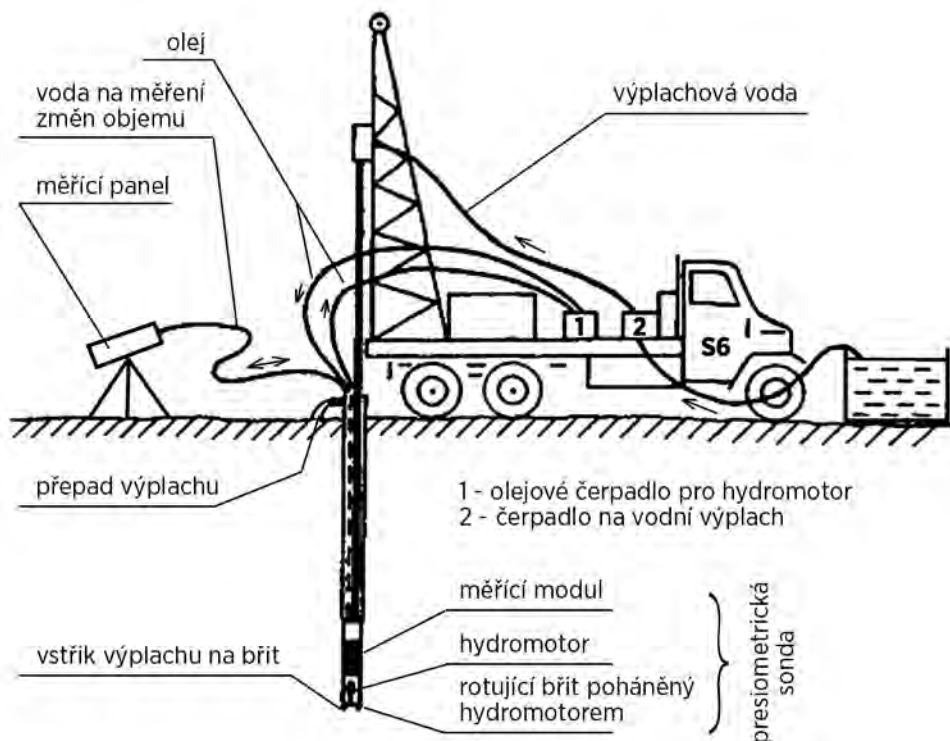
Obr. 4.23 Schéma spodní části presiometrické sondy.

Po dosažení požadované hloubky se zahájí měření. Gumový plášť měřicího modulu se roztlačuje vodou z čerpadla. Spotřebou této vody se měří změna objemu měřicího modulu a tím **stlačitelnost stěn vrtu** při různých hodnotách tlaku. Z poměru tlaku a deformace se vyhodnocuje okamžitý **modul deformace**. Geostatické napětí v zemině se zjišťuje jako tlak při nulové deformaci. Po skončení měření se pokračuje ve vrtání do příští měřicí úrovně. Vyžadují-li to podmínky ve vrtu, použije se místo vodního výplachu bentonitový výplach.

Technické parametry systému

průměr vrtu (průměr měřící sondy)	132 mm
maximální hloubka vrtu	40 m
maximální tlak presiometru	3 MPa
maximální přítlak vrtné kolony	50 kN

Výhodou použití presiometrické metody jsou kvalitní, z povrchu terénu jinak prakticky nezměřitelné a dobře korelovatelné výsledky. **Nevýhodami** jsou nároky na přesné provedení vrtu, vysoká cena a náročnost na čas, techniku a organizaci průzkumu. **Použití metody** je směřováno ke zjištění deformačních parametrů zeminy, resp. horniny in situ ve velkých hloubkách, resp. s nárůstem hloubky.



Obr. 4.24 Pracovní postup metody samozávrtného presiometru.

4.2.1.2 DILATOMETRICKÉ ZKOUŠKY

V zásadě podobné presiometrickým zkouškám jsou **dilatometrické zkoušky**. Účelem **zkoušky pružným dilatometrem je měření přetvárnosti skalních hornin** (dilatometrická zkouška skalních hornin, RDT) a **zemín** (dilatometrická zkouška zemín, SDT) na základě radiálního roztažení úseku vrtu pod rovnoměrným radiálním zatížením aplikovaným pomocí válcové dilatometrické sondy.

Zkouška se skládá z vložení sondy do vrtu a **měření radiálního rozšíření vrtu** ve zvolených časových intervalech nebo semi-spojitém způsobem při aplikaci známého radiálního tlaku v sondě. Sonda dilatometru je vybavena poddajnou membránou. Jejím prostřednictvím se vlivem tlakového oleje nebo stlačeného plynu ze sondy přenáší zatížení na stěny vrtu. **Deformace stěny vrtu se snímají třemi elektrickými čidly**, rozmístěnými v různých výškových úrovních ve vzdálenosti 75 mm od sebe a o 120° vzájemně pootočených. Změny dráhy každého čidla, které je unášeno pláštěm zatěžovací sondy, jsou odečítány samostatně. Přesnost odečtu je 0,025 mm. Např. dilatometrem typu Socossor je možno vyvodit tlak do 30 MPa, hloubkový dosah sondy je 50 m.

Ze získaných hodnot deformací a zatížení se vyhotoví pracovní diagramy. Z jejich zatěžovacích, resp. odlehčovacích větví se určí **moduly přetvárnosti a moduly pružnosti** v jednotlivých směrech.

V křehkých nebo jílovitých skalních horninách a v podrcených a hustě rozpukaných útvarech, kde je **nízký nebo nepříjemný výnos jádra** z hlediska získání reprezentativních vzorků pro laboratorní zkoušky, může být válcový dilatometr použit pro rychlou karotáž vrtů indexové povahy a pro porovnání relativní přetvárnosti jednotlivých horninových vrstev.

Příkladem měřicího zařízení pro dilatometrické zkoušky je dilatometr typu Socossor. Pro tuto zkoušku je optimálním vrtem jádrový vrt $\varnothing 101$ mm. Sonda o $\varnothing 95$ mm má snímače deformací s rozsahem 25 mm, tzn., že maximální roztlačení je až na průměr 120 mm. Přesto je použití dilatometru velice omezené právě z hlediska průměru vrtu, neboť vrtné nářadí $\varnothing 101$ mm není v ČR běžné a $\varnothing 112$ mm v méně kvalitním horninovém prostředí již nevyhovuje (vzhledem k vysokým zatěžovacím tlakům až 30 MPa).

Výhody metody lze spatřovat v získání kvalitních údajů o deformačních parametrech hornin a zemin a rychlost provedení zkoušky (oproti laboratorním podmínkám). Jako **nevýhody** lze uvést náročnost na čas, techniku a organizaci průzkumu (je-li prováděno při vrtání) a relativně vysoká cena. Metodu lze s výhodou **použít pro zjištění přetvárných parametrů hornin a zemin in situ** a to i ve větších hloubkách.



Obr. 4.25 Ukázka sestavy pružného dilatometru.

4.2.1.3 ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY LISEM

Základní **zatěžovací zkouška lisem** je prováděna ve vrtu a zkušební zařízení je složeno ze sondy, hydraulického a elektrického vedení, čerpadla s manometrem

a digitálního signalizačního přístroje. **Sonda lisu je v podstatě hydraulický lis.** Dvě zatěžovací desky mají tvar válcových segmentů délky 205 mm a šířky 54 mm. Tyto desky jsou rozpínány třemi hydraulickými válci. **Vzájemný posuv těchto desek** (tj. dráha jejich zatlačení do stěny vrtu) **je snímán dvěma indukčními snímači.** Snímače jsou instalovány na obou koncích desek. Ruční vysokotlaké čerpadlo vyvozuje tlak, jímž se tyto zatěžovací desky roztlačují. Tento tlak je při zkoušce odečítán přesným manometrem. Sonda s čerpadlem je spojena dvěma tlakovými hadicemi, které slouží jednak pro rozpínání sondy a jednak pro její stlačení na původní průměr. Elektrickým kabelem je veden signál udávající posun obou snímačů dráhy. Z pracovních diagramů lze určit hodnoty **modulu deformace ze zatěžovací větve a hodnoty modulu pružnosti z odlehčovací větve.**

Příkladem technického vybavení je zařízení zatěžovací zkoušky lisem typu Goodman. Sonda lisu, stejně jako presiometrická sonda, klade vysoké nároky na dodržení průměru vrtu. Je uzpůsobena do vrtu $\varnothing 3''$ (76 mm). Deformace je indikována snímači, které mají měřicí rozsah pouze 4 mm a proto rozmezí, ve kterém lze úspěšně provést zkoušku, je velmi malé, 76,2 mm až 78,5 mm. Rovněž zde je nutno tuto toleranci dodržet, protože při vysokých zatěžovacích tlacích až 35 MPa, by mohlo dojít k poškození sondy.

Další variantou tohoto typu zkoušky je **zkouška plochým lisem.** Účelem zkoušky je určení pevnosti a přetvárných vlastností zemin in situ pomocí rozšiřování tenké ocelové membrány, upevněné na jednom povrchu ocelové sondy, opatřené na dolním konci břitem, zatlačované svisle do zeminy (obr. 4.26).



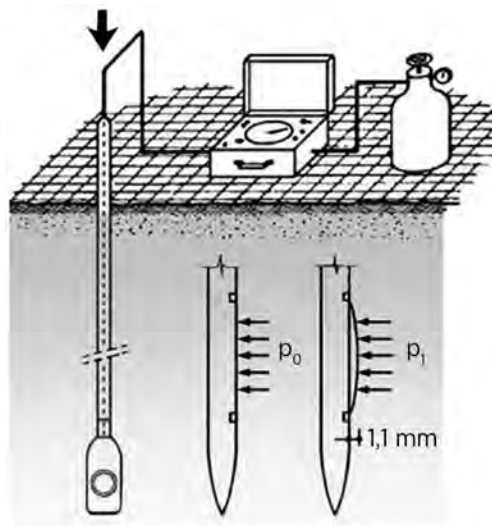
Obr. 4.26 Ocelová sonda s membránou.



Obr. 4.27 Komplet zařízení pro provedení zkoušky.
1 – sonda, 2 – přenosný kabel, 3 – měřicí přístroj.

Zkouška se skládá z měření tlaku, když membrána je v rovině ostří a právě se začíná pohybovat a dále když posun do zeminy ve středu membrány dosáhne 1,10 mm (obr. 4.28). Zkouška musí být provedena ve zvolených hloubkách nebo semi-spojitém způsobem. Výsledky zkoušek lze použít pro získání informací

o **úložních poměrech zemin, stavu napjatosti in situ, přetvárných vlastnostech a smykové pevnosti**. Zkouška má být především použita v jílech, prachových zeminách a píscích, jejichž zrna jsou malá ve srovnání s rozměry membrány.



Obr. 4.28 Schéma provedení zkoušky plochým lisem.

Předností zkoušek je získání kvalitních údajů o deformačních a smykových parametrech zemin. **Nevýhodou** je náročnost na čas, techniku a organizaci zkoušek a poměrně vysoká cena.



Obr. 4.29 Souprava pro zkoušku plochým lisem (dosah 20 m).



Obr. 4.30 Připravená sonda ke zkoušce.

4.2.1.4 MĚŘENÍ NAPJATOSTI HORNINOVÉHO MASÍVU

Stav **napjatosti horninového masívu** se u této metody určuje na základě principu expanzní tenzometrie s pomocí triaxiální buňky. Tenzor napjatosti se stanovuje ze změny deformací vrtného jádra.

Samotná **triaxiální buňka** je tvořena válcem z epoxidové pryskyřice, ve kterém je fixováno 14 odporových tenzometrů. Jejich uspořádání je dáno propočtem pro příslušné podmínky. Triaxiální buňka se zpevní a znehybní ve vrtu (používá se lepení). Po zatvrdnutí lepidla se provede proměření stavu napjatosti. Následně se buňka obvrtá větším vrtným průměrem, čímž dojde k odlehčení původní napjatosti horniny. To se projeví v **deformaci vrtného jádra i triaxiální buňky**. Porovnání této deformace s původní hodnotou deformace po fixaci buňky je podkladem pro **výpočet směru a velikosti hlavních napětí**.

Triaxiální buňky jsou používané do krátkých, maximálně 9 m hlubokých subhorizontálních vrtů. Požadovaný průměr vrtu je 36 mm. Vrt by měl být přímý, bez výrazného zakřivení. Pro obvrtání buňky je nutno použít **vrtného průměru nejméně trojnásobného** než je průměr středního vývrtu (tj. 112 mm), aby nedošlo k ovlivnění buňky vrtáním.

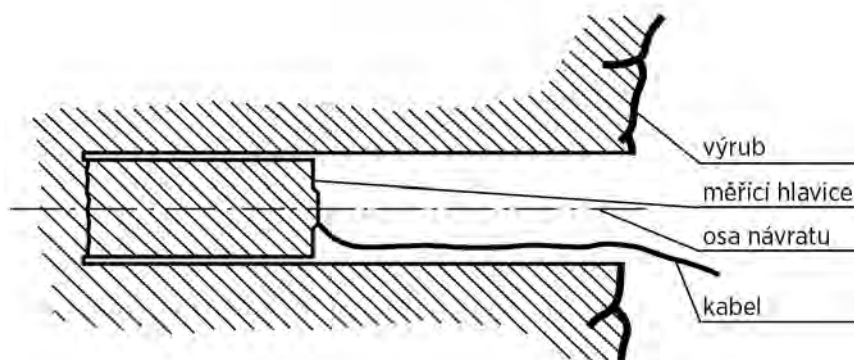
Obdobnou metodou pro měření napjatosti horninového masívu je **metoda Doorstopper**. Účelem měření je zjišťování stavu původní napjatosti skalního masívu pro návrhy inženýrských děl v podzemí, jako jsou kaverny podzemních elektráren, podzemní energetické zásobníky, tunely apod.

Princip metody

K určení stavu napjatosti se využívá principu opět **expanzní tenzometrie**. Tensor napětí se stanoví pomocí deformace vrtného jádra, které se po instalaci měřicího zařízení obvrtáním uvolní, vyjme z vrtu a podrobí měření.

Popis zkoušky

Na připravené čelo vrtu ve stanovené hloubce se nalepí měřicí hlavice s tenzometrickou růžicí a proměří se počáteční odpory. Při dalším vrtání stejného profilu se sledují deformace vzniklé odlehčením jádra. Po ustáleném čtení se jádro odlomí a vyjme. Z naměřených deformací se vypočte **tensor napětí**. Průměr vrtu je 76 mm. Tenzometrická růžice obsahuje tři tenzometry, které jsou po 45° odkloněny od sebe. Schéma této metody je na obr. 4.31.

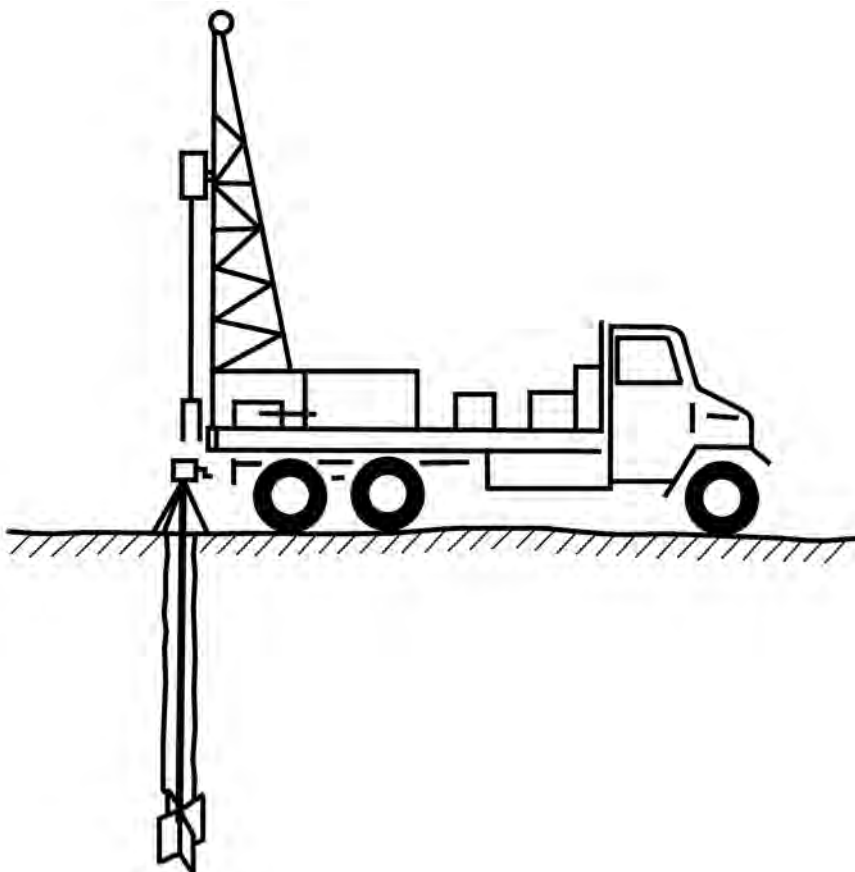


Obr. 4.31 Schematické znázornění metody Doorstopper.

4.2.1.5 TERÉNNÍ VRTULKOVÁ ZKOUŠKA

Účelem **terénní vrtulkové zkoušky** je měření **odporu proti otáčení v jemnozrnných zeminách in situ** pro stanovení jejich **neodvodněné pevnosti a senzitivity**. Slouží k určení **smykové pevnosti a únosnosti zemin** v zeminách měkké konzistence, tj. k určení vrcholové soudržnosti c_u při úhlu vnitřního tření $\varphi_u = 0$. Jako technického vybavení se na únosném terénu používá vrtná souprava v kombinaci s hloubením vrtu (viz obr. 4.32). Na neúnosném terénu se používá předvrtání ručním zeminím vrtákem, eventuálně ve velmi měkkých zeminách bez předvrtávání pouze se zatlačováním vrtulky. Vrtulka je zatlačována do zeminy a **měří se krouticí moment** potřebný k jejímu pootočení při usmyknutí zeminy. Průměry používaných vrtulek 50,8 mm a 76,2 mm (2" a 3").

Terénní vrtulková zkouška je prováděna pomocí **vrtulky obdélníkového tvaru**, sestávající ze čtyř desek, pootočených vzájemně o 90° (obr. 4.33), zaražené do zeminy na požadovanou hloubku a poté otáčené. Terénní vrtulkovou zkoušku lze také použít pro určení **neodvodněné pevnosti pevných jíílů, prachovitých zemin a glaciálních jíílů**. Spolehlivost výsledků zkoušky závisí na typu zeminy.



Obr. 4.32 Schéma provádění terénní vrtulkové zkoušky s pomocí vrtné soupravy.



Obr. 4.33 Ukázka konstrukce vrtulek, používaných k terénní vrtulkové zkoušce.



Obr. 4.34 Variantní provádění terénní vrtulkové zkoušky.

4.2.1.6 VODNÍ TLAKOVÉ ZKOUŠKY

Jedná se o **metodu posuzování mechanických vlastností hornin**. Principiálně je vodní tlaková zkouška podobná presiometrii. Sonda se skládá ze tří buněk (střední, kterou je vyvozován tlak na stěnu vrtu a okrajové opturátory, zajišťující stabilizaci a odstínění měřící buňky). Měří se velikost tlaku, který je nutno vyvodit k hydraulickému štěpení horniny. Aparatura může pracovat s tlaky až do 25 MPa.

Zkoušky se používají také pro určování propustnosti hornin pro projektování a kontrolu injektážích prací.

Souhrnně jsou požadavky na průměry vrtů pro jednotlivé metody polních zkoušek a metody sledování stability svahů uvedeny v tabulce 4.1.

Tab. 4.1 Požadavky na průměry vrtů pro jednotlivé metody.

Metoda	Průměr měřicí sondy	Průměr vrtu	Min. průměr vrtu	Max. průměr vrtu	Tolerance na průměru vrtu	Hlubkový dosah sondy	Max. tlak na stěnu vrtu	Max. rozevření sondy
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[mm]
přesná inklinometrie	—	—	93 112/129	—	—	200	—	—
drátový extenzometr	—	76	—	—	—	—	—	—
presiometr	32 44 58 74	36 46 59 76	34 52 66 80	4 6 7 4	—	—	—	—
dilatometr	724	931	793	14,5	—	50	30	120
lis	931	1138	1000	12,5	2,3	250	35	80
triaxiální buňka	—	36	—	—	—	9	—	—

4.2.2 PENETRAČNÍ SONDOVÁNÍ

Penetrační sondování je **rychlá polní metoda stanovení geotechnických vlastností zemin**. Její **výhody** jsou:

- řešení problému obtížnosti odběru neporušených vzorků zemin, zejména z hlubinných vrtů,
- zvláště při nesterorodém zeminovém prostředí,
- v případě nemožnosti důkladného prozkoumání staveniště hlubinnými vrty v krátkém čase,
- při rozšíření zakládání na pilotách ražených a předrážených (penetrační sondování zde tvoří modelovou zkoušku zarážení prefabrikované piloty).

Naopak některé **nevýhody** jsou:

- je to poměrná metoda, která vyžaduje nutnost vytvoření standardu:
 - a. pro vřáněné elementy,
 - b. pro technologické postupy,
 - c. pro technická zařízení vyvozující příslušnou sílu pro vznik penetračního elementu do zeminy,

- přináší spolehlivé výsledky jen tehdy, je-li všeobecná charakteristika zeminového prostředí známa nebo ověřená jinak.

Použití

1. doplňková metoda inženýrsko geologického průzkumu k **zahuštění základní sítě vrtů** (případně kopných prací): stanovení **rozhraní mezi vrstvami**; lepší interpolace výsledků vrtného průzkumu; vymezení míst extrémních vlastností zemin; stanovení rozhraní, překážek, dutin, hladiny spodní vody pod plánovanými objekty;
2. metoda pro kvalitativní a kvantitativní **stanovení fyzikálně mechanických vlastností zemin**: ulehlost, stlačitelnost, smykovou pevnost, modul deformace – i když poměrným – srovnávacím způsobem;
3. metoda pro **stanovení únosnosti a potřebné délky pilot** – to má největší význam – jde o modelování procesu zarážení prefabrikovaných pilot; příp. 1. fáze vytváření předrážených pilot;
4. metoda pro určení mocnosti navážek, určení **hloubky zvětralého skalního podloží a stupně zvětrání**, kontrola zhutnění násypů, šterkových polštářů ap., a určení neúnosných poloh v půdním profilu nebo **vymezení smykových zón v sesuvech**.

Používají se dvě metody penetračního sondování **podle způsobu přivodu energie** ke vřáněnému elementu:

- a. dynamické sondování – zarážení beranidlem – rázy,
- b. statické sondování – vytváření trvalého tlaku.

4.2.2.1 DYNAMICKÉ PENETRAČNÍ SONDOVÁNÍ

Princip metody je charakterizován následovně:

- penetrační sonda **zarážena beranidlem při stálé výšce pádu**, zjišťuje se hloubka vniku a počet rázů beranidla,
- jednoduchost metody – **nejrozšířenější penetrační metoda**, v různých zemích principiálně stejná – avšak má různý standard – nevýhodou je nesrovnatelnost výsledků,
- dynamickou penetrací je možno určit tzv. **penetrační odpor prostředí**. Tohoto se využívá k vymezení rozhraní geologických vrstev a určení jejich geotechnických vlastností. Metoda umožňuje určit hloubku pro zakládání pilot, kontrolu zhutnění zemin pro výstavbu, resp. těžbu apod.

Tab. 4.2 Parametry technického zařízení.

Přístroj pro dynamickou penetraci	Značka / jednotka	DPL (lehká)	DPM (střední)	DPH (těžká)	DPSH (velmi těžká)	
					DPSH-A	DPSH-B
Zarážecí zařízení						
hmotnost beranu, nového	m [kg]	10±0,1	30±0,3	50±0,5	63,5±0,5	63,5±0,5
výška pádu	h [mm]	500±10	500±10	500±10	500±10	750±20
Kovadlina						
průměr	d [mm]	50<d<D _n ^a	50<d<D _n ^a	50<d<0,5D _n ^a	50<d<0,5D _n	50<d<0,5D _n ^a
hmotnost (max.), vč. vodicí tyče	m [kg]	6	18	18	18	30
90° Kužel						
jmenovitá plocha základny	A [cm ²]	10	15	15	16	20
průměr základny, nové	D [mm]	35,7±0,3	43,7±0,3	43,7±0,3	45±0,3	50,5±0,5
průměr základny, opotřebované (min.)	[mm]	34	42	42	43	49
délka pláště	L [mm]	35,7±0,1	43,7±1	43,7±1	90,0±2 ^b	51±2
délka hrotu kužele	[mm]	17,9±0,1	21,9±0,1	21,9±0,1	22,5±0,1	25,3±0,4
max. dovolené opotřebení	[mm]	3	4	4	5	5
Zarážecí soutyčí^c						
hmotnost (max.)	m [kg/m]	3	6	6	6	8
průměr OD (max.)	d _r [mm]	22	32	32	32	35
odchylka tyče ^d						
nejnižších 5 m	%	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
zbytek	%	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Měrná práce za úder	mgh/A, E _n [kJ/m ²]	50	100	167	194	238

^{a)} průměr beranu, v případě čtvercového tvaru, se za shodný s průměrem uvažuje, menší rozměr beranu, ^{b)} pouze pro kužel na ztraceno, ^{c)} maximální délka tyče nesmí překročit 2 m, ^{d)} odchylka tyče od svislice. Poznámka: Udané tolerance jsou tolerance výrobní.

Pen V ČR se provádí dynamické penetrační sondování podle normy ČSN EN ISO 22476-2 „Geotechnický průzkum a zkoušení – Terénní zkoušky – Část 2: Dynamická penetrační zkouška“. Tato norma podle hodnoty měrné práce na úder specifikuje čtyři metody a sice:

- lehká dynamická penetrace (DPL),
- střední dynamická penetrace (DPM),
- těžká dynamická penetrace (DPH),
- velmi těžká dynamická penetrace (DPSH).

Parametry technického zařízení pro provádění jednotlivých metod dynamické penetrace uvádí tabulka 4.2.



Obr. 4.35 Zařízení pro DPL.



Obr. 4.36 Příklad provádění DPL.

Při zkoušce (v případě těžké DP) je do zeminy automaticky zaráženo soutyčí opatřené kuželovým hrotem průměru 43,7 mm, plochy 15 cm², vrcholový úhel činí 90°, k zarážení je použit beran hmotnosti 50 kg, který dopadá z výšky 0,5 m. Průměr soutyčí je 32 mm, délka jedné tyče 1 m. Na úvodní tyči je nasazen hrot s drážkou - tzv. hrot „na ztraceno“ nebo je použit hrot pevný šroubovací (obr. 4.37). Hrot „na ztraceno“ umožňuje eliminaci plášťového tření při vytahování soutyčí. Ovládání beranu je plně automatické a zabezpečuje přerušování po vniku soutyčí každých 10 cm.

Použití metody je charakterizováno touto metodikou:

- určení počtu úderů beranu N_0 pro vnik hrotu sondy o délce 10 cm,
- pak stanovení opravené hodnoty N_0 vliv tření na plášti sondy (koeficient α) a hmotnosti sondy (koeficient β) → oba ovlivňují N_0 s hloubkou,
- vynesení $N = f(H)$, kde H představuje hloubku sondy,

Pro vyhodnocení výsledků lze použít normu ČSN 731821 „**Stanovení ulehlosti jemných nesoudržných zemín, převážně písků**“. **Index měrné relativní ulehlosti zeminy** je stanoven podle vztahu

$$I_d = \frac{e_{max} - e_n}{e_{max} - e_{min}} \quad (4.4)$$

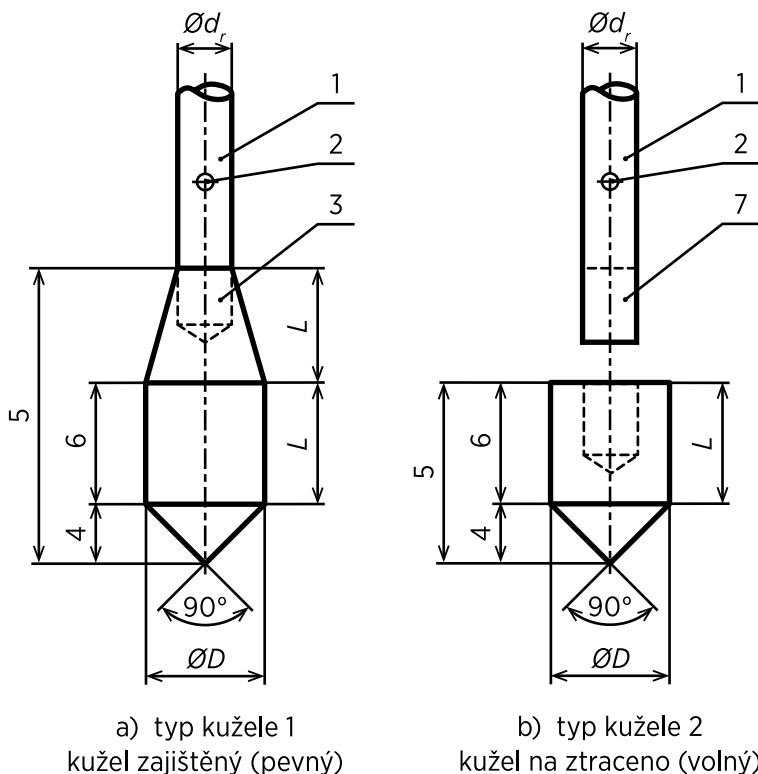
kde

e_n - číslo pórovitosti zeminy v přirozeném uložení,

e_{max} - číslo pórovitosti zeminy při nejvolnějším uložení zrn,

e_{min} - číslo pórovitosti zeminy při nejtěsnějším uložení zrn.

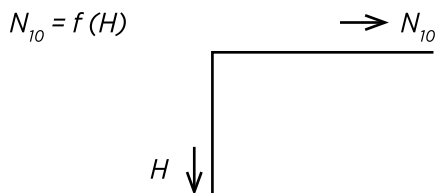
Norma definuje podle N **ulehlost zeminy** v 5 stupních.



Obr. 4.37 Typy používaných kuželových hrotů při dynamickém sondování.

1 - nástavná tyč, 2 - vstřikovací otvor (volitelné), 3 - závitové připojení, 4 - vrchol kužele, 5 - lužel, 6 - plášť, 7 - zásuvné připojení, L - délka pláště, D - průměr základny, d_r - průměr tyče.

Frekvence úderů je 15 - 30 úderů/min, počet úderů N_{10} na 10 cm vniku. Grafické znázornění je následující:



Místo N_{10} lze také vynášet A - kinetická energie, vztažená na jednotku stlačeného prostoru (Nm/cm^3)

$$A = N_{10} \frac{Fh}{S} \quad [1/m \cdot Nm/m^2 = Nm/m^3] \quad (4.5)$$

kde

N_{10} – počet úderů na 10 cm (0,1m) vnik [m^{-1}]

F – síla vyvozená hmotou beranidla [N]

h – výška pádu beranidla [m]

S – plocha hrotu [m^2].



Obr. 4.38 Ukázka soupravy pro těžkou dynamickou penetraci.



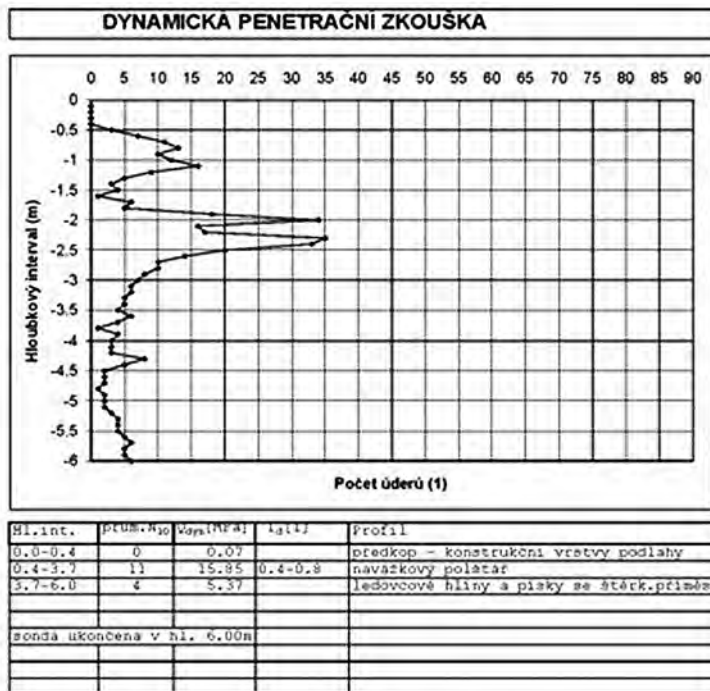
Obr. 4.39 Ukázka další konstrukce soupravy pro těžkou dynamickou penetraci.

Dynamické penetrační sondování je po vrtání patrně nejrozšířenější průzkumná metoda. **Výhody** lze specifikovat následovně: nižší náklady než vrtné práce, rychlost provedení zkoušky i v hůře dostupném terénu, velmi účinná metoda v kombinaci s ostatními průzkumnými metodami. Jako nevýhody lze uvést: obtížnější interpretace, nutné zkušenosti při provádění zkoušky, litologické omezení aplikace a empirické odvození výsledných parametrů.

Využití metody lze spatřovat ve zlevnění průzkumu, zjištění ulehlosti a zhutnění zemin, zjištění deformačních parametrů, ověření podložních hornin, použitelnost v nepřístupném terénu, např. při průzkumu sesuvných oblastí. Metody lze s výhodou použít při průzkumu na železnici.

K-GEO s.r.o. Ostrava

Akce: Ostrava - Poruba, areál FNO, vstupní objekt
 Zakázkové číslo: 2 009 051
 Číslo sondy: DPS-1
 Hloubka předkopu: 0.40m
 Místo: interiéru vstupního objektu - hala
 Datum: 18.5.2009



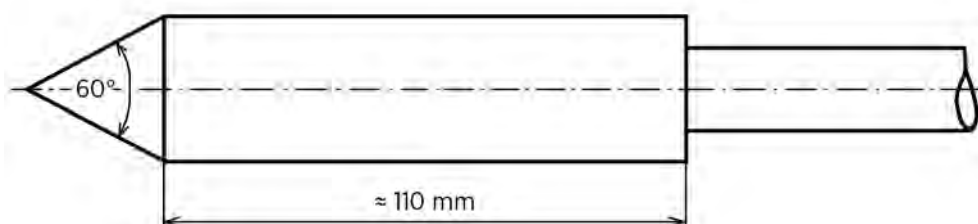
Vysvětlivky:
 Hl.int. - interpretovaný hlubkový interval
 prům.N₃₀ - průměrný počet úderů
 Q_{dyn}[MPa] - průměrný dynamický odpor na hrot
 I_a[1] - relativní ulehlost
 Profil - interpretovaná geologická vrstva

Obr. 4.40 Příklad vyhodnocení údajů z dynamické penetrační zkoušky.

4.2.2.2 STATICKÉ PENETRAČNÍ SONDOVÁNÍ

Metoda má tuto charakteristiku:

- penetrační sonda je **tlačena statickou silou stálou rychlostí** do zeminy,
- zaznamenává se celkový **odpor proti vniku a odpor proti vnikání hrotu**,
- není příliš rozšířená pro složité zařízení,
- musí být zajištěno protiváhou – nejčastěji pomocí kotvení,
- sonda (hrot průměru 35,6 mm) s elektrickým snímáním odporu na špici a snímáním plášťového tření je zatlačována konstantní silou do prostředí (zeminy). Tato síla se vyvozuje závažím nebo hydraulickým válcem.



Obr. 4.41 Ukázka hrotu penetrační sondy pro statickou penetraci.

Ustálená konstrukce penetračního hrotu dle normy DIN 4094 je na obr. 4.41, další technické parametry jsou:

- vrtné trubky: \varnothing 32 mm, délka 1 m;
- vlastní hrot: \varnothing hrotu 35,6 mm; vrcholový úhel 60°; délka 110 m; plocha 10 cm²;
- rychlost zahlubování: 0,2 – 0,4 m/min.

Vyhodnocení výsledků:

$$P = f(H)$$

→ P_h [N·m⁻²] měrný odpor na hrotě



Jestliže je u této sondy měřeno **plášťové tření a současně odpor na hrotě**, musí mít soutyčí stejný průměr jako kuželový hrot. Nejspolehlivější je měření plášťového tření na vloženém mezikusu délky 80 cm nad kuželovým hrotem, který tak vytváří povrchovou plochu tření 1 000 cm².

Metoda je používána k těmto účelům:

- měření **tlakového odporu proti zatláčení** sondy F ,
- měření **tlakového odporu na hrotu** – vnitřní výsuvná tyč s hrotem – vysouvá se a zjišťuje se odpor zeminy proti pronikání kuželového hrotu.

$$F = F_h + F_p \quad (4.6)$$

kde

F_h - odpor na hrotu [N]

F_p - odpor na plášti [N]

F - celkový odpor [N]

pak

$$F_p = F - F_h \quad (4.7)$$

$$P_h = \frac{F_h}{S_1} \quad (4.8)$$

kde

P_h - měrný odpor na hrotu [N/m²]

S_1 - plocha hrotu [m²]

$$P_p = \frac{F_p}{S_2} \quad (4.9)$$

kde

P_p - měrný odpor na plášti [N/m²]

S_2 - plocha plášťového tření [m²]

$$S_2 = \pi dl \quad [\text{m}^2] \quad (4.10)$$

kde

d - průměr trubky [m]

l - účinná délka pláště trubky [m]

Stále se měří **celkový odpor F** a periodicky se vysouvá hrot a měří se **odpor na hrotu F_h** (u některých zařízení je automatizováno a registrováno – švédské konstrukce).

Variantou statického penetračního sondování je **tíhové penetrační sondování (WST) – švédská váhová zkouška**. Účelem této zkoušky je určení **odporu zemin in situ vůči statické anebo rotační penetraci hrotu šroubovitého tvaru**. Tíhová penetrační zkouška je prováděna jako statické sondování v měkkých zeminách, pokud je penetrační odpor nižší než 1 kN. V případě, že odpor přesahuje 1 kN, musí být **penetračním sutyčím otáčeno** a je zaznamenáván **počet půlotáček k dosažení dané hloubky penetrace**. Provádí se souvislý záznam s hloubkou, ale nejsou získány žádné vzorky zeminy.

Tíhová penetrační zkouška má být použita **pro získání spojitého profilu zemin a indikaci vrstevního sledu**. Penetrovatelnost je dobrá dokonce i v pevných jílech a ulehých píscích. Zkoušku lze použít také pro odhad ulehlosti hrubozrnných zemin.

Penetrační zařízení pro tíhovou penetrační zkoušku používá sondovací soutyčí průměru 22mm a **speciální spirálový hrot** průměru 35mm. K vybavení patří souprava závaží, která umožní používat normované série zatížení o hmotnosti 5, 10, 15, 25, 50, 75 a 100 kg. Zkouška se provádí od povrchu terénu tak, že se soutyčí, opatřené spirálovým penetračním hrotem, postupně zatěžuje normovaným závažím. Přidáním, resp. odebráním závaží se zajišťuje **rychlost penetrace 2 až 5 cm/s**. Když soutyčí neklesá při maximálním zatížení nebo rychlost penetrace je menší než udávána při daném zatížení, přistoupí se k otáčení soutyčí. Když je nutné soutyčím otáčet, zaznamenává se počet půlotáček potřebných na průnik do hloubky o 20 cm.

Využití metody je zejména v jemnozrnných sedimentech, dále pro zjištění smykových a deformačních parametrů a také v podmínkách nepřístupného terénu.

4.2.2.3 TECHNIKA PRO PENETRAČNÍ SONDOVÁNÍ

Hlavní zásady konstrukce zařízení pro penetrační sondování jsou:

- jedná se o jednoduché technické práce,
- lze je provádět i manuálně – zvláště pro lehkou dynamickou penetraci.

Klasickým **penetračním zařízením jsou penetrační soupravy fy. BORROS – Švédsko**. Je to specializovaná společnost na výrobu zařízení pro statickou a dynamickou penetraci a odběr vzorků v různých druzích zemin.

Jako příklad je uvedena **technická charakteristika soupravy pro těžkou dynamickou penetraci**:

- základem je **trojnožka** – opatřená dvoukolovým podvozkem – je mobilní,
- jedna noha – rámová kostra pro umístění **motoru**,
- ten slouží k pohonu **vrátku**,
- na laně upevněna **zvedací hlava beranidla**,
- má dvě čelisti pro zvedání **beranu**,
- po spuštění zapadnou čelisti do beranu, zvednou ho a po najetí na zarážku automaticky uvolní beran – ten pak padá stále ze stejné výšky,
- **2 hydraulické válce** – těžení penetračních trubek – obrácení směru tlaku – zatlačení do vrtu,
- **2 typy souprav**
 - s motorem SACHS 5 kW,
 - s motorem SACHS 7,7 kW.

Zařízení pro statickou penetraci: pro statickou penetraci písků, náplavových zemin, jílu:

- je opatřeno elektrickým registračním zařízením – záznam pohybu 1mm hrotu sondy při rozdílu tlaku 10 kN,

- vtlačovaná sonda hermeticky uzavřena proti znečištění,
- pro zahlubování je použit klikový zahlubovač – opačný klikový zvedák. Tato konstrukce umožňuje ruční zahlubování do 40 kN - pro větší sílu – **hydraulický přítlačný agregát** (součást zařízení pro dynamickou penetraci) – do 200 kN.

Přídavné zařízení: – motorová rotační jednotka – pro statickou penetraci, kde je nutné pootáčení penetračních trubek – otáčky redukovány na 10–30 ot/min.:

- průchozí středový otvor s upínacími čelistmi,
- přítlak ručně dvěma muži na prodloužených držadlech - regulován pomocí dynamometru na hodnotě 1 kN,
- možno použít i talířový nebo spirálový vrták pro odběr vzorků.

4.2.3 ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY DESKOU

Zatěžovací zkoušky s kruhovou deskou lze rozdělit podle přívodu energie na:

1. statické zatěžovací zkoušky,
2. dynamické zatěžovací zkoušky.

Podle umístění kruhové zatěžovací desky je možné zatěžovací zkoušky rozdělit na:

- a. zatěžovací zkoušky prováděné na povrchu,
- b. zatěžovací zkoušky prováděné ve vrtu.

4.2.3.1 STATICKÁ ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKA KRUHOVOU DESKOU

Účelem zatěžovací zkoušky deskou je určení **svislé deformace a pevnostních vlastností zemního a skalního masivu** in situ zaznamenáváním zatížení a odpovídajícího sedání při zatěžování podloží tuhou deskou, modelující **zatížení základové půdy základem stavby**. Zkouška musí být provedena na neporušeném **povrchu základové** půdy nebo dna výkopu v určité hloubce nebo dna velkopřůměrové piloty, šachtice nebo **vrtu**. Zkouška se používá ve všech zeminách, násypech a skalních horninách, avšak nemá být použita ve velmi jemné jemnozrnné zemině. Zkouška se provádí podle normy EN ISO 22476-13. Průměr zatěžovací desky je obvykle 300 mm.

Použití metody

- přibližné zjištění **únosnosti základové půdy**,
- přibližné zjištění **ulehlosti násypových zemin** či drobného kameniva,
- u málo stlačitelných zemin a poloskalních hornin (s lineárně pružným chováním) zjištění **modulu deformace a modulu pružnosti**,
- v kombinaci s následně provedeným stanovením objemové hmotnosti

pod deskou: **prognóza objemové hmotnosti** neuhrazené sypaniny v různých hloubkách pod jejím povrchem,

- stanovení únosnosti podkladních vrstev a podloží vozovek,
- kontrola zhutnění sypanin.

Postup provedení zkoušky

- Zemina se zatlačuje po jednotlivých zatěžovacích stupních a vynesou se graf závislosti „zatížení - zatlačení“,
- na každém zatěžovacím stupni se udržuje zatížení tak dlouho, až se zatlačení ustálí (když je změna zatlačení během 3 minut menší než 0,05 mm),
- celkové požadované zatlačení by mělo být 1,5 násobek kritického zatlačení (2 - 3 mm).

Další varianty zatěžovacích zkoušek zemin využívají různá technická zařízení jako například:

- a. **zatěžovací stůl** postavený přímo na desku - zatěžovací cihly, cement, betonové bloky,
- b. **zatěžovací most** z válcovaných ocelových nosníků zakotvených do zeminy kotvami - tlak vyvozovaný hydraulicky,
- c. **zatěžovací deska** je přitěžována lisem, opřeným o podvozek plně naloženého nákladního automobilu nebo stavebního stoje (obr. 4.42 a 4.43).



Obr. 4.42 Ukázka provádění zatěžovací zkoušky deskou na povrchu.



Obr. 4.43 Ukázka uspořádání měřicího zařízení při zatěžovací zkoušce kruhovou deskou.

Základní požadavky na správné provedení zatěžovacích zkoušek:

- povrch terénu v okolí zkoušky musí být přibližně vodorovný a neporušený,
- pod zatěžovací deskou, dostatečně tuhou a nepoddajnou, musí být mocnost prověřované vrstvy rovna minimálně 2 průměrům desky,
- zatížení na desku má plynule vzrůstat a sedání měřit až po jeho ustálení,
- u hrubozrnných zemin (šterky) průměr desky se má rovnat šestinásobku průměru největšího zrna.

Vyhodnocení zkoušky je zaměřeno na stanovení **statického modulu deformace zeminy**, vzorec je platný zejména pro malé deformace

$$E_0 = \frac{\pi r q (1 - \mu^2)}{w} \quad [\text{N} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (4.11)$$

kde

E_0 – statický modul deformace (přetvárnosti) zeminy,

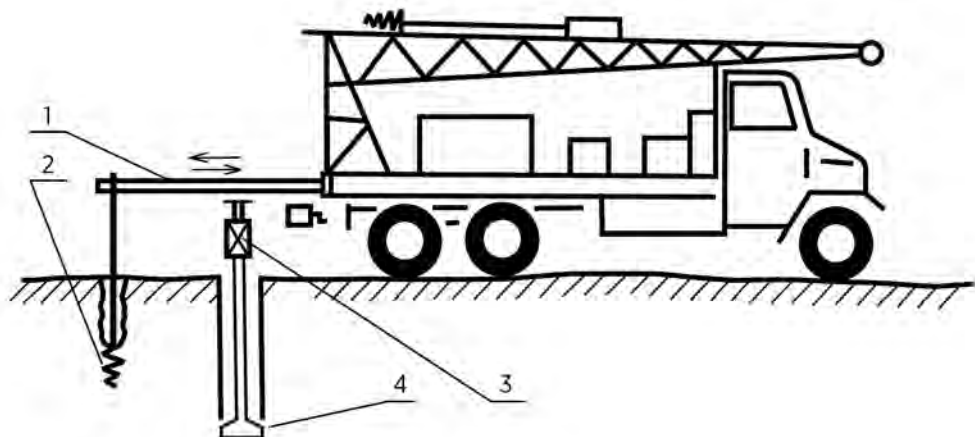
r – poloměr zatěžovací desky,

q – měrné zatížení desky,

w – část deformace, odpovídající měrnému zatížení,

μ – Poissonovo číslo.

Základní zkouškou pro **provádění zkoušky ve vrtu** je zatěžovací zkouška deskou o ploše 1000 cm². Zkouška se provádí na dně vrtů o průměru 360 mm. Měří se vertikální posun zatlačení desky při určitém zatížení. Schéma provedení zkoušky je na obr. 4.44.



Obr. 4.44 Schéma metody zatěžovací zkoušky deskou.

1 - hydraulický výsuvný nosník, 2 - kotva, 3 - lis, 4 - zatěžovací deska.

Způsob provedení

Ze zádní části vrtné soupravy je vysunut nosník, který se na konci zakotví zavrtáním spirálové kotvy. Proveďte se popis zeminy vytěžen z vrtu a odebere se z ní vzorek. O nosník se vzepře zatěžovací hydraulický lis. Průměr zatěžovací desky je 35,7 cm.

Výhodou metody statické zatěžovací zkoušky deskou je, že výsledky měření jsou k dispozici ihned po zkoušce a jsou to kvalitní, korelovatelné a jednoznačné výsledky. Určité **nevýhody zkoušky** jsou časová náročnost, náročnost na prostor, techniku a organizaci výstavby, relativně vysoká cena a malý hloubkový dosah.

4.2.3.2 DYNAMICKÁ (RÁZOVÁ) ZATĚŽOVACÍ

ZKOUŠKA KRUHOVOU DESKOU

Zařízení pro provádění **lehké zatěžovací zkoušky kruhovou deskou LDD100** je určeno pro automatizovanou kontrolu dynamické **únosnosti zhuťovaných sypanin**. Umožňuje měření podle ČSN 72 1006, odkazující na zařízení skupin B a C podle ČSN 73 6192 - **lehká dynamická deska**. Vzhledem k rychlosti vyhodnocení a malým rozměrům má **široký rozsah použití od zásypů při výkopových pracích v intravilánu měst po výstavbu dálničních komunikací** (obr. 4.45). Využití rázovou zkoušku je možno často i v místech, kde klasickou statickou zatěžovací zkoušku provést nelze, např. ve stísněných prostorech a výkopech, kde není možné používat velkou a hmotnou protizátěž.

Popis zařízení

Princip měření pomocí LDD100 je založen na vybuzení **rázového silového impulsu** definované velikosti a délky, pádem závaží dané hmotnosti z dané výšky přes tlumicí systém na zatěžovací desku, ležící na povrchu měřené vrstvy. Tento **silový impuls vyvolá zatlačení desky** do sypaniny. Časový průběh zatlačování je

snímán snímačem a ukládán do paměti měřící jednotky. Po provedení tří rázů je vyhodnocena průměrná hodnota velikosti zatlačení. Z této hodnoty a z definované hodnoty velikosti silového impulsu je určen tzv. **dynamický modul deformace E_{vd}** . Pro snímání zatlačení je použit akcelerometr a průběh zrychlení je vzorkován, digitalizován a převeden na průběh výchylky dvojí numerickou integrací s korekcí (Simpson rule) v měřící jednotce. Tento postup zaručuje vysokou teplotní a časovou stabilitu měření.

Měřící a řídicí mikropočítačová jednotka kontroluje parametry rázu a vylučuje chybné rázy (vyvolané např. nesprávnou manipulací s rázovým zařízením). Průběh zkoušky a její vyhodnocení včetně grafického záznamu zatlačení lze tisknout na miniaturní tiskárně. Všechny prováděné zkoušky včetně výsledků a rovněž grafického záznamu průběhu zatlačení lze ukládat do zálohované paměti.

Zatěžovací systém je tvořen **zatěžovací deskou a rázovým zařízením** (obr. 4.45). Zatěžovací deska je vyrobena z oceli, je osazena ocelovou pozinkovanou hlavicí s vestavěným snímačem zrychlení. Rázové zařízení tvoří tyč z pevnostní oceli, opatřená na spodním konci pružinovým tlumícím systémem a na horním konci madlem s páčkou pro aretaci závaží v horní poloze. Tlumící systém používá sadu talířových pružin pro **vytvarování žádaného silového pulsu** a je doplněn o válcovou hlavici pro usazení tyče na hlavicí zatěžovací desky. Po tyči se kluzně pohybuje rázové závaží z pozinkované oceli.

Technické parametry systému

hmotnost desky	15 kg
hmotnost závaží	10 kg
pádová výška	~ 750 mm
rozsah měření zatlačení	0,1 až 10 mm
rozlišení	0,001 mm
chyba	max. \pm 4 %
rozsah měření E_{vd}	2 až 220 MPa
provozní teplota	0 až 45 °C

Dynamická zatěžovací zkouška lehkou dynamickou deskou se používá zejména při kontrolách **kvality zemních prací na liniových stavbách**, násypech, zásypech a obsypech kanalizací, zpětných zásypech, zlepšených zeminách apod. Díky nízké hmotnosti a snadné manipulaci je vhodná do míst, kde není možno provádět statickou zatěžovací zkoušku (např. přechodové oblasti mostů, zásypy kolem pilířů, nepřístupnost pro protizátěž apod.). Nízká cena zkoušky a rychlost umožňuje její použití např. při **vymezení míst pro statické zatěžovací zkoušky a redukcii počtu prováděných statických zatěžovacích zkoušek**.

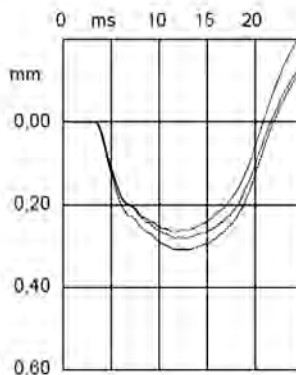


Obr. 4.45 Provádění lehké zatěžovací zkoušky kruhovou deskou

Vyhodnocení rázové zatěžovací zkoušky

Začátek měření	15.09.08 15:04
Číslo zkoušky:	LRZ-1
Typ zařízení	LDD100 v.č. 187
Poissonovo číslo:	0,25
Stavba:	BONATRANS GROUP, a.s., Bohumín - objekt tlukárny
Místo:	povrch hutněného násypu
Staničení:	
Vzdál. od osy:	
Zemina:	Y/G3
Konstr. vrstva:	struska hutněná na položené geotextilii
Počasí:	zkoušky proběhly v hale
Jméno:	Ing. Dostalík, RNDr. Košář
Pozn.:	

1. ráz	0,311	mm
2. ráz	0,268	mm
3. ráz	0,282	mm
<hr/>		
středí vých	0,287	mm
Mvd	77,0	MPa



Obr. 4.46 Příklad vyhodnocení dynamické zatěžovací zkoušky.

Metoda je vhodná pro **nesoudržné zeminy** (písky, šterky) zrnitostní frakce do 63 mm. Dále se používá při kontrole hutnění u vápnem zlepšených zemin. Použití rázové zatěžovací zkoušky lehkou dynamickou deskou **není možno považovat za náhradu statické zatěžovací zkoušky**. Jako její vhodný doplněk umožňuje zkvalitnit rozhodovací proces pro použití statické zatěžovací zkoušky, zredukovat celkový počet prováděných statických zatěžovacích zkoušek a celkově zrychlit proces kontroly kvality zemních prací.

Výhody metody

- výsledky měření k dispozici ihned po zkoušce,
- rychlost zkoušky, nízká cena, úspora času,
- nenáročnost na čas, techniku a organizaci výstavby,
- nízká hmotnost, snadná manipulace,
- možnost měření v obtížně přístupných místech.

Nevýhodou metody je obtížná korelace se statickými zkouškami při samostatném provedení.

Literatura

Kovář Luděk: Technické průzkumné práce, přednášky pro denní a dálkové studium, VŠB – TU Ostrava 2010.

Krepelka František, Gejza Záhoranský a kol.: Tunely, Ediční středisko/AMS, F BERG, TU v Košiciach, vydanie 1., Košice 2006. ISBN 80-8073-591-3

Zeman Vojtěch: Technologie speciálních vrtných prací, přednášky pro denní studium, VŠB – TU Ostrava, 1990.

Zeman Vojtěch: Vrtné práce v hydrogeologii a inženýrské geologii, Rekvalifikační postgraduální kurz, VŠB – TU Ostrava, 1989.

5. VRTNÉ PRÁCE VE STAVEBNICTVÍ

Vrtné práce používané ve stavebnictví jsou soustředěny do dvou hlavních skupin:

1. vrtné práce pro zakládání staveb a v podzemním stavitelství,
2. vrtné práce používané v bezvýkopových technologiích.

5.1 VRTNÉ PRÁCE PRO ZAKLÁDÁNÍ STAVEB A V PODZEMNÍM STAVITELSTVÍ

Důvody **vzniku speciálních metod zakládání staveb** jsou především následující:

- omezené prostory staveniště,
- rostoucí hloubky stavebních jam,
- zvyšování výšek nadzemních částí staveb,
- budování nových dopravních podzemních cest,
- budování náročných inženýrských a průmyslových staveb,
- to vše bez možnosti výběru nejvhodnější geologických a hydrogeologických poměrů,
- podíl na nákladech staveb 10 – 40 %.

Výchozí podmínkou pro použití speciálních metod zakládání staveb a v podzemním stavitelství je, že speciální inženýrsko - geologický, resp. geotechnický průzkum je zaměřen na:

- geologické a hydrogeologické poměry,
- laboratorní zjišťování fyzikálních a mechanických vlastností hornin a zemin na vzorcích,
- provedení polních metod pro zjišťování vlastností zemin a hornin v terénu – **geotechnické polní zkoušky**,
- modelové ověření navržených technologických postupů.

Metody zakládání staveb a v podzemním stavitelství se rozdělují na:

1. **zakládání staveb na pilotách**, zvláště na pilotách vrtaných, velkopřůměrových, předrážených apod.,
2. **budování podzemních stěn** při zakládání staveb v přehradním stavitelství, při zakládání objektů v zastavěných oblastech,
3. **provádění předpjatých kotev** pro ochranu hlubokých stavebních jam s velkým rozponem, ke zpevnění nebo aktivnímu opření porušených částí horninových masivů apod.,
4. **těsnění hornin a zemin injektáží** pro zlepšení vlastností hornin a zemin,

5. **provádění horizontálních odvodňovacích vrtů, pilotových a opěrných stěn** pro stabilizaci sesuvných oblastí, jež ohrožují dopravní či jiné stavby.

5.1.1 VRTNÉ PRÁCE PRO ZAKLÁDÁNÍ STAVEB NA PILOTÁCH

Zakládání na **vrtaných pilotách**, betonovaných na místě, zatlačilo téměř úplně používání **prefabrikovaných ražených pilot**, u nichž, nehledě k jiným nedostatkům, je zvyšování únosnosti ražené piloty stanovena praktická hranice vzhledem k poměru hmota piloty ke hmotě beranidla. Tento **poměr je limitujícím faktorem** i při uplatnění metody zakládání staveb na **předrážených pilotách**, formovaných na místě, i když hranice únosnosti proti raženým pilotám je daleko vyšší a v některých geologických poměrech pro přenos středních i větších zatížení je aplikace této metody zakládání výhodnější než zakládání na pilotách vrtaných.

Při aplikaci metod zakládání staveb na pilotách se vychází ze zásady, že neexistuje univerzální metoda, kterou by bylo možno uplatnit optimálně ve všech podmínkách určených především geologickými poměry a stavbou. Použití jednotlivých metod hloubení pilot má tyto specifické aspekty:

- a. **Metody zakládání na pilotách středních průměrů.** Požadavky na centrální přenos stále se zvyšujících zatížení zatlačil tuto metodu zakládání poněkud do pozadí. Zefektivnění této metody je závislé především na **moderní konstrukci vrtné soupravy**, kde základním požadavkem je její mobilita. Kromě toho je možné aplikovat také metodu zakládání na **vibropilotách** při uplatnění tří základních technologií i různých druhů vibračních souprav, jež rozšiřují možnost použití vibračních pilot až do \varnothing 500 mm. Tyto práce jsou více rozšířeny při vytváření tzv. **pilotového roštu** pod základovou deskou. Principiálně se do této skupiny pilot zařazují i piloty s ochrannou pažnicí, jež zůstává v pilotě jako ochranný plášť. Jinou technologií lze zajistit i vytvoření vazby tělesa piloty mezi pažnicí a zemínou, a tím získání plášťového tření pro zvýšení únosnosti této piloty. Při této technologii lze uplatnit metodu **zapažnicové cementace**.
- b. **Metody zakládání na velkopřůměrových šachtových pilířích.** Tyto metody dosáhly širšího uplatnění použitím výkonných a plně mechanizovaných velkopřůměrových souprav typu Terradrill a Calweld. Tyto vrtné soupravy umožňují zakládat stavby na velkopřůměrových šachtových pilířích do \varnothing až 1 200 mm, s dostatečným hloubkovým dosahem při použití trojnásobných teleskopických unášecích tyčí. Uvedené stroje pracují metodou velkopřůměrového rotačního vrtání s omezenou možností **zajištění stěn vrtu ochrannou pažnicí**. Prakticky lze uvést, že zapažení pomocí velkopřůměrových svařovaných pažnic je možné asi do 10 m, avšak těžení pažnic je ještě obtížnější než vlastní zapažování. Je tedy nutné zajistit pro složitější případy zakládání, zvláště v terénech s vysokou hladinou podzemní vody, komplexní zapažení až do dna vrtu pomocí **hydraulických pažnicích zařízení**. Jedině tento způsob však zajistí kvalitu piloty betonáží do vrtu plně chráněného kolonou

velkopřůměrových dvouplášťových pažnic. Mimo to jsou uplatněny i jiné metody velkopřůměrového pažení vrtů, zvláště pomocí těžkých vibrátorů, např. **metodou Hochstrasser-Weise**. Kromě rotačního velkopřůměrového zakládání je v omezené míře uplatněna i metoda zakládání na **velkopřůměrových drapákových vrtech**. Tato metoda je sice z vrtné technického hlediska daleko pomalejší než rotační vrtání, avšak vzhledem k volné výšce v ose vrtu je vhodnější pro použití hydraulického pažícího zařízení, i vhodnější pro vrtání v sutích, popř. zahloubení piloty do pevnější horniny.

- c. **Metody zakládání na předražovaných pilotách.** Jejich výhody se uplatnily především v prostředí s vysokou hladinou spodní vody, poměrně vysoké hodnoty výpočtových zatížení stanovených statickými zatěžovacími zkouškami, možnost přenosu tahových namáhání šikmými pilotami do úklonu 15° i uplatněním výhod **piloty Franki**. Jako doplňující průzkumné metody zejména pro zakládání na pilotách KPF, je možné uplatnit **metodu dynamické a statické penetrace** – je totiž nezbytným doplňkem průzkumu před volbou vhodné metody zakládání na pilotách a v případě použití metody Franki, tj. určitou **modelovou zkouškou technologie zarážení pažnic**.
- d. **Zvyšování únosnosti pilot.** I když metodika výpočtového zatížení pilot je ovlivněna empirickými koeficienty, dá se uvést, že jak výpočtové vzorce, tak skutečná únosnost piloty se skládá ze dvou složek, tj. z **plášťového tření a únosnosti dna piloty**. Zatímco zvyšování plášťového tření je typické jen pro některé metody zakládání na pilotách (Franki aj.), tendence zvýšení únosnosti piloty se tedy soustřeďuje na zvýšení únosnosti dna. Tento směr je typický pro zakládání na velkopřůměrových šachtových pilířích. Kromě příznivého případu, kdy lze takovou úpravu provést úpravou dna báňským způsobem, je nutno věnovat pozornost strojnímu rozšiřování dna pilot **přibíráky**. Zajímavých výsledků bylo dosaženo při rozšíření paty piloty u malopřůměrových pilot střešnou prací, a to jak u pilot vibračních, tak i rotačně vrtaných.
- e. **Ochrana pilot proti agresivnímu prostředí.** Z prakticky aplikovaných způsobů lze uvést ochranu pomocí plášťových pilot, z nichž zvláště kombinace s pilotou Franki u středně únosných pilot může být úspěšná. U vrtaných pilot lze uplatnit metodu s ochranou těla piloty pomocí svařovaných PVC fólií.
- f. **Zlepšování vlastností základových půd.** Metoda zlepšení základových půd tzv. **vibroflotační metodou**. Jde o vytvoření jakýchsi štěrkopískových zhutněných polštářů v podzákladí stavby, přidáním a zhutněním štěrkopísku vhodného složení, se dosáhlo zlepšení hodnot odvozeného normového zatížení základové půdy.

Nejpoužívanějšími metodami, jež zaručují kvalitu provedeného velkopřůměrového zakládání ve všech typech zemin, jsou **metody s předražením pažnicové kolony až do žádané hloubky piloty**. Tyto metody umožňují u velkopřůměrových pažnic zakládání ve zvodnělých nesoudržných zeminách, zaručují

kvalitu provedené piloty co do hutnění betonu a hlavně **rovnoměrnosti pilotového dřívku**. Mají přednost před ostatními metodami při zakládání na pilotových stěnách a umožňují založení prakticky téměř ve všech geologických podmínkách. Vzhledem k tomu, že jako nástroje pro těžení zeminy se používá nárazových drapaků, pro rozrušení tvrdších hornin dláta, pro těžení zvodnělých písků kalovek a pískových čerpadel, probíhá vlastní těžení zeminy pomaleji než u rotačního vrtání. Ideální vrtné zařízení by tedy mělo umožňovat jak rotační velkopřůměrové vrtání, tak vrtání náběrnými drapáky i jinými nástroji za současného strojního pažení velkopřůměrového vrtu.

5.1.1.1 DEFINICE A ROZDĚLENÍ PILOT

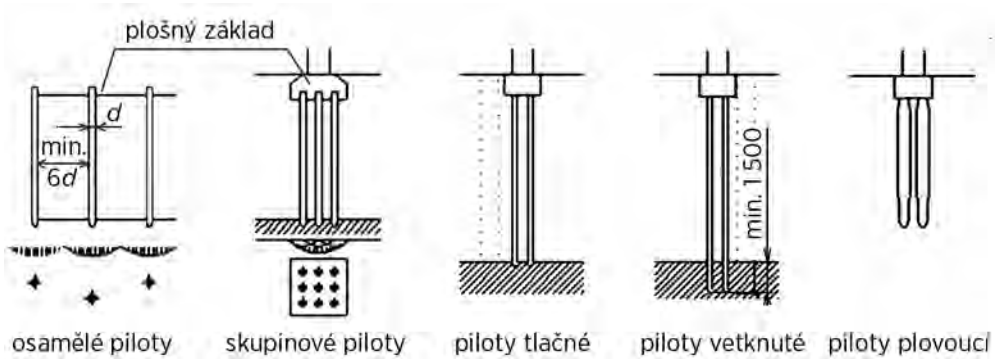
Pilota je definována jako štíhlý stavební prvek, který přenáší zatížení stavby na základovou půdu do hloubky.

Základní rozdělení pilot se provádí podle výrobního postupu na:

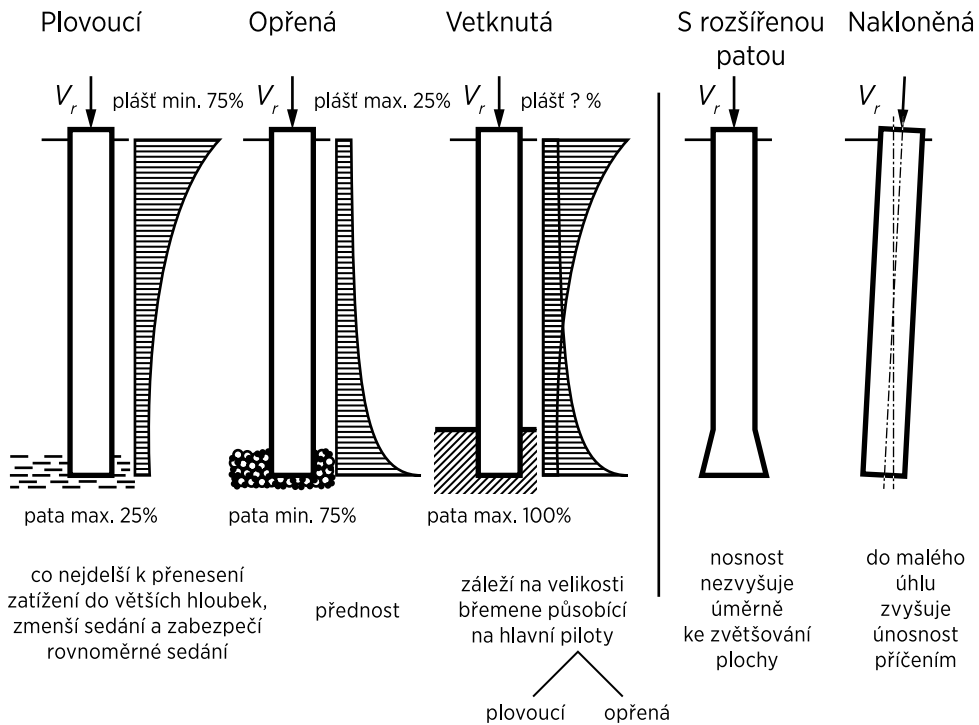
1. **Piloty ražené** (vtlačované nebo vháněné), kdy pilota nebo její části jsou předem vyrobeny, většinou mimo staveniště.
2. **Piloty předražené**, které po předchozím vyformování otvoru (vrtu) v základové půdě, jsou betonovány přímo na místě.
3. **Piloty vrtané**, zpravidla betonované na místě.

Používá se také další rozdělení pilot podle těchto kritérií:

- a. podle jejich **vzájemného seskupení** (obr. 5.1) na:
 - osamělé,
 - skupinové,
 - skupiny pilot;
- b. podle **způsobu přenášení zatížení na základovou půdu** na:
 - tlačené (opřené, vetknuté, plovoucí),
 - tahové,
 - namáhané ohybem (viz obr. 5.2);
- c. podle **druhu použitého materiálu tělesa piloty** na:
 - betonové,
 - železobetonové,
 - z předpjatého betonu,
 - ocelové,
 - dřevěné,
 - kombinované z různých materiálů.



Obr. 5.1 Rozdělení pilot podle vzájemného seskupení a podle způsobu zatížení.



Obr. 5.2 Druhy pilot podle přenášení zatížení na základovou půdu.

5.1.1.2 PILOTY RAŽENÉ

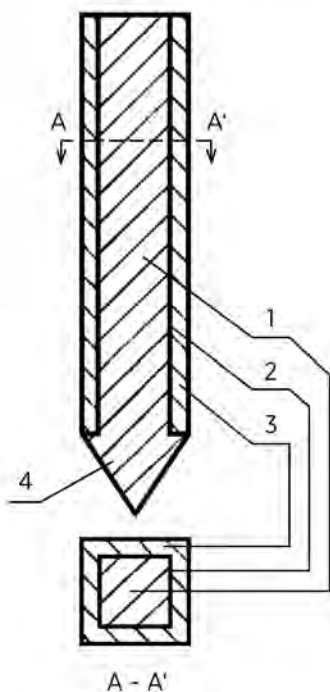
Podle druhu použitého materiálu se rozdělují na:

- železobetonové,
- ocelové,
- kombinované z ocelových, betonových a jiných materiálů.

- a. **Železobetonové piloty** – Jsou určeny pro geologické poměry, kde se únosná základová půda nachází v hloubce 4 – 10 m, výjimečně 15 m.

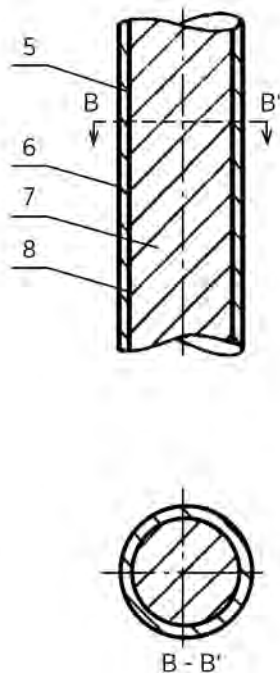
Z hlediska jejich konstrukce je **nutné zesílit příčnou výztuž u hlavy a paty**, kde je beton při dynamických účincích ražení nejvíce namáhán. **Výpočtové zatížení** u tohoto typu pilot činí 0,3 – 0,5 MN. V agresivním prostředí lze prefabrikované piloty chránit proti korozivním účinkům izolací. Při zaražení může být izolace třením o horninu poškozena, proto se opatřuje ochranným pláštěm. U železobetonových pilot se tento ochranný plášť provádí z **vyztuženého betonu** (monierka) (obr. 5.3). Jako železobetonové piloty lze s výhodou používat i železobetonové telegrafní sloupy.

- b. **Ocelové piloty** – Jako ocelové piloty lze použít všechny druhy válcovaného materiálu dostatečně odolného proti korozi. Proti možnému narušení agresivitou se pilota chrání obetonováním, vtlačáním cementové malty do prostoru mezi pilotu a zeminu (nebo použitím ochranného plechu – obr. 5.4).



Obr. 5.3 Konstrukce železobetonových pilot.

1 – nosné jádro piloty, 2 – izolace,
3 – monierka, 4 – plechová botka.

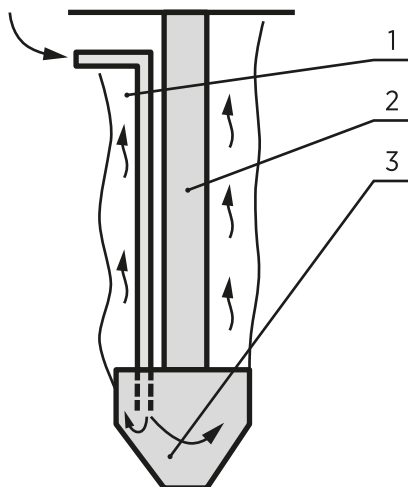


Obr. 5.4 Konstrukce ocelových pilot.

5 – izolace, 6 – plech, 7 – beton,
8 – ocelová trubice.

- c. **Piloty MV** – Jsou to ocelové beraněné piloty s přesazenou patkou pro vytvoření prostoru pro vyplnění tlakovou injektáží (obr. 5.5). Injekční směs vniká otvory v patě piloty do prostoru mezi dřikem piloty a zeminou. Po utužení sestává pilota z ocelového dříku a pláště z maltoviny, který

zasahuje do okolní zeminy. Jsou výhodné zvláště pro tahové piloty (kotvy) ve stlačitelných pórovitých zeminách (šterkopiscích). - Zkoušky v tahu vykázaly mezní zatížení až 1,2 – 3 MN.



Obr. 5.5 Schéma piloty MV.

Stanovení mezního zatížení lze počítat dle výsledků zatěžovacích zkoušek s těmito hodnotami plášťového tření:

- jíly – slíny: 70 – 120 kN/m²,
- písky: 100 – 150 kN/m²,
- šterky: 150 – 200 kN/m².

Nevýhody ražených pilot:

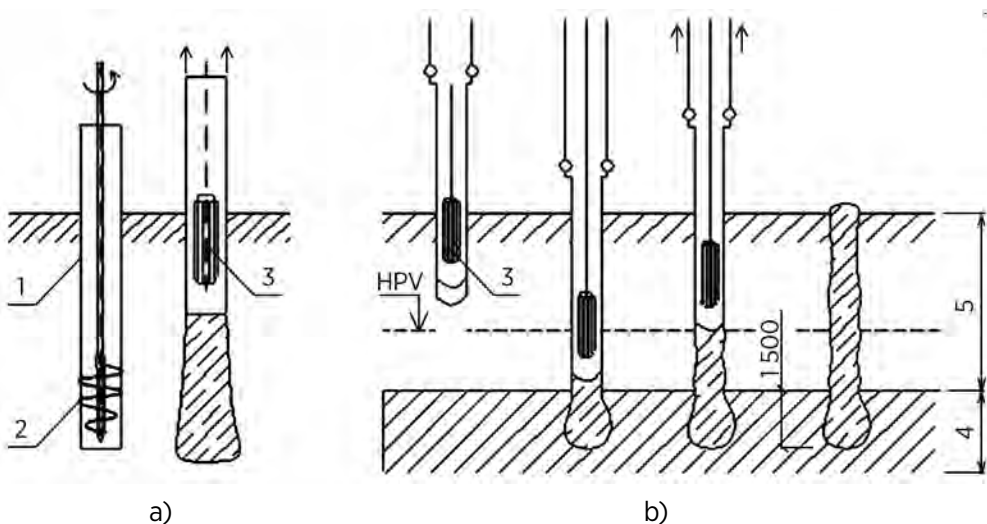
- nutnost zarovnání hlav pilot s terénem (po beranění),
- přenos dynamických rázů od beranění do terénu a do okolních staveb, které se rozkmitávají, tím se nepříznivě namáhají; zejména je to nebezpečné u zemin nasycených vodou.

5.1.1.3 PILOTY PŘEDRÁŽENÉ

Tento typ pilot je charakterizován tím, že na rozdíl od ražených pilot, jsou betonovány – **injektovány až na místě**. Jejich délka je upravována podle délky předraženého otvoru a průměr pilot je omezen do průměru 600 mm vzhledem k nemožnosti zvyšování velikosti a hmotnosti beranících souprav nad únosnou mez. Výhodou předražených pilot je charakteristické zvlnění pláště pilot a **možnost rozšíření paty pilot** dovoluje u nich dosáhnout vysoké únosnosti jak v tlaku, tak i v tahu.

Pro realizaci předražených pilot se používají tyto metody:

- piloty typu KPF-Franki,
- vibrační piloty.



Obr. 5.6 Schéma provádění předrážených pilot.

a - v příznivých geologických podmínkách, b - v nepříznivých podmínkách pod hladinou podzemní vody. 1 - výpažnice, 2 - vrták, 3 - pěch, 4 - únosná zemina, 5 - neúnosná zemina.

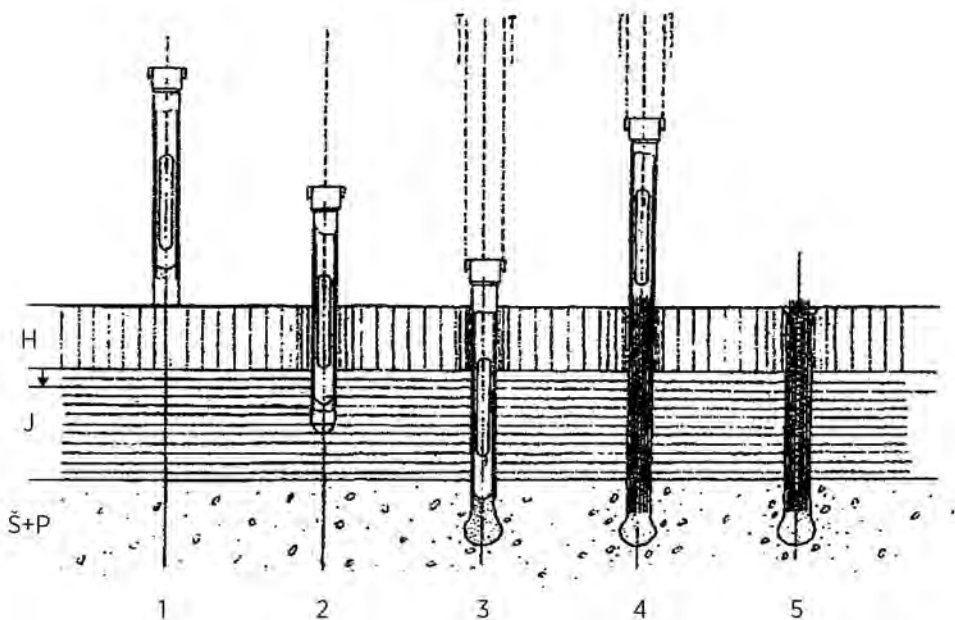
A. PILOTY KPF - FRANKI

Tento typ pilot byl patentován firmou Pieux Franki, Lutych v roce 1926. Jejich principem je využití **rozšířené paty piloty jako hlavního zdroje únosnosti** a zvýšeného podílu plášťového tření. Piloty se vyznačují jednoduchostí výroby - **oba postupy, tj. předrážení pažnice a betonáž** jsou prováděny postupně za sebou, stejným zařízením.

Technologický postup výroby pilot je následující (obr. 5.7):

- souprava najede na určené místo a **pažnice** se postaví na bod podle stavebního plánu;
- sypnou nádrží nebo ručně se **pažnice naplní** suchou, případně pouze **vlhkou betonovou směsí** a beranidlem udusá tak, aby vznikla zátka o výši cca 0,8 m, která uzavře zesponu pažnici;
- když **beranidlo** udeří velkou silou na zátku, je **pažnice tažena dolů do horniny** a to proto, že třecí síla, která nastane mezi zátkou a vnitřní stěnou pažnice je větší, než odpor, který klade hornina pažnici v pronikání;
- současně s pronikáním zátkou ucpané pažnice do horniny je tato na všechny strany roztahována a dusána;
- po dosažení potřebné hloubky se **pažnice zavěsí** na zvedacím kladkostroji a **nárazem beranidla** na zátku se tato **zátka vytlačí**. Potom se nasype potřebná dávka vlhké betonové směsi do pažnice a údery beranidla se **formuje pata piloty**. Protože se pata piloty vzepře o udusanou horninu a vzhledem k tomu, že se používá k tomu pouze vlhkého betonu, **přejímá okamžitě po udusání odporové síly horniny** a únosnost piloty je podstatně vyšší, než u piloty vrtané nebo rozšiřované explozí;

- po zformování paty pažnice do potřebných rozměrů se ze sondy **vyjme beranidlo**, vloží do ní **kovová výztuž** a nasype dávka betonové směsi. Pažnice se pomocí kladkostroje pozdvihnou a **beton se do obnažené horniny udusá**. Výška nadzvednutí se řídí podle množství nasypané směsi. Během každého tažení pažnic musí být dávka betonu v pažnicích zatížena vahou beranidla. **Nasypání dávky betonu a pozdvihování pažnic musí být tak synchronizováno**, aby nedošlo k porušení těla piloty;
- působením energie, kterou se dusá betonová směs, se **významně rozšiřuje stvol piloty** a zvyšuje se **jeho utěsnění**. Na ploše stvolu piloty vznikají charakteristické výdutě. Průběh formovacího procesu piloty se lehce kontroluje tím, že se na laně beranidla upevní označení.



Obr. 5.7 Technologický postup výroby předrážené piloty typu KPF – Franki.

- 1 - nasypání betonu a vytvoření zátky, 2 - beranění pažnice, 3 - vytváření rozšíření paty piloty dusáním betonu, 4 - zasazení armatury, vytvoření těla piloty dusáním dávek betonu při povytahování pažnice, 5 - hlava piloty s rozšířenou patou a zvlněným dřikem.

Pilota může **být ukončena pod povrchem nebo vytažena pomocí pažnice nad povrchem**, kde se pak beraní již v pažnici. **Výhodami jsou vysoká únosnost piloty**, pro kterou je typ Franki specializovaný, možnost výroby šikmých a tahových pilot, výroba pilot ve zvodněných a nesoudržných horninách a možnost výroby pilotových podzemních stěn. Nevýhodou je zdlouhavé a nákladné stěhování mezi staveništi, větší počet obsluhujícího personálu a **obtížné zahlubování do tvrdších hornin**.

Předraženou pilotu lze přizpůsobit provoznímu zatížení a vlastnostem zeminového prostředí. Použitím předražených pažnic různých průměrů lze **přizpůsobit pilotu požadovanému zatížení**. Možnost také vzdorovat tahovým namáháním a momentům pomocí úklonných pilot (do 15°). Dále je to možnost armování piloty podélnou i příčnou armaturou dle konstrukčních a statických požadavků a možnost vytváření piloty na přesnou délku jen po spodní rovinu patek, pasů a plošných základů.

Při ražení pilot se kontroluje tzv. **nominální vnik**, tj. **zhloubení pažnice při 1 úderu beranu, padajícího z výše 1m**. V záznamech o ražení piloty je vynášen diagram **vynaložené kinetické energie na zaražení 1m pažnic** v příslušných hloubkách (E):

$$E = hGn \quad [\text{N}\cdot\text{m}] \quad (5.1)$$

kde

h – výška pádu beranidla,

G – hmota beranidla,

n – počet rázů beranidla.

Použití pilot KPF – Franki:

- jako piloty betonové, železobetonové, piloty ze zhutněných štěrkopísků,
- základní délka piloty je dána užitečnou výškou věže beranicí soupravy, délkou pažnice, lze použít i pažnicových nástavců,
- možnost provádět úklonné piloty – pro tahová namáhání,
- většina beranicích souprav dovoluje oboustranný úklon věže a tím vytváření šikmých pilot až do 15° – 20° od vertikály.

Tab. 5.1 Směrné hodnoty přípustného zatížení pilot KPF – Franki.

Ø pažnice	maximální zatížení	
	v tlaku	v tahu
[cm]	[kN]	[kN]
33,5	900	250
40	1 250	380
42	1 350	400
50	1 600	500
56	2 000	560
61	2 400	610

B. BERANÍČÍ SOUPRAVY

Základní části **beranicí soupravy** jsou:

- beranidlo, které při pádu na raženou pilotu ji svoji kinetickou energií zaráží do zeminy,

- pracovní plošina, která se pohybuje na kolech, pásovém podvozku, ližinách, kolejkách,
- věž, usměrňující pažnici při ražení, beranidlo, násypný koš,
- vrátky pro beranidlo, pažnici a násypný koš,
- pohon, obvykle dieselmotor.

Beranidla jsou zařízení na **beranění štětovnic a pilot**. Dřevěné fošny a kůly se zatloukají těžkým **pneumatickým kladivem** např. typu DELMAG H2, které se opatří nástavcem tvaru U.

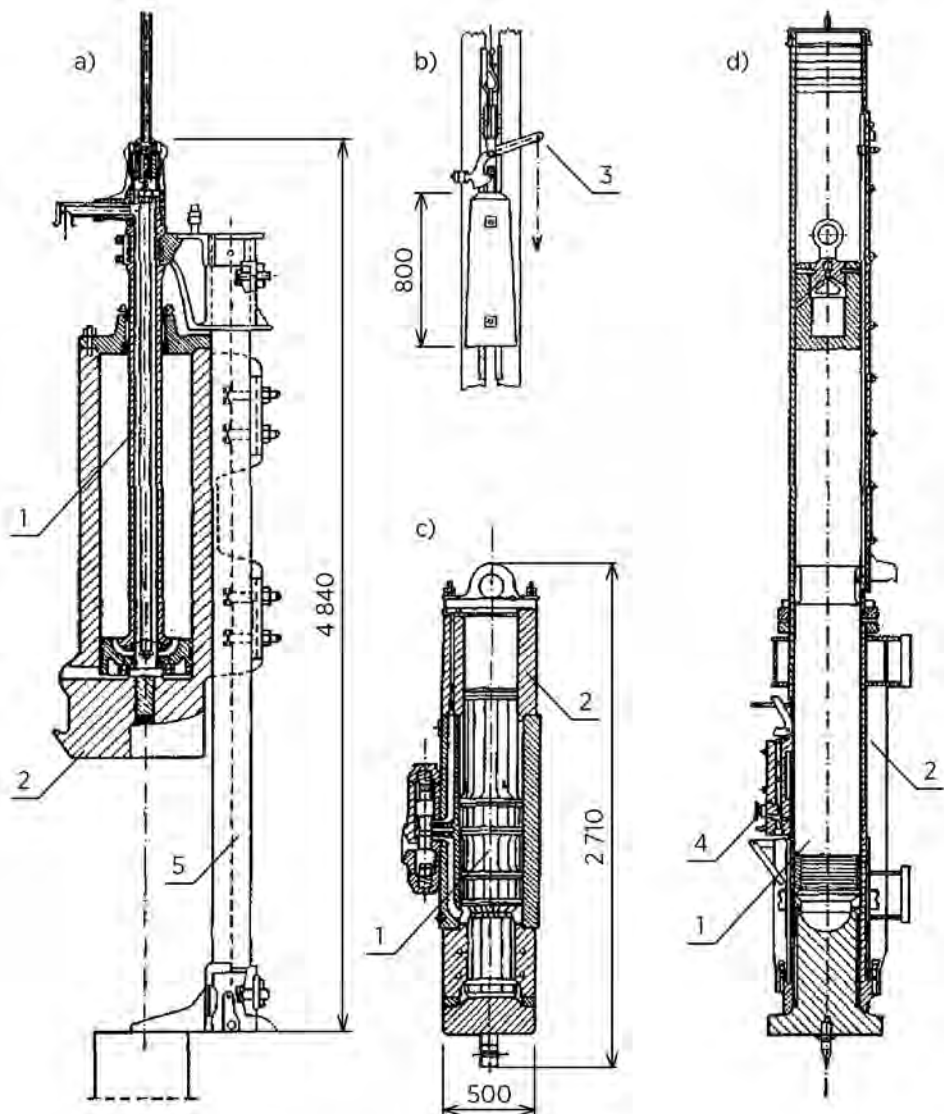
Pro lehké beranění do hloubky až 6 m se používají **padací (mechanické) beranidla**. Jsou to litinová tělesa o hmotnosti 500 až 1 500 kg, která se zdvíhají frikčním frikčním navijákem. Těžší berany se připojují na lano pomocí výsuvky, která při zdvínání připíná beran k lanu, při pádu jej naopak vypíná (obr. 5.8a). Výška pádu je několik metrů, u železobetonových pilot nejvýše 1,5 m.

Pro středně obtížné beranění do hloubky až 15 m se používají **střední beranidla s pohonem dieselmotorem** (obr. 5.8d). Při těžké beranění nebo pro beranění do hloubky přes 15 m se používají **těžké beranidla**. Starší typ jsou jednočinné berany, u kterých se pohybuje válec a píst je pevný, přičemž válec se pneumaticky zdvíhá a padá vlastní tíhou (obr. 5.8b). Novějším typem jsou dvojčinné berany, v nichž se v pevném válci, upevněném na pilotě, rychle pohybuje lehký píst pneumaticky nahoru i dolů (obr. 5.8c). Jsou výhodné proto, že nepotřebují beranidlo, stačí připevnit je pomocí nástavce na pilotu. Největší berany, které se vyrábějí jako **berany diferenciální**, tj. s větším průměrem horní podstavy pístu, jsou typ tvořící přechod od jednočinného beranu k dvojčinnému.

V málo ulehých zeminách do hloubky 6 až 10 m lze použít **vibrační berany**. Vibrační beran hmotnosti od 4 t výše se skládá z vibrátoru hnaného elektromotorem, který se umístí na štětovnici. Vibrování se může kombinovat s údery pneumatických beranů. Pokud se vibruje do zvodnělého písku, je třeba počítat do stametrových vzdáleností se šířením vibrace, které může značně poškodit stavby na povrchu.

Ochrana životního prostředí v městech vyžaduje **nehlučné zabudovávání štětovnic** do zeminy. K tomu slouží například **hydraulické vtlačování**, použitelné pouze do nekamenité zeminy. Stroj na vtlačování, např. anglický The Pilemaster, má osm hydraulických lisů, které se posadí na hlavy osmi ocelových štětovnic. Stroj se zakotví na šest štětovnic a dvě zbylé štětovnice zatlačuje na hloubku zdvihu lisů. Pak se lisy přepnou na další dvě štětovnice a postup se opakuje. Poměrně tiše pracují také **padací beranidla** ukrytá v bedněni opatřeném hlukotěsnou izolací.

Jako příklad **beranicích souprav** lze uvést soupravy polské produkce KPF 22 AH, KPF 22 G, KPF 31 vyráběné v licenci KPF. Nejpoužívanější je souprava **Kafar KPF 22**, používaná také u nás, která je specializovaná na výrobu pilot typu Franki, včetně betonáže až do průměru 520 mm a hloubky 17 m. Souprava má výkon 120 kW a na beranění vyvine energii až 16 000 J. Beranidlo má hmotnost 3 000 – 3 600 kg. Počet rázů beranidla (při výšce pádu 5 m) je 8 rázů/min, maximální délka piloty je 17 m a maximální průměr piloty (pažnice) 520 mm. Souprava obsahuje nádrž na betonovou směs, která se automaticky vkládá do pažnic.



Obr. 5.8 Typy beranidel.

a – padací beranidlo 0,4 t s výsuvkou, b – jednočinný beranidlo typu Menck-Hambrock, c – dvojičinný beranidlo typu McKiernan-Terry, d – beranidlo s dieslovým pohonem typu Delmag. 1 – píst, 2 – válec, 3 – výsuvka, 4 – palivové čerpadlo.

C. PILOTY VIBRAČNÍ

Vibrační piloty představují **přechod k vrtaným pilotám**. Protože konečná fáze otvoru pro vyformování tělesa piloty se vytváří **předražením ztracené botky**, řadí se tyto piloty do skupiny **pilot předražených**. Normové zatížení pilot je 300 – 500 kN.

Technologie výroby těchto pilot se skládá ze tří operací:

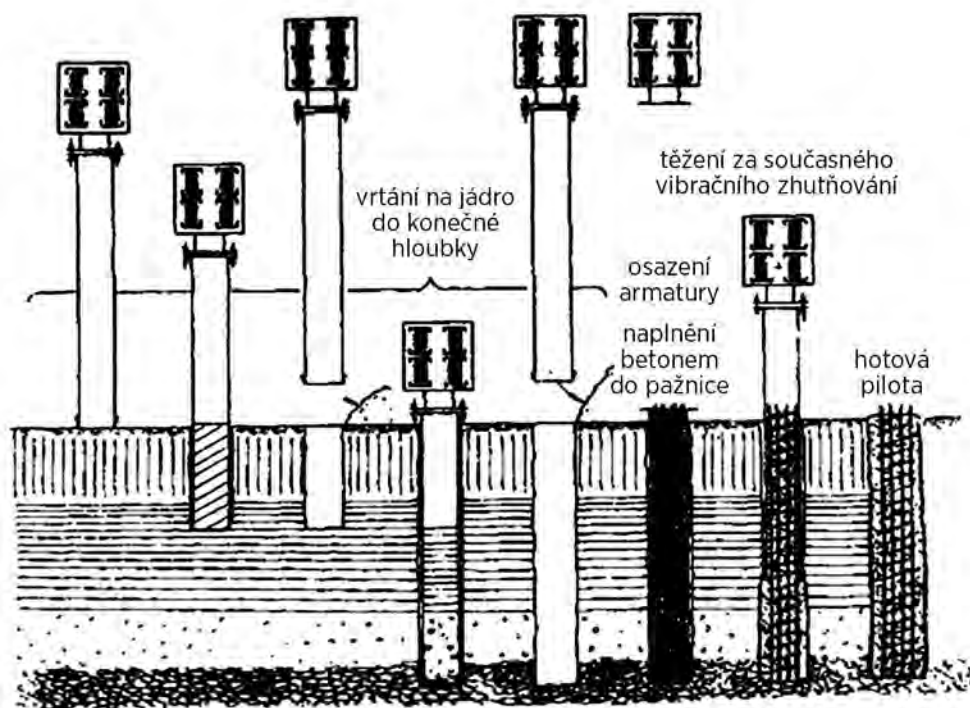
- předvrtání v soudržných zeminách,
- zaražení – zavibrování pažnice s botkou do konečné hloubky, i pod hladinu podzemní vody,
- instalace armatury a betonu a vibrační vytažení pažnice – současné zhutnění materiálu piloty.

Používají se **tři základní technologické postupy** vibropilotáže:

- technologie vibračních pilot s jádrováním,
- technologie vibračních pilot s předráženou botkou,
- technologie vibračních pilot s předráženou pažnicí a následným vybíráním.

1. TECHNOLOGIE VIBRAČNÍCH PILOT S JÁDROVÁNÍM

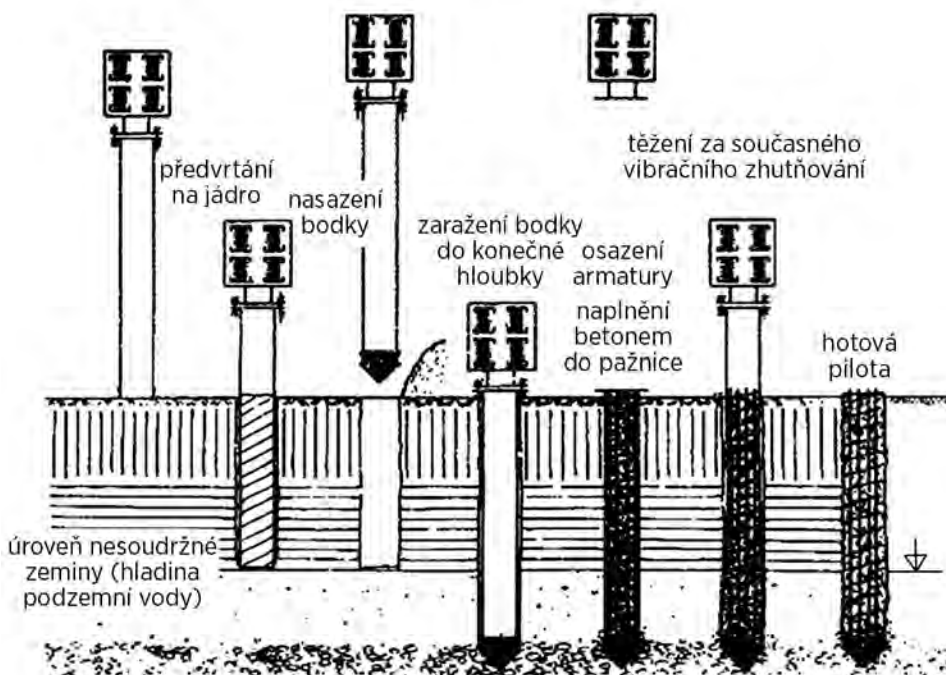
Tuto technologii lze realizovat **v lehce rozpojitelných a soudržných zeminách bez přítomnosti podzemní vody** až do konečné hloubky. Pak se do pažnice – vrtného nástroje na dno piloty osadí armatura a vyplní se betonovou směsí. Po připojení pažnice k vibrátoru se pažnice pozvolna těží za současné vibrace, která se zejména u paty piloty při suché betonové směsi provádí intenzivně, což vede k dokonalému zhutnění betonu. (obr. 5.9)



Obr. 5.9 Postup výroby vibračních pilot s jádrováním.

2. TECHNOLOGIE VIBRAČNÍCH PILOT S PŘEDRÁŽENOU BOTKOU

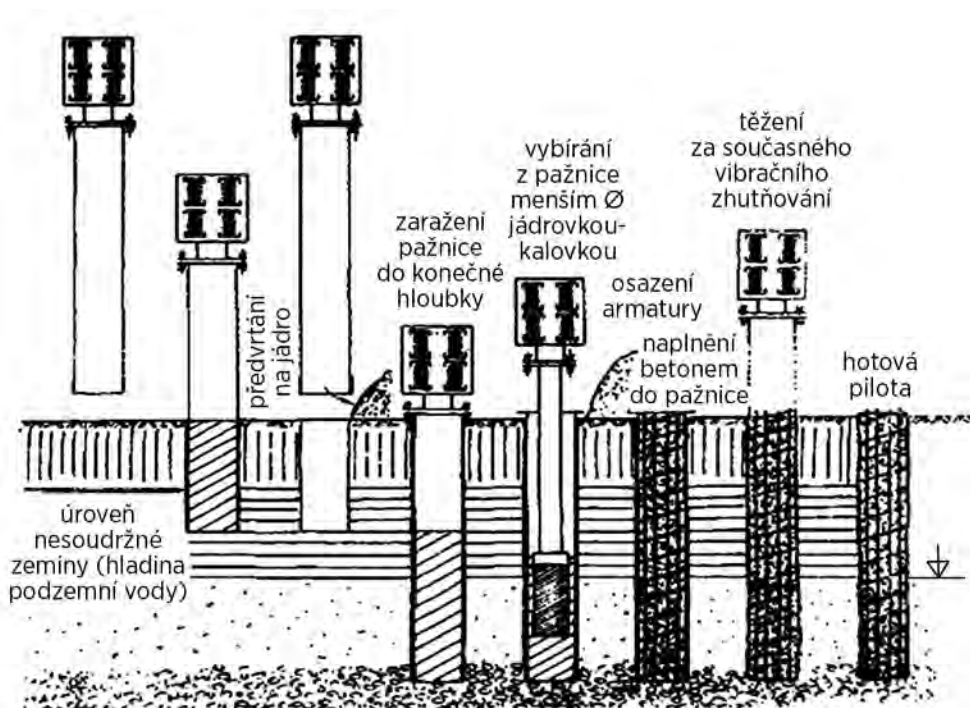
Vibrační piloty s předráženou botkou a s částečným předvrtáním se provádějí tak, že soudržná část zeminy, obvykle až po hladinu podzemní vody, se vrtá jádrově, načež se pak na nástroj - pažnici **nasadí prefabrikovaná betonová botka, která se v nesoudržných a zvodněných zeminách** postupně zaráží až do konečné hloubky. Tím se dosáhne pružného zhutnění v okolí piloty a zejména dokonalého zhutnění zeminy v okolí opěrné botky. Nástroj se odpojí, osadí se armatura a vyplní betonovou směsí. Po připojení k vibrátoru se pozvolna pažnice těží za současné vibrace. Pilota je homogenní bez narušení spodní vodou. Tato technologie je vhodná až do \varnothing 530 mm. (obr. 5.10)



Obr. 5.10 Postup výroby vibračních pilot s předráženou botkou.

3. TECHNOLOGIE VIBRAČNÍCH PILOT S PŘEDRÁŽENOU PAŽNICÍ A NÁSLEDNÝM VYBÍRÁNÍM

U tohoto způsobu výroby vibračních pažnic se nejprve soudržná část vývrtu se odvrtá jádrově. Do konečné hloubky se postupným vibrováním zapustí pažnice a od vibrátoru odpojí. Připojí se na druhý **nástroj menšího průměru a zemina se z širší pažnice vybere**. Osadí se armatura a naplní betonovou směsí. Po připojení pažnice širšího průměru k vibrátoru se tato pozvolna těží za současné vibrace. Tato technologie je **vhodná pro průměry nad 430 mm**. Pro zvýšení únosnosti paty piloty je možnost sekundární injektáže. (obr. 5.11)



Obr. 5.11 Postup výroby vibračních pilot s předráženou pažnicí a následným vybíráním.

D. VIBRAČNÍ SOUPRAVY

Podstatou **vibračního vrtání** je zahlabování vrtného nástroje **působením velkého počtu kmitů**, tj. působením velkého počtu vibrací. Zdrojem energie je **rotace excentru**, kterou se vyvolává velký počet nárazů, kmitů s malou výškou. Takto vzniklá vibrace, usměrněná do jednoho směru, je zdrojem hloubící síly (s frekvencí 1 500 až 2 880 min⁻¹ a s amplitudou 4 až 15 mm). Sekundárním účinkem vibrace je chvění zemin v bezprostředním okolí zahlabovacího stroje, které narušuje jejich původní pevnost. To podstatně snižuje plášťové tření nástroje jak s okolní zeminou, tak i uvnitř nástroje při vnikání zeminou do vrtného nářadí.

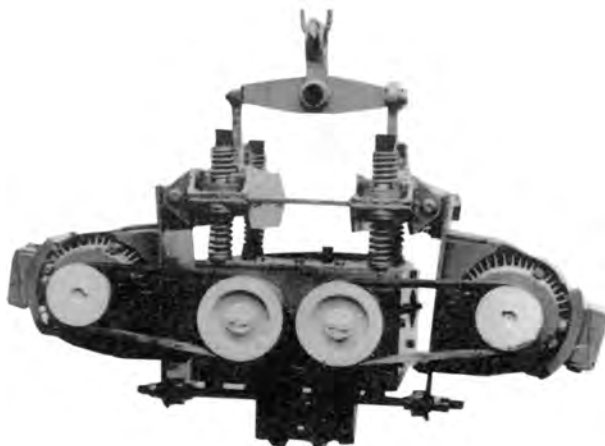
Vibrační vrtání se používá při vrtání v **lehce rozpojitelných zeminách**, jako jsou hlíny, písky, štěrkopísky a pod. Vibračním způsobem se vrtají sondy do hloubky asi 30 m, protože při větších hloubkách nastává výrazné zpomalení postupu vrtání v důsledku tlumení vibrací ve vrtné koloně.

Vibrační vrtání se nejvíce používá právě při **zakládání staveb a při hloubení vrtů pro piloty**. Technické zařízení vibračních souprav umožňuje rychlé vlastní hloubení a vyprazdňování navrtného materiálu, pažení, odpažování, ukládání betonové směsi a její zhutňování.

Vibrační soustava se skládá z těchto hlavních částí:

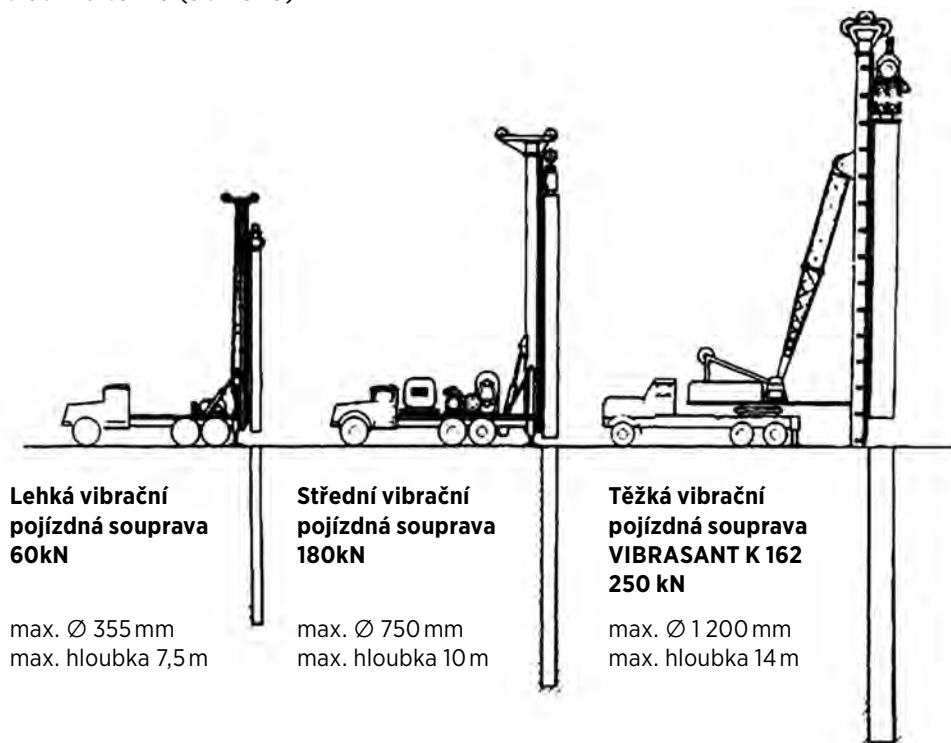
- vlastní vibrátor (vibrační skříň),
- pojízdný podvozek s těžním vrátkem a s věží,
- dieselelektrický agregát s rozvodnou skříňí.

Vibrační skříň (obr. 5.12) jsou dvoublokové s usměrněnou vibrací. Dvoublokové vibrátory mají vždy párový počet excentrů vzájemně synchronizovaných ozubenými koly, aby se při rotaci vzájemně rušily boční síly a aby se využívala jen výsledná vertikální síla. Toto uspořádání má při malé vlastní hmotnosti velkou zahlubovací sílu.



Obr. 5.12 Vibrační skříň.

Vibrační soupravy se podle velikosti vytvářené odstředivé síly dělí na lehké, střední a těžké (obr. 5.13).



Obr. 5.13 Typy vibračních souprav.

Lehká vibrační souprava

Tato vibrační souprava používá **vibrátor o hmotnosti 600 kg**, který při počtu kmitů 2 800 kmitů/min. vyvine **odstředivou sílu 60 kN**. Směrný rozkmit vibrátoru je 5 mm a příkon 2 × 5,5, kW. Je určena pro maximální průměr vrtu 450 mm a hloubku vrtu 7,5 m. **Výhody soupravy** jsou:

- rychlá přemístitelnost s malými náklady,
- snadné usazování soupravy na osu vrtu,
- ve vhodných podmínkách vysoké výkony,
- zaručena betonáž pod ochrannou pažnicí,
- důkladné zhutnění betonové směsi,
- zvýšená únosnost piloty vyrobené vibračním vrtáním.

Nevýhodou je malý hloubkový dosah bez manipulace s nářadím. Další manipulace je obtížná a zdlouhavá.

Střední vibrační souprava

Souprava používá **vibrátor hmotnosti 1 500 kg**, který pracuje s počtem kmitů 1 600 kmitů/min. a **odstředivou silou 180 kN**. Směrný rozkmit je 10 mm a příkon 2 × 12 kW. Souprava je určena pro maximální průměr vrtu 750 mm a maximální hloubka vrtu 15 m. Umožňuje vrtání i šikmých vrtů do 15°. **Výhody** jsou v podstatě shodné s předchozím typem soupravy a přistupuje k nim také výroba pilot do větších hloubek bez manipulace s nářadím. **Nevýhodou** je, že není možno zavrtávat do pevných hornin.

Těžká vibrační souprava

Souprava má **vibrátor hmotnosti 2 500 kg** s počtem kmitů 1 460 kmitů/min a **odstředivou silou 250 kN**. Směrný rozkmit je 15 mm a příkon 40 kW. Souprava umožňuje hloubení otvorů do průměru 1 200 mm a maximální hloubky 18 m. **Výhody** jsou stejné jako u prvního typu soupravy a nevýhodou je omezená možnost použití v zastavěných prostorách s ohledem na vibrační účinky tohoto těžkého zařízení a nemožnost zavrtávání do pevných hornin. Použití je výhodné zejména na rozsáhlých pracovištích pro širokoprofilové vrty (šachtové pilíře překryvným způsobem).

5.1.1.4 PILOTY VRTANÉ

Jedná se o základní a nejrozšířenější způsob provádění pilot. Důvodem je dostupná technika a technologie pro vrtání

- a. různými průměry vrtných nástrojů,
- b. v různých geologických a hydrogeologických podmínkách.

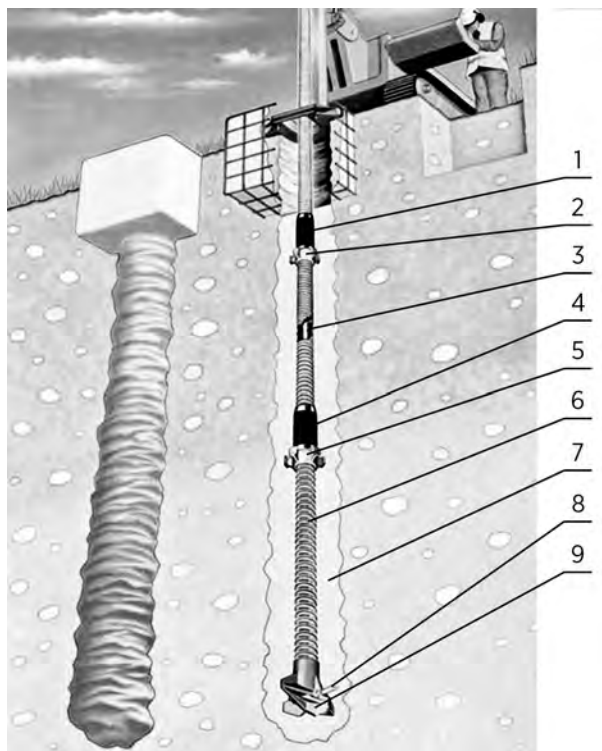
Rozdělení vrtaných pilot se nejčastěji provádí podle jejich průměru na:

1. piloty maloprůměrové - **mikropiloty** (kořenové piloty), v rozsahu průměru otvoru pro pilotu 100 – 250 mm,
2. piloty středních průměrů - maximálně do 600 mm,
3. piloty velkoprůměrové - vrtané pilíře nad průměr 600 mm.

1. PILOTY MALÝCH PRŮMĚRŮ - MIKROPILOTY

Tyto piloty jsou často označovány jako **mikropiloty, kořenové piloty nebo injektované piloty** s \varnothing 100 – 250 mm. Jsou velmi rozšířené, zejména u těchto technologických aplikací:

- dodatečné zpevnění základů stávajících staveb,
- sanace základů,
- pilotové rošty,
- podzemní pilotové (tzv. tyčové) stěny zajištění stavebních jam.



Obr. 5.14 Základní části zavrtávané a injektované mikropiloty typu Titan.

- 1, 4 – spojník, 2, 5 – centrátor, 3 – proudění výplachové směsi vnitřkem duté tyče, 6 – dutá závitová tyč typu Titan, 7 – antikoroziční krytí výztuže cementem (více než 25 mm), 8 – postupné zavrtávání a vstřikování injekční směsi, 9 – jednorázová vrtná korunka.

Jejich rozšíření je dáno zdokonalením vrtné techniky pro vrtání přes sutě, rozvolněné horniny, návozy, stavební tělesa apod. zejména s použitím tzv. **dvojitě**

kolony, kdy vlastní vrtání se děje pod ochranou vnější trubky, která plní vlastně funkci pažnice.

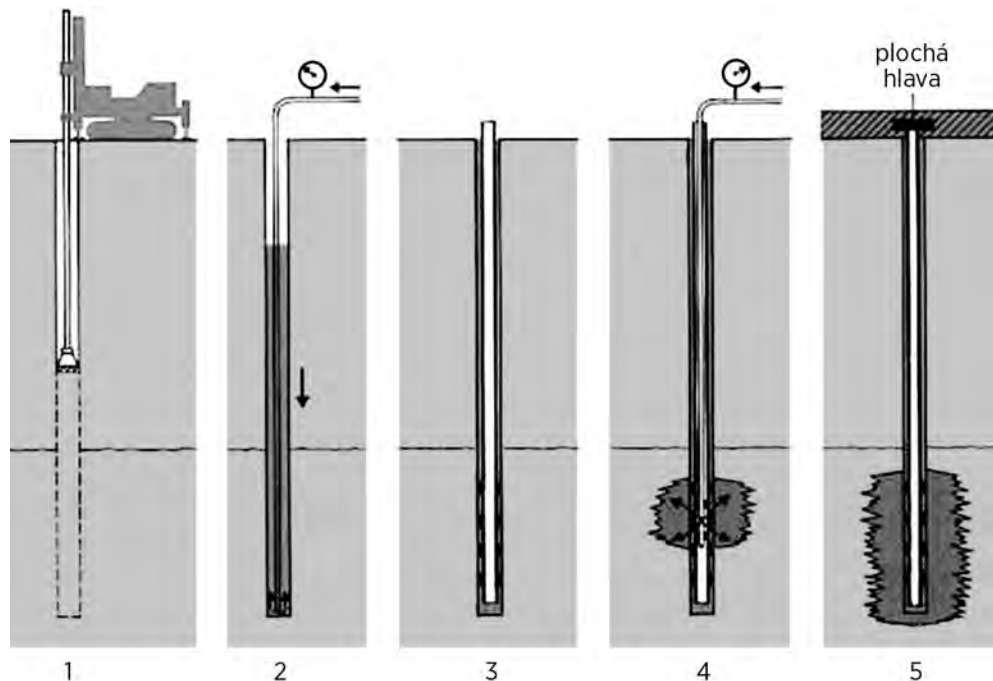
Pro provádění těchto **mikropilot se používá klasická vrtná technika**. Jsou to:

- rotační vrtné soupravy (jádrové) s hydraulickou rotační hlavou,
- rotačně příklepné vrtné soupravy s hydraulickým rotátorem a ponorným nebo povrchovým kladivem,
- soupravy speciálně sestavené pro tento účel z rozebíratelných celků pro montáž a demontáž ve stísněných podmínkách – sklepy, štoly,
- soupravy lafetové pro nastavení směru vrtání v libovolném směru.

Technologie betonáže – injektáže má následující charakteristiku:

- přilnutí betonu v nezpevněných horninách je charakterizováno rozvětveným tvarem piloty – tzv. kořenová pilota,
- vysoká únosnost piloty: 80 – 100 kN v tlaku i v tahu,
- jako výztuž armovacího koše se používá podélná výztuž se spirálovým vinutím.

Postup zhotovení piloty (obr. 5.15)



Obr. 5.15 Postup zhotovení mikropiloty.

- 1. Vrtání vrtu.** Zvolená metoda vrtání závisí na geologických podmínkách a dalších okolnostech stavby. Nejčastěji se vrtá plnoprofilově na jílocementový nebo vodní výplach, s průměrem vrtu 100 až 250 mm.

2. **Výplňová zálivka.** Vrt je odspodu vyplněn cementovou zálivkou.
3. **Výztuž.** Může využít různých typů ocelových prutů, I profilů ap. Nejčastěji jsou však používány silnostěnné trubky spojované na závity. V dolní části jsou perforované a opatřené gumovými manžetami pro injektáž.
4. **Injektáž.** Kořen mikropiloty je upnut do horniny tlakovou injektáží cementovou směsí. Tím je zajištěno efektivní přenesení zatížení.
5. **Napojení konstrukce.** U trubkových mikropilot může být spojení s konstrukcí snadno provedeno přes našroubovanou roznášecí hlavu.

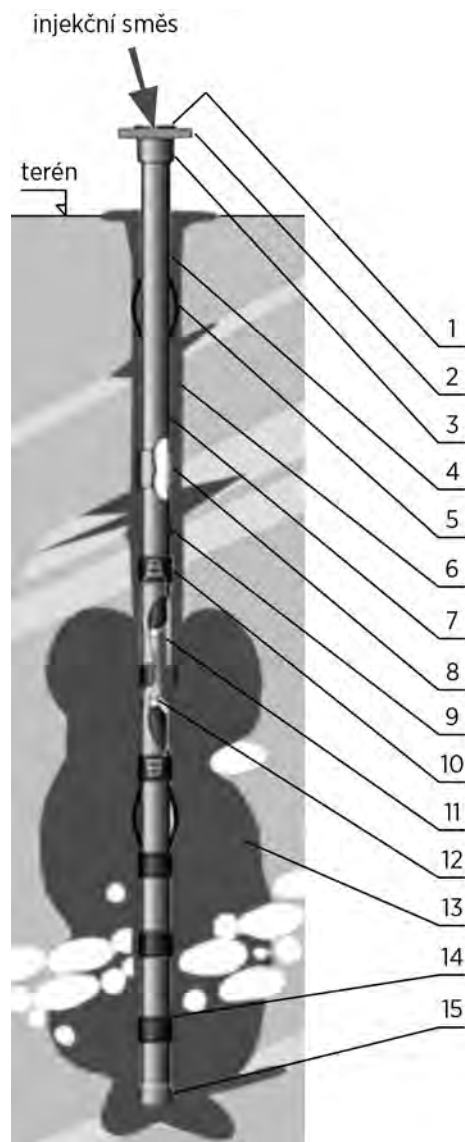


Obr. 5.16 Příklad mikropilotové (tzv. tyčové) stěny zajištění stavebních jam.

Používané technologie betonáže

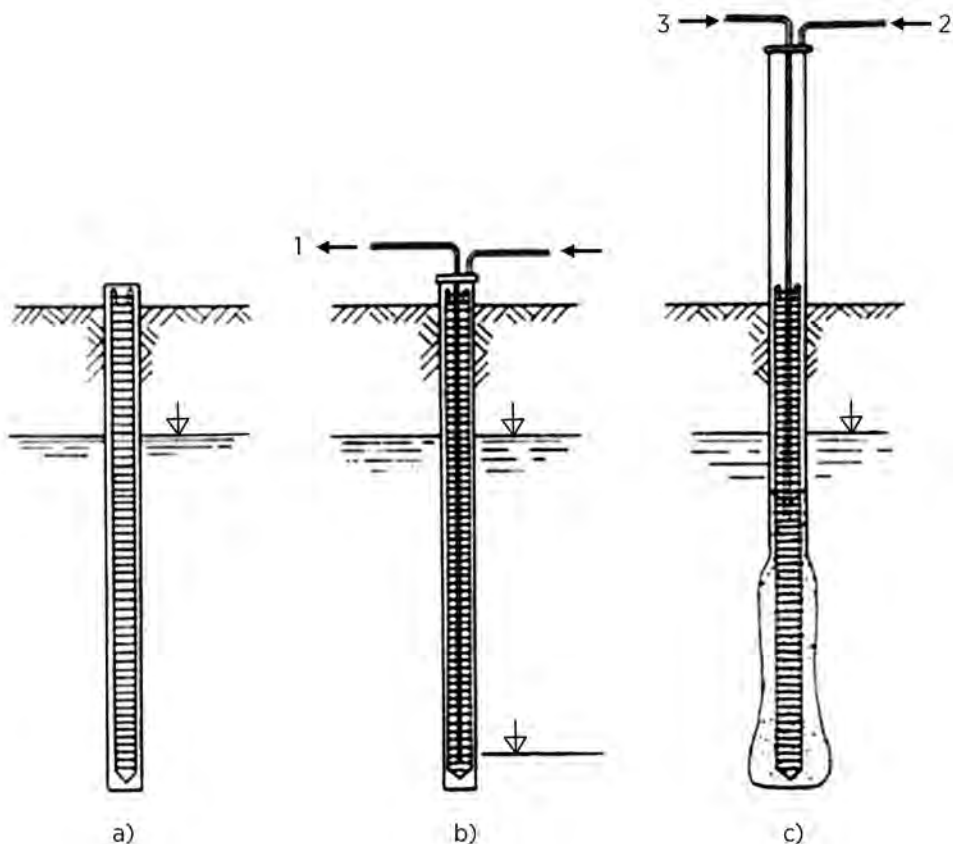
- a. injektáží – do pažnice injektážní trubka s manžetami – zálivka jílocementová směs – po odpažení dvojitý obturátor pro injektáž kořenové piloty (obr. 5.17),
- b. tlakovzdušnou betonáží – vrt – pažnice – armatura: pak přívodem tlakového vzduchu přes uzavírací hlavici za současného odpažení (obr. 5.18).

Použití: tyto piloty jsou používány zejména jako tahové piloty vzhledem k vysokému podílu plášťového tření.



Obr. 5.17 Schematické znázornění konstrukce injektované mikropiloty s dvojitým obturátorem.

- 1 - hlava mikropiloty, 2 - ocelová deska, 3, 8 - spojovník, 4 - horní trubka, 5 - centrátor,
6, 7 - zálivka dírek mikropiloty, 9 - spodní perforovaná trubka, 10 - gumová manžeta,
11 - injektovaná směs, 12 - dvojitý obturátor, 13 - vytvrdnutá injekční směs kořene piloty,
14 - kroužek manžety, 15 - zátka.



Obr. 5.18 Schematické znázornění technologie tlakovzdušnou betonáží.

a - vložení výztuže do vyhloubeného vrtu, b - vytlačení vody stlačeným vzduchem, c - betonáž stlačeným vzduchem; 1 - voda, 2 - stlačený vzduch, 3 - beton

2. PILOTY STŘEDNÍCH PRŮMĚRŮ

Použití pilot středního průměru je soustředěno především na halové stavby, budovy o středním počtu podlaží, lehké inženýrské stavby apod.

Technologie vrtání těchto pilot využívá především:

- rotační vrtání bez proplachu,
- rotační vrtání s proplachem,
- nárazové vrtání,
- drapákové hloubení vrtů.

Vrtná technika používá zejména víceúčelové vrtné soupravy s možností průběžného zapažení vrtů (hydraulické pažící zařízení. Jako příklad lze uvést vrtné soupravy typu Wirth B-0, B-1, B-2.

Piloty se vystrojují košovou armaturou, výjimečně pro malá zatížení jen pruty navázané na nadzemní konstrukce. U pilot menšího průměru se betonuje přímo do vrtu.

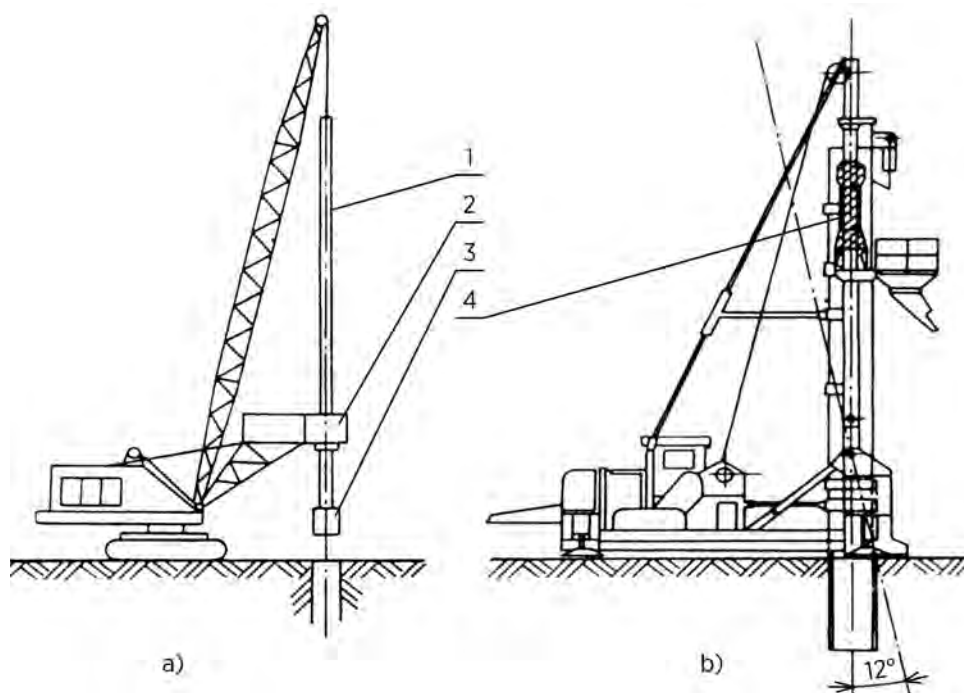
3. PILOTY VELKOPRŮMĚROVÉ – VRTANÉ PILÍŘE

Jedná se o nejrozšířenější typ vrtaných pilot s touto charakteristikou:

- rozměry dovolující snášet maximální zatížení, stanovená a vypočtená podle platných norem,
- armatura piloty je dokonale překryta betonem a průřez piloty není zúžen,
- dno otvoru je za předpokladu kontroly přístupné člověku.

Jako **přednosti** tohoto typu pilot lze uvést:

- existence velké množství velkopřůměrových vrtných souprav,
- hospodárnost při zakládání náročných moderních staveb, neboť snesou velká zatížení (střední pilota 500 – 700 kN → velkopřůměrová 5 – 10 × více).



Obr. 5.19 Vrtné soupravy pro vrtání velkopřůměrových pilot.

a – vrtná souprava s unášečkou a rotačním stolem, b – vrtná souprava s drapákem, 1 – unášečka, 2 – rotační stůl, 3 – lžicový vrták, 4 – drapák.

TECHNOLOGIE VRTÁNÍ VELKOPRŮMĚROVÝCH PILOT

1. ROTAČNÍ VRTÁNÍ ZA SUCHA

Rotační vrtání za sucha je základní metodou vrtání velkopřůměrových pilot. Tato technologie vrtání se vyznačuje vysokým stupněm mechanizace a to jak pro vrtání, tak pro vyprazdňování vrtného nástroje.

Technologie je charakterizovaná:

- konstrukcí vrtného nástroje,
- použitím teleskopických unášecích trubek – unášček. Používá se troj- i čtyřnásobného teleskopu, což umožňuje zvětšení hloubkového dosahu bez manipulace s nastavováním tyčí. Vysouvání unášecí trubky je ovládáno lanem hlavního vrátku,
- konstrukcí speciálních vrtných souprav.

A. Konstrukce vrtných nástrojů používaných k hloubení pilotážních vrtů.

Podmínky pro odvození konstrukce vrtných nástrojů pro pilotážní vrty lze specifikovat následovně:

- 1. hloubení pilotážních vrtů spočívá ve vrtání velkých průměrů vrtů.** Nejmenší průměr piloty je 200 mm, většinou se pohybuje okolo 600 mm, nutno počítat s průměry od 300 do 1 200 mm i více,
- 2. piloty jsou mělké vrty,** od 4 do 10 m, maximálně do 20 m,
- 3. vrtání probíhá zpravidla ve velmi komplikovaných geologických podmínkách.** Jsou to velmi často měkké zeminy, sypké, značně zvodněné, bahnitě až tekoucí, navážky apod. Někdy je nutné v průběhu hloubení vybírat nebo rozbíjet velké valouny a jedná-li se o piloty vetknuté, je nutné v závěru vrtu zavrtat i do pevných skalních hornin.

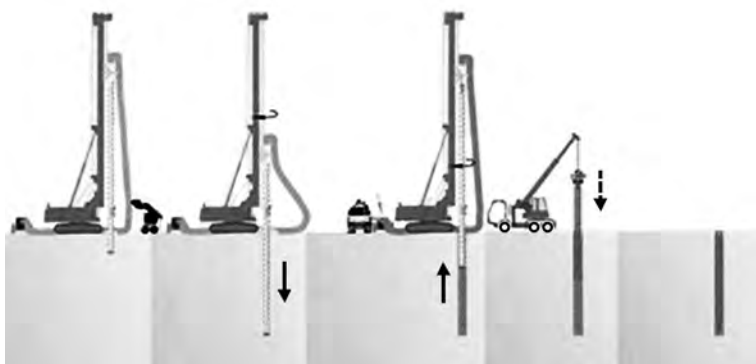
Z těchto podmínek jsou pak odvozeny konstrukce a používání těchto vrtných nástrojů:

1. nesoudržné horniny se vrtají **lžícovými vrtáky (šapy)**. Šapy se vyrábí s jednou, dvěma nebo třemi řeznými hranami s vyměnitelnými ocelitinovými noži:
 - **s bočním vyprázdněním odvrtné zeminy** pro soupravy s nízkým rotačním stolem a u souprav, kde po vytěžení nástroje není dostatek místa pro vyprázdnění nástroje spodem. Lžícové vrtáky s bočním vyprázdněním se vyrábí pouze s jednou řeznou hranou;
 - **se spodním vyprázdněním nástroje,** u nichž možno odpojit spodní dno a odvrtná zemina



Obr. 5.20 Ukázka šnekového vrtáku.

- vysype; používají se s úspěchem u souprav Terradrill, Calweld a jsou vyráběny se dvěma řeznými hranami;
- firma Salzgitter vyrábí lžicové vrtáky, které se při vytěžení **středově rozevřou** nárazem o horní náražku, a obsah zeminy se vysype.
2. tekoucí písky a zeminy zvláště zvodněné a nesoudržné se vrtají (vybírají) **kalovkami** v pažnicích. Pažnice buď samovolně při vybírání postupují, nebo jsou zaráženy beranidlem či zahlubovány rotačně nebo vibračně. Funkci beranidla ve většině případů přebírá těžká a zeminou po návrtu naplněná kalovka. Vyrábějí se kalovky klapkové průměru 600 mm.
 3. soudržné zeminy, plastické a sypké, alespoň částečně tmelené, se vrtají **talířovými či šnekovými vrtáky**. Nazývají se také „spirál“ a proto je nutno určit si, co se považuje za spirál, talířový vrták nebo šnek:
 - **spirál** vzniká nakroucením mečovitě plochy. Nemá středovou tyč, má většinou velké stoupání a jeho špička je buď ve tvaru rybiho ocasu, nebo vývrtky. V průzkumném vrtání se používá na počátku vrtu;
 - **talířový vrták** je plocha, navařená stupňovitě s malým stoupáním kruhovitě okolo středové tyče;
 - **šnekový vrták** je vrták talířový, který se dá v sekcích napojovat do libovolné délky, takže slouží současně jako dopravní zařízení ze sondy až k povrchu, nebo alespoň v určitých jejích částech (obr. 5.20, 5.21).
 4. k vrtání skalních útvarů se používají korunky, opatřených tvrdokovovými roubíky a destičkami (jako v průzkumném vrtání, jenže korunek s průměrem značně větším).

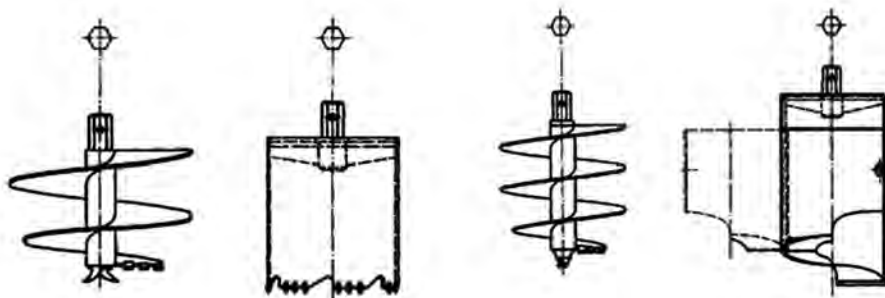


Obr. 5.21 Schéma výroby piloty průběžným šnekem.

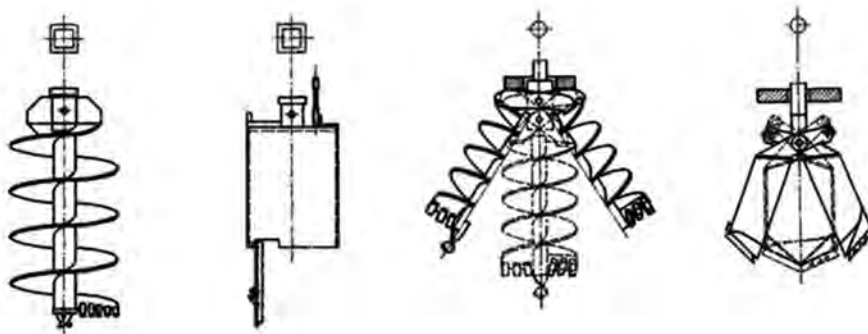
5. **drapákového hloubícího zařízení** používají speciální soupravy, jako je Benoto, Poclair, Bade apod. Drapáků se také používá k nabírání valounů i u rotačních souprav.
6. pro úplnost lze uvést, že **vibrační soupravy používají k hloubení pouze rour**, ať již pažnicových nebo z jádrovek a jen v případě nutnosti se břit

roury naostřuje a tvrdokovem zpevňuje. Při použití pažnic je kolona ukončena upravenou pažnicovou patou.

Konstrukce lžícových (šap) a talířových vrtáků je znázorněna na obr. 5.22 a 5.23. Přehled vrtných nástrojů pro hloubení velkopřůměrových pilot je na obr.



5.24.



Obr. 5.22 Konstrukce lžícových a talířových vrtáků.

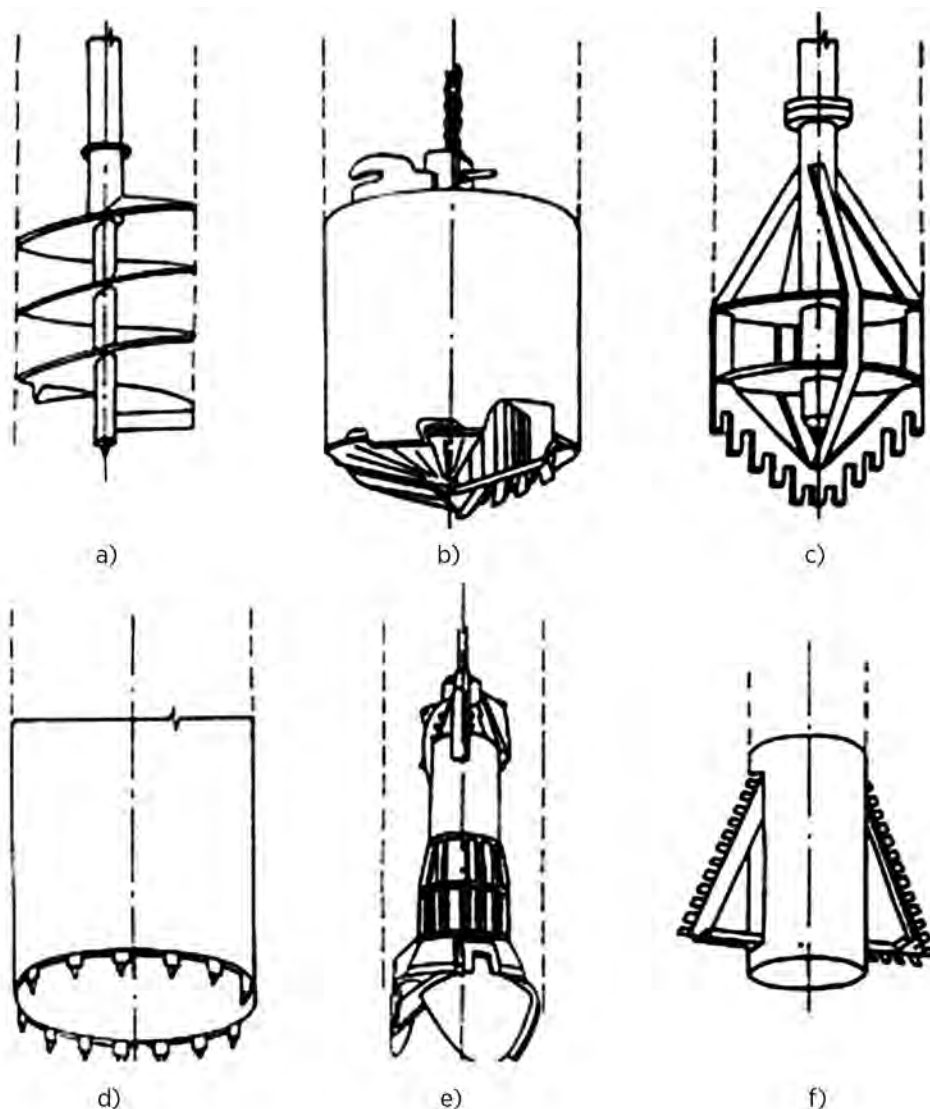
Obr. 5.23 Konstrukce lžícových a talířových vrtáků.

B. Typy vrtných souprav

Typy vrtných souprav používaných pro hloubení velkopřůměrových pilotážních vrtů. Používají se tyto základní typy rotačních vrtných souprav:

- i. soupravy s pevným rotačním stolem, který je instalován na lanová rypadla s použitím výložníku velké délky,
- ii. soupravy s posuvnými rotačními hlavami, které umožňují vytváření přitlaku na vrtný nástroj.

adi) soupravy této konstrukce reprezentují soupravy typu BSP, TERRADRILL, CALWELD, SOIL-MEC. Vrtná nástavba s dieselmotorem tvoří komplex umístěný na plošině, která se na zvláštním výložníku instaluje na lanová (výjimečně hydraulická) rypadla. Konstrukce s pevným rotačním stolem je jednoduchá a vytváří možnost přenosu velkých krouticích momentů. Nevýhodou je malý manipulační prostor pod rotačním stolem. Základní manipulace při vrtných operacích se provádí otočením rypadla. Nevýhodou je také nemožnost uplatnění jiného způsobu vrtání. Naopak výhodou jsou nízké pořizovací náklady.



Obr. 5.24 Vrtné nástroje používané na vrtání velkopřůměrových pilot.

- a - talířový vrták, b - lžicový vrták (šapa), c - stupňovitá fréza,
d - jádrová korunka, e - drapák, f - zvonový rozšiřovač.

Příkladem tohoto typu vrtných souprav je souprava **TERRADRILL 2500**, produkt společnosti BSP International Foundation (Velká Británie). Je nejsilnější soupravou řady Terradrill (625, 1250, 2500) a je kompletovaná na lanové rýpadlo, rotační stůl je umístěn na zádi rýpadla na speciálním výložníku. Souprava vyvine krouticí moment až 110 kNm a umožňuje pažení \varnothing 1 000 mm i více do hloubky 10 – 12 m. **Rotační stůl** je poháněn přes kuželové a čelní soukolí řetězu z převodové skříně o 2 rychlostních stupních, měněných za chodu hydraulickým měničem. Reverzací je umožněna rotace vpravo i vlevo. Přítlaku na nářadí se docílí pomocí hydraulických válců v horní části rotačního stolu. Souprava umožňuje vrtání **lžicovými a šnekovými vrtáky** až do průměru 1 220 mm. Speciálními nástroji

Ize přibrat dno vrtu tak, že se vytvoří široká kuželová pata vrtu až do průměru 2 540 mm a tím se značně zvýší únosnost piloty betonované do tohoto vrtu.



Obr. 5.25 Vrtání velkprůměrové piloty talířovým vrtákem.

Unášečka je dlouhá 12 metrů, je teleskopická ze 3 dílů, dohromady o délce 33 m. Lze s ní vrtat bez odpojování vrtného nástroje při jeho těžení až do hloubky 30 m. Váha této unášečky je 3,2 tuny a trvale visí ve věži na laně. **Vrtnou věž** tvoří příhradový výložník délky 18 m, sklonu 78°, s celkovým protizávažím 11 tun. Vzhledem k tomu, že se tato vysoká věž s těžkou unášečkou a ostatním příslušenstvím otáčí na točně podvozku k vyprazdňování jádra, je nutná dobrá stabilita podvozku.

Pracovní postup: Po ukončeném návrtu se vrtný nástroj (lžícový vrták, šapa, talířový vrták) vytěží i s unášečkou. Na točně podvozku se vše otočí nad místo určené k odkládání navrtnané zeminy (otáčet možno o 90° - 180° i třeba 360°), nárazem uzávěru na spodní část rotačního stolu se dno lžícového vrtáku otevře a obsah vypadne. U šnekového (talířového) vrtáku se jádro odstraňuje urychlenou zpětnou rotací.

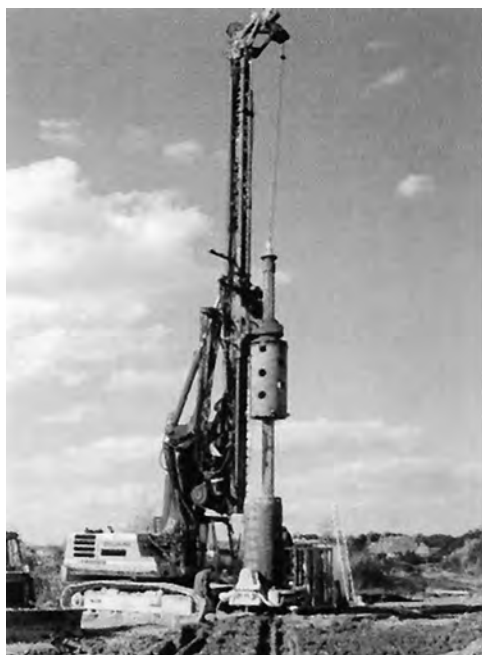
Výhody tohoto typu souprav lze schematizovat následovně:

- vysoký krouticí moment pro vrtání velkými průměry do větších hloubek,
- snadná manipulace s náradím až do hloubky 30 m bez rozpojování s teleskopickou unášečkou,
- snadné vyprazdňování nástroje od zeminy,
- dobrá pohyblivost na staveništi a usazování na osu vrtu,

- možnost zavrtávání do tvrdších hornin,
- možnost vrtání (i když omezená) v pažnicích, tj. v obtížnějších podmínkách při výskytu podzemní vody a v nesoudržných zeminách. V těchto podmínkách lze dále volit dva systémy hloubení a to vrtání s jílovým výplachem a s vibrátorem.

Konstrukčně podobné jako souprava Terradrill jsou soupravy **RTC 10** a **RTH 10** výrobce SOIL-MEC (Itálie) a souprava **CALWELD 155 CH** (USA). Souprava RTC 10 je zcela shodná se soupravou Terradrill, souprava RTH 10 je odlišné konstrukce pro montáž na hydraulické jeřáby typu POCLAIN.

ad ii) tato konstrukce souprav je reprezentovaná soupravami typu SALZGITTER, WIRT, DELMAG. Představují výhodnější a modernější systém vrtání, snadnější manipulaci s vrtnými nástroji a pažnicemi. Disponují s přídatným zařízením pro nárazové a drapákové vrtání, tj. umožňují použití různých technologií hloubení. Mají však vysoké pořizovací náklady a používají nižší krouticí momenty než předchozí typy souprav. V případě velkých krouticích momentů jsou potřebné mohutné rotační hlavy, což je konstrukční nevýhoda.



Vrtná souprava DELMAG RH 1413 se zapažovacím zařízením.



Vrtná souprava DELMAG RH 1413 při hloubení šikmých vrtů pro piloty.

Obr. 5.26 Příklady použití vrtné soupravy DELMAG RH 1413.

Příkladem tohoto typu souprav je souprava **SALZGITTER BB-10**. Je největší ze souprav řady BB, komplexní hydraulická víceúčelová souprava, která umožňuje:

- rotační za sucha,
- rotační s přímým a nepřímým proplachem (sací),
- drapákové hloubení s pažicím zařízením do \varnothing 1 250 mm.

Používá vrtné nástroje s velmi rychlým vyprazdňováním zeminy a vyvine krouticí moment 50 – 60 kNm (což však je nad \varnothing 1 300 mm málo).

Dalším typem je souprava **WIRTH B-5R**, která je největší soupravou z řady B. Umožňuje rotační vrtání za sucha a drapákové hloubení s pažením. Pracuje však s nízkým krouticím momentem (nelze ji použít nad \varnothing 1 200 mm). Dále je to souprava **DELMAG RH 155**. Je instalovaná na lanovém rýpadle (podobně jako skupina souprav řady ad a). Jedná se o nejsilnější soupravu tohoto typu, dokáže vyvinout krouticí moment až 100 kNm. Má dostatečnou délku zdvihu rotační hlavy, která dovoluje manipulaci s pažnicemi délky 7 m. **Rotační hlava** má 2 hydromotory, jeden ve stálém zatížení a druhý se zatěžuje podle odporu na čelbě vrtu. Soupravu lze doplnit **pažicím zařízením** až do \varnothing 1 500 mm pro pažnice průměru 800 – 1 100 mm a 1 100 – 1 600 mm.

Použití technologie rotačního vrtání za sucha je vhodné do soudržných zemín, v omezené míře pod hladinou spodní vody. Je nevhodná pro vrtání mocných poloh zvodněných štěrkopísků a písků a velmi obtížné je provrtávání skalních poloh, což vyžaduje použití velkopřůměrových tvrdokovových korunek.

2. DRAPÁKOVÉ HLOUBENÍ PILOTÁŽNÍCH VRTŮ

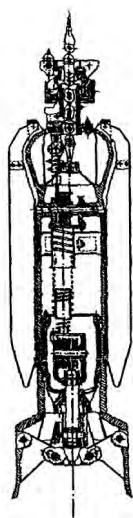
Drapákové hloubení pilotážních vrtů spočívá v zaražení **drapáku** s různě upravenými lopatami (čelistmi) do zeminy, uzavření lopat, rychlé těžení drapáku na laně, na povrchu uvolnění zeminy po otevření drapáku v závěsné koruně. Jedná se o modifikaci **nárazového vrtání** využívající nárazový drapák na laně až do \varnothing 1,5 m.

Drapákové hloubení je nejužívanější metoda hloubení v **nesoudržných štěrčích, štěrkopískách a nesoudržných zemínách, zvláště pod hladinou podzemní vody** a v některých případech i ve zvětralých skalních horninách. Ve srovnání s rotačním vrtáním je hloubení vrtů pomalejší, ale spolehlivější a je pravděpodobněji dosažení dna vrtu při jeho důkladném **propažení**.

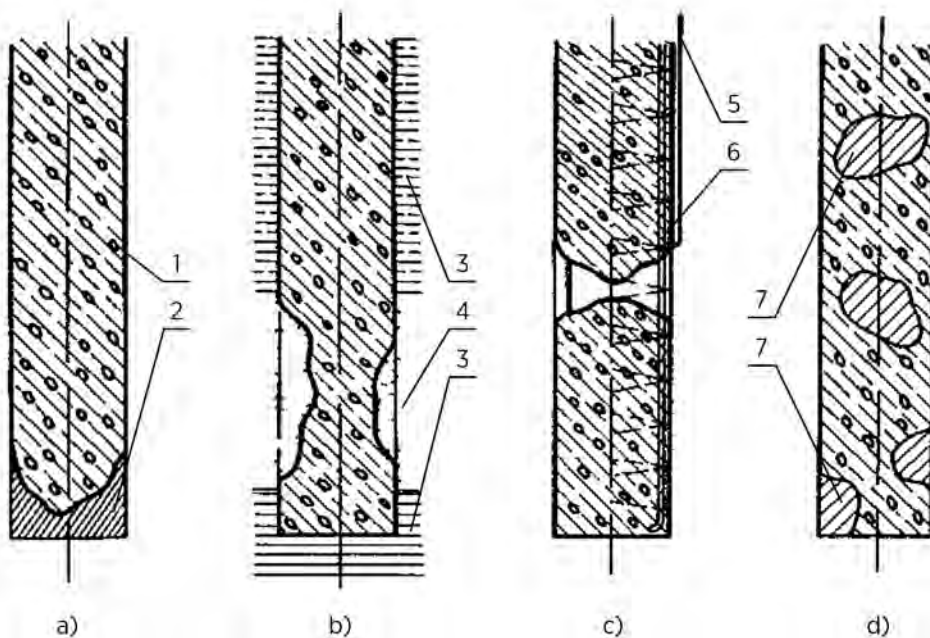
Pro tento způsob hloubení vrtů se používají **specializované soupravy**, používající jen tuto technologii, doplněné speciálními nástroji pro kalování, dlátování a také pažicím zařízením. V některých případech jsou soupravy doplněné také nářadím pro technologii rotačního vrtání bez proplachu. Nejkomplexnější vybavení mají soupravy produkované firmami BENOTO, BAUER, ITAG.

Drapáky se rozdělují na:

1. mechanické:
 - jednolanové,
 - dvojlanové
 - volně zavěšené,
 - vedené,
2. hydraulické:
 - volně zavěšené,
 - vedené.



Obr. 5.27 Drapak HD 5.



Obr. 5.28 Časté chyby vrtných, na místě betonovaných pilot.

- a – beton piloty (1) nespočívá v patě na únosné zemině. Napadávká (2) ze stěn vrtu nebyla včas odstraněna nebo byla zemina pod patou piloty nevhodným vrtným postupem nakypřena.
- b – Nesprávnou betonáží při vytažení pažnice v sypké zvodnělé vrstvě (4), uzavřené mezi nepropustnými polohami (3), došlo k zúžení dířku piloty a tím ke snížení její únosnosti.
- c – Při nesprávné zrnitosti kameniva a převibrování betonu lze při vytažování pažnice (6) pilotu přetrhnout.
- d – Nedodržením požadavku hygieny betonáže vznikly v pilotě polohy méně hodnotného betonu (7) nebo při špatném vibrování i vzduchové dutiny, které snižují únosnost piloty.

Drapáky se zavěšují na výložník rypadla, jako nosiče. Všeobecný trend směřuje k používání **hydraulických a mechanických dvojlanových drapáků** vedených na vodící tyči – unášečce. Pro zajištění velkého výkonu je nutná velká síla drapáku – minimálně 30 kN, lépe 50 – 100 kN.

Jednolanový drapák má jedno lano pro spouštění i zavírání čelistí. Použití maximálně do hloubky 25 – 30 m, ve štěrcích do \varnothing valounů 10 cm.

Dvoulanový drapák má dva na sobě nezávislé bubny s lany. Jeden pro zvedání a spouštění drapáku, druhý pro zavírání a otevírání čelistí. Výhodou je, že lze otevírat čelisti až v rýze. Je také možné ho zavěsit na vodící tyči.

Hydraulický drapák používá k zavírání a otevírání čelistí hydraulické písty, hydraulické čerpadlo je umístěné v hlavě drapáku nebo v rypadle. Je zavěšen na vodící tyči. Výhodou je velká zavírací síla. Předností použití vodící tyče je vedení drapáku v rýze, což umožňuje průběžnou kontrolu svislosti hloubení rýhy, Drapák má značnou tíhu, což se odráží ve větším výkonu drapáku. Ukázka hydraulického drapáku je na obr. 5.27.

Nejrozšířenějšími soupravami jsou zařízení pro **drapákové hloubení vrtů společnosti BENOTO** (Francie). Jsou to komplexní soupravy vybavené pro speciální zakládání staveb do všech druhů zemin.

Soupravy jsou vyráběny ve třech provedeních:

- typ EDF Super 1180 pro prováděno vrtů do 1180 mm,
- typ EDF-1580 s rozsahem průměru vrtů 1 180 – 1 580 mm,
- typ EDF-2000 s rozsahem průměru vrtů 1 580 – 1 960 mm.

Při provádění vrtaných pilot může docházet vlivem technologických nedostatků a nekázně k chybám, které mají za následek sníženou únosnost pilot, nebo dokonce její nefunkčnost. Nejčastější vady vrtaných pilot jsou znázorněny na obr. 5.28. Správně usazená armatura ve vyčištěném vrtu je zobrazena na obr. 5.29. Ukázka technologicky dobře provedené obnažené piloty je na obr. 5.30.



Obr. 5.29 Armokoš piloty osazený ve vrtu.



Obr. 5.30 Ukázka obnažené velkopřůměrové piloty.

3. TECHNOLOGIE PRO ZAKLÁDÁNÍ NA PILOTÁCH METODOU HOCHSTRASSER-WEISSE

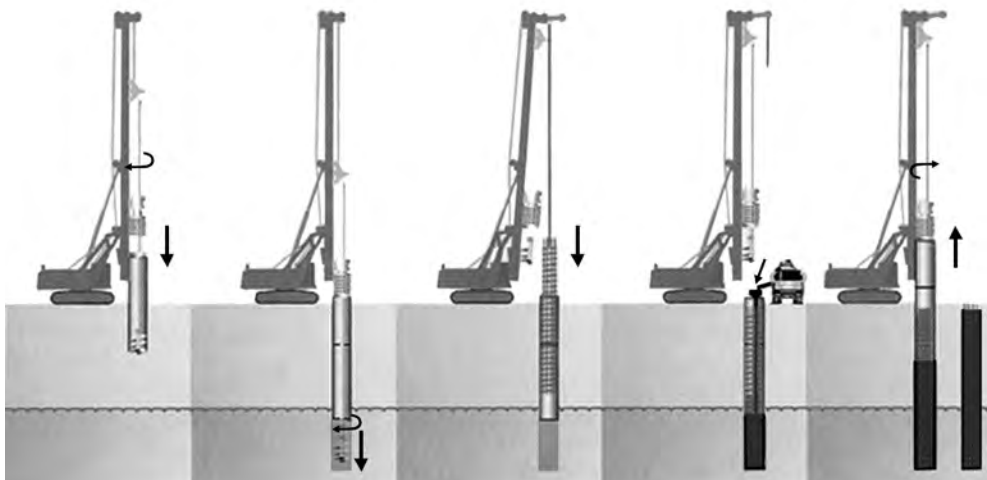
Principem metody je zapouštění pažnice v celé délce, jež se rovná délce piloty, **pomocí pneumatické kyvné hlavice za současného těžení zeminy z pažnice drapákem**; betonáž a těžení pažnice se děje stlačeným vzduchem za současného působení kyvné hlavice.

Do **sestavy zařízení pro tuto technologii** patří pásový bagr, zajišťující přemísťování pažnic, manipulaci s vrtným nástrojem a armaturou, dlouhá pažnice s nahoře nasazenou kyvnou hlavicí, vodící úvodní pažnice, vrtné nástroje, kompresor a betonárka. Jako **pažnice** se používají tenkostěnné rource se silou stěny 8 – 12 mm a svařovanými spoji. Nejobvykleji používané průměry pažnic jsou 52, 64, 75, 90, 125 mm. Na pažnicové hlavě je nasazen **pohonný agregát**, tzv. **kyvná hlavice**. Skládá se ze dvou ramen, opatřených na kocích velkými setrvačnickovými tělesy (2 – 4,5 t). Hlavice spočívá v rovině kolmé k ose piloty a je volně pohyblivá na nosném věnci na konci pažnice. Pohon hlavice je prováděn **stlačeným vzduchem do tlakových válců na obou ramenech** a pootáčí hlavici okolo osy piloty. Po pootočení cca o 45° narazí hlavice na zářezku v pažnici a setrvačnicková tělesa přenáší pohyb na pažnici. V tomto okamžiku agregát automaticky přepne na druhý válec, hlavice se pohybuje rotací nazpět a po nárazu na druhou zářezku pootočí pažnici v obráceném směru. Pažnice je tak uváděna trvale do **střídavého horizontálního kyvně vibračního pohybu**. Velikost pootočení je v rozmezí 4 – 15 cm podle velikosti plášťového tření o zeminu. Konec pažnice uzavřen pomocí víka, gumového těsnění a rychlouzávěru. Pro vybírání zeminy se používají **drapáky**.

Technologie provádění pažených pilot. Nejdříve úvodní pažnice délky 2 – 4 m. Do ní se vloží **pažnice, jejíž délka je rovna délce piloty, opatřená nahoře kyvnou hlavicí**. Po dosažení dna a vyčištění drapákem, vložení armatury je pažnice naplněna betonem. Potom začíná vlastní **betonáž stlačeným vzduchem**. Pažnice je nahoře vzduchotěsně uzavřena a do prostoru mezi vrchní pažnicovou uzávěř a beton se tlačí (0,6 MPa) stlačený vzduch. Zároveň se **pažnice kyvným pohybem vytahuje**, tak dochází ke **zhutnění betonové směsi**. Hladina betonu v pažnici klesá, takže po vytažení pažnice o 2 – 3 m nutno doplnit betonovou směs. Skutečně spotřebované množství betonu je o 20% větší než teoretický objem vrtu. Systém tlakové betonáže je pro kvalitu betonáže piloty zvláště důležitý, protože beton bezpečně vyplní veškerý prostor za uvolněnou pažnicí.

Výhodou této technologie je nezávislost na bagru, což umožňuje přístup i do těžko přístupných míst, jako jsou základové jámy a svahy. Technologie umožňuje provádění pažených pilot pod vodní hladinou, což je zvláště vhodné při výstavbě přístavů a nábřeží. Použití kyvné hlavice umožňuje také provádění šikmých pilot

Pažící zařízení pro drapákové soupravy. Důvodem pažení pilotážních vrtů je **rozdílnost geologických podmínek při zakládání na pilotách**. Pro tento účel se používá **hydraulické pažící zařízení**, které tvoří doplňkové vybavení drapákových souprav. Pažnice se tímto zařízením zatlačují do zeminy a těží se z vrtu za současného kyvného pohybu. Kromě klasické technologie pažení vrtů (obr. 5.31 a 5.33) druhou možností pažení je právě technologie Hochstrasser-Weisse. Třetí možností pažení je vibrační vrtání. Při nemožnosti pažení lze v některých případech vzít v úvahu vrtání s jílovým výplachem (obr. 5.35).



Obr. 5.31 Schéma výroby piloty pažené ocelovými pažnicemi pomocí vrtné hlavy.

4. PAŽNICE POUŽÍVANÉ PŘI HLOUBENÍ PILOTÁŽNÍCH VRTŮ

Geologické podmínky, v nichž se hloubí vrty pro piloty, bývají zpravidla velmi složité, takže pažení je nutností. Při hloubení drapákem v sybkých, zvodnělých nebo štěrkopískových polohách s velkými valouny dochází k dobrým výsledkům pouze za předpokladu, že se vrt při hloubení současně paží tak, aby pažnice byla stále v předstihu před hloubicím nářadím. Tím se zabraňuje tvoření kaveren, které by ohrozily stabilitu okolostojících budov, vyplavování jemných frakcí a změně zrnitostní skladby provrtávaného úseku a celé řadě dalších nepříznivých vlivů při průběhu vrtání.

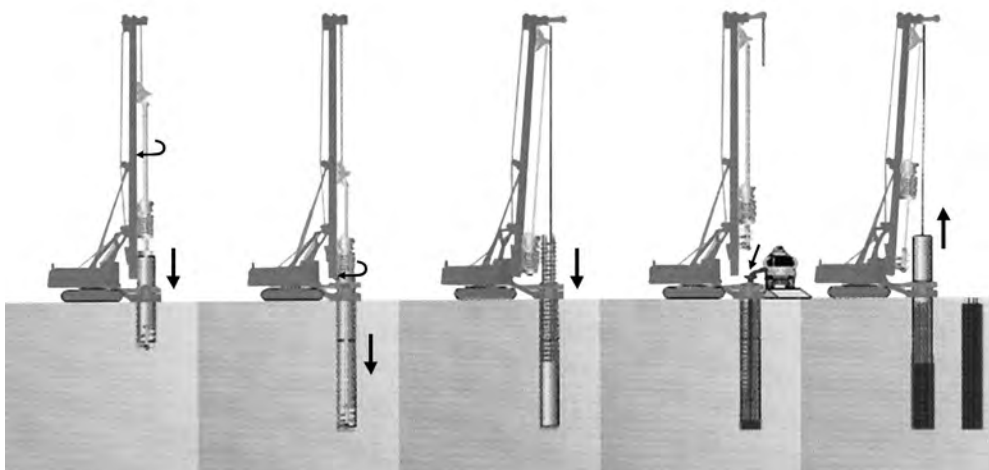
Při nárazovém vrtání se pažnice zahlubují samovolně nebo se dorážejí. Také při **rotačním vrtání pilot**, kde se pažnice nemusí zahlubovat silou, je možno použít **klasických závitových pažnic typu I nebo III**.

Tab. 5.2 Rozměry velkopřůměrových pažnic.

Vnější průměr	Vnitřní průměr	Síla stěny
[mm]	[mm]	[mm]
470	400	35
530	460	35
610	540	35
670	590	40
880	800	40
970	890	40
1080	1000	40
1180	1100	40
1300	1220	40



Obr. 5.32 Ukázka pažení vrtu pomocí posuvné rotační hlavy.



Obr. 5.33 Schéma výroby piloty pažené ocelovými pažnicemi pomocí pažícího zařízení.

Je-li třeba **pažnicemi pohybovat nuceně**, možno u silných vrtných souprav použít **rotace s unášečem**. V takových případech jsou většinou roury velkých průměrů vcelku nebo vzájemně svařovány. Při pažení vrtů **pažícím zařízením**, což je speciální přídavné zařízení k soupravám, je využito oscilačního **kruhového pohybu za současného dotlačování**. Tento způsob vyžaduje speciální **bezzávitové spojení pažnic**, které zaručuje přenesení kroutícího pohybu na celou kolonu bez rizika roztočení. Základní rozměry pažnic, používaných pro pažení velkopřůměrových pilotážních vrtů, uvádí tabulka č. 5.2.

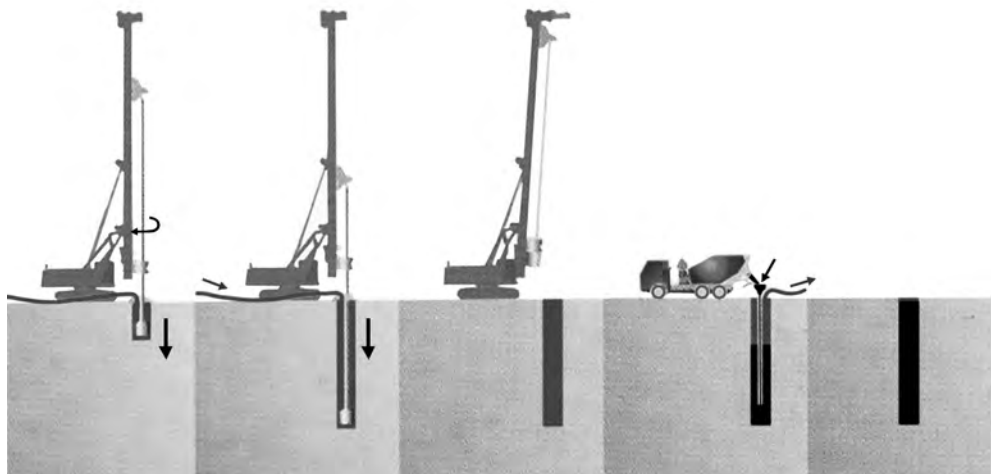
Pažnice jsou při této technologii značně namáhány jak **vnějším tlakem** v důsledku svíravého účinku provrtávaných hornin, tak i **tlakem, tahem a krutem** při překonávání třecích odporů během zapažování i odpažování. **Pažící zařízení** pracuje s tahy kolem 400 MN a kroutícími momenty až do 600 MNm. Z těchto podmínek vycházejí i zvláštní požadavky na pažnicovou kolonu.



Obr. 5.34 Ukázka pažení vrtu pomocí pažícího zařízení.

Základní podmínkou je **vysoká odolnost trub vnějším tlakům** nezpevnělých a zvodnělých hornin a **pevnost vzpěrná i na tah** při namáhání během zapažení

i odpažování. Aby se kývavý pohyb pažícího zařízení přenesl až na počvu vrtu i při použití dlouhé kolony a maximálního krouticího momentu pažícího zařízení, není na celou délku kolony přípustný vyšší zkrut než 1° . Konečně jsou tu přísné požadavky na **pažnicové spojení**, které musí bezpečně a bez deformace **přenášet všechny druhy namáhání**, dovolovat rychlou montáž a demontáž, neklást nároky na přesnou kruhovitost trub, výrobně těžce dostupnou a konečně umožňovat libovolnou zaměnitelnost spojů.



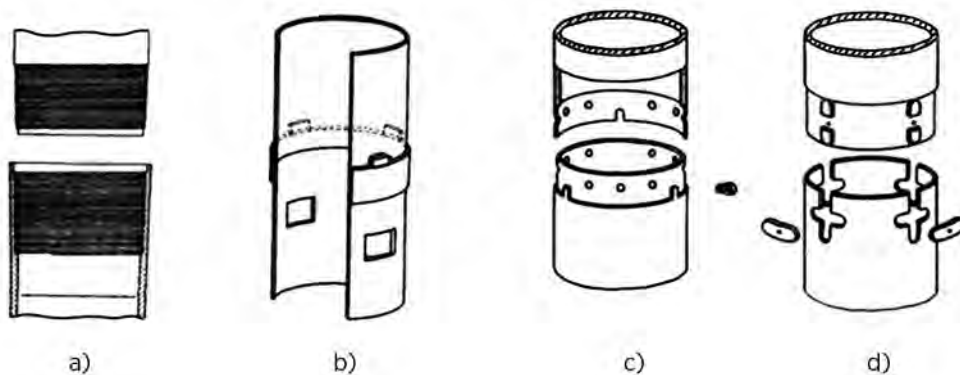
Obr. 5.35 Schéma výroby piloty pažené jílovou suspenzí.

V našich podmínkách se používá k tomuto účelu varných rour a pro ně bylo vyvinuto několik druhů **bezzávitových spojů**, které umožňují oboustranné točení doleva i doprava i osový tah.

Na obr. 5.36 a 5.37 jsou zobrazena používaná spojení pažnic:

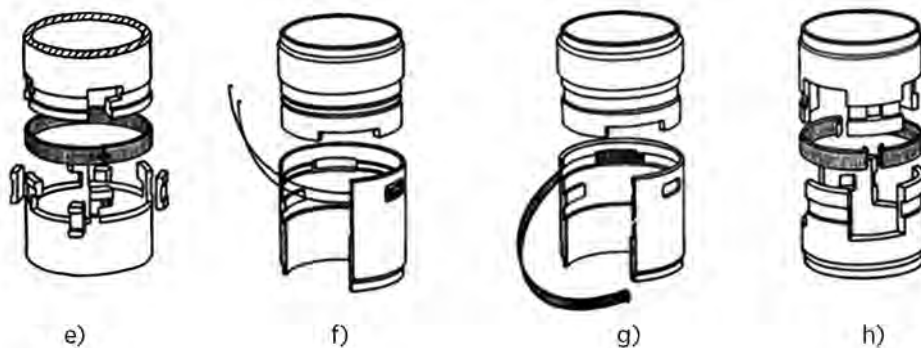
- A. závitové spojení**, běžně používané u pažnic typu I a III;
- B. spojení do vytvořeného osazení**, jež je přivařeno pomocí příložných desek v několika bodech podle potřeby. Při těžení se tyto desky, resp. jejich svár odstraní;
- C. spojení do vytvořeného osazení jinak upraveného než ad B** a zajištěné rozpínacími šrouby používané zejména u souprav resp. pažícího zařízení fy Benoto;
- D. pažnice spojené vloženými kameny** (spojení piškotové). Trubky jsou do sebe vkládány osazením, přičemž hrdlo zapadá do podélných per, které umožňují oboustranný krut. Tah umožňují příčné vložky, zajištěné šroubem;
- E. spojení zámkové** s přídatnými vložkami ve výřezech, zajištěné planžetou;
- F. spojení drátové**, krut přenášejí zuby a proti tahu jsou zajištěny vloženými ocelovými dráty (strunami) do předem vysoustružených drážek;

- G. spojení planžetové**, toto spojení pažnic je založeno na stejném principu jako spojení drátové, popsané ad F, avšak namísto drátů jsou použity planžety (ocelové pásky). Je to spojení pevnější a výrobně jednodušší;
- H. zámkové spojení**, pažnice do sebe zapadají zuby a proti rozpojení jsou zajištěny povrchovými zapuštěnými pásky.



Obr. 5.36 Užívaná spojení pažnic.

V praxi se používá především bezzávitových spojení uvedených ad B, C, D, F a G. S pažnicemi takto spojenými lze manipulovat doleva i doprava, nahoru i dolů a k pažení s nimi možno použít jak pažících zařízení, tak i vrtných souprav, pokud to jejich technické vybavení umožňuje.



Obr. 5.37 Užívaná spojení pažnic.

5.1.1.5 ZÁKLADY STANOVENÍ VÝPOČTOVÉHO ZATÍŽENÍ PILOT

Výpočtové zatížení osamělých pilot se stanoví dle ČSN 731 002:

- podle tabulkových hodnot normového zatížení pilot – **normová únosnost pilot**, používá se u nenáročných staveb a v jednoduchých základových poměrech,
- výpočtem – **výpočtová únosnost pilot**,
- na základě **zatěžovacích zkoušek**.

Přitom se přihlíží:

- ke způsobu zatížení pilot (svislé, šikmé, vodorovné, ohybovým momentem),
- k výrobnímu postupu,
- ke způsobu přenosu zatížení na základovou půdu (piloty opřené, vetknuté, plovoucí),
- k druhu materiálu piloty,
- k rozměrům průřezu kruhové piloty.

Ad a) **Normová únosnost pilot** se používá především u nenáročných staveb, v jednoduchých základových poměrech a pro potřeby projekce pro předběžné statistické posouzení. Hodnoty normové únosnosti pilot pro některé druhy pilot podle Seeflutha (1) jsou uvedeny v tabulkách č. 5.3 až č. 5.5.

Ad b) **Výpočtová únosnost pilot** u náročných staveb, ve složitých základových poměrech, není-li možné provést zatěžovací zkoušku osamělé piloty nebo skupiny pilot. Za předpokladu provedení zatěžovací zkoušky má výpočtové zatížení jen kontrolní význam.

Výpočtové zatížení osamělé piloty (V_r) se stanoví

$$V_r = P_s + P_p \quad [\text{N}] \quad (5.2)$$

$$V_r = m_1 m_3 F q_0 + m_2 m_4 O \sum h_i q_s \quad [\text{N}] \quad (5.3)$$

kde

q_0 - odvozené normové zatížení paty piloty [N/m^2],

q_s - odvozené normové zatížení na plášti piloty [N/m^2],

m_p, m_2 - součinitel podmínek působení závislý na typu piloty,

m_3, m_4 - součinitel podmínek působení závislý na způsobu zatížení,

F - plocha průřezu paty piloty [m^2],

O - obvod kruhového průřezu piloty [m^2],

h_i - mocnost i -té vrstvy, kterou pilota prochází [m],

P_s - výpočtová únosnost paty piloty

P_p - výpočtová únosnost pláště piloty

Prochází-li pilota vrstvou, která se stlačuje více, než činí sedání piloty, počítá se s tzv. negativním plášťovým třením (P_n), které má zápornou hodnotu:

$$V_r = P_s + P_p - P_n \quad (5.4)$$

Tahem namáhaná pilota má $m_3 = 0$, nepočítá se tedy se složkou typu zatížení piloty, veškerý tah přenáší výztuž a plášťové tření.

Při stanovení výpočtového zatížení skupiny pilot se vychází z výpočtového zatížení osamělé piloty a rozmístění pilot vzhledem k celkovému zatížení, aby žádná z pilot nebyla namáhána více než V_r .

Tabulka 5.3 Normová únosnost V_0 beraněných dřevěných pilot [kN].

Hloubka vetknutí vrstvy [m]	Poměr průměru paty k střednímu průměru [mm]									
		250 × 280			300 × 330			350 × 380		
	l_b l_c	0,3 0,6	0,5 0,8	0,7 1,0	0,3 0,6	0,5 0,8	0,7 1,0	0,3 0,6	0,5 0,8	0,7 1,0
3		80	160	230	105	215	310	135	270	400
4		95	180	-	125	245	-	155	310	-
5		125	230	-	160	300	-	200	380	-

Tabulka 5.4 Normová únosnost V_0 beraněných masivních železobetonových pilot [kN].

Hloubka vetknutí vrstvy [m]	Poměr průměru paty k střednímu průměru [mm]									
		250 × 280			300 × 330			350 × 380		
	l_b l_c	0,3 0,6	0,5 0,8	0,7 1,0	0,3 0,6	0,5 0,8	0,7 1,0	0,3 0,6	0,5 0,8	0,7 1,0
3		115	235	340	190	360	530	240	470	660
4		135	265	380	215	295	580	270	510	710
5		175	330	-	265	480	-	325	605	820
6		190	365	-	290	515	-	355	645	-

Tabulka 5.5 Normová únosnost V_0 vrtaných pilot [kN].

Průměr piloty d [m]	Normová únosnost V_0 [kN]
300	160
350	190
400	220
450	300

5.1.2 PODZEMNÍ STĚNY

5.1.2.1 ÚČEL PODZEMNÍCH STĚN

Technologie provádění podzemních stěn je nejmladší technologie zakládání staveb. Její využití se datuje od roku 1948. Tato technologie nachází uplatnění zejména:

- přehradní stavitelství,
- zakládání objektů v zastavěných oblastech (zástavba proluk, využívání stavebních míst do hloubky, výstavba podzemní dráhy v Miláně – milánské stěny),
- do malých hloubek svahování, velké hloubky ve městech - pouze **svislé stěny s vyztuženými stěnami na projektované základové ploše**.

Z účelového hlediska lze rozdělit podzemní stěny na:

a. těsnicí stěny – uplatňují se jako souvislé těsnicí clony, zabraňující průsakům vod. Jsou to clony v přehradním stavitelství, těsnicí jímký stavebních jam, těsnicí clony zamezující šíření znečištěných a kontaminovaných vod (z chemických továren, letišť, skladů pohonných hmot apod.), protipovodňové hráze:

- mají široké uplatnění – také pro hydrocentrály,
- použití tam, kde by byl jiný způsob těsnění (odvodnění, injektáž) technicky obtížný a nákladný,
- výplň: beton (prostý i vyztužený), jílocementový beton, jílocementová směs,
- hloubkový dosah: 30 – 40 m;

b. pažící stěny vytvářejí provizorní pažení stavebních jam. Používají se zejména v zastavěných územích, kde ohraničují stavební jámu a zabraňují destrukci sousedních budov:

- všude tam, kde lze zakládat ve svahované jámě,
- lze je budovat také jako pilotovou stěnu,
- stěny jsou kotveny řadou kotev,
- lze je provést také z vyztuženého betonu a často kotvené,
- používají se při výstavbě metra: stanic a vestibulů,
- také jako startovací komory pro razicí štít,
- hloubka přes 20 m;

c. konstrukční stěny – hloubkové zakládání různých objektů. Svislé stěny, přebírající funkci obvodového zdiva nebo tvoří samostatné nosné pilíře

- přenášejí zatížení horní stavby do podloží,
- zakládání vysokých komínů.

Těsnicí stěny mají funkci pouze těsnicí. **Pažící a konstrukční stěny** mají statické působení často spojeno s účinky těsnicemi. Tato situace se promítá i do použití **výplňových materiálů**. Těsnicí stěny používají jílu, jílocementový beton, beton s použitím chemických složek nebo prostý beton. Pažící a konstrukční stěny využívají zejména železobeton.

Podle technologie výroby se rozdělují na:

- a. podzemní stěny štětové,
- b. podzemní stěny záporové,
- c. podzemní stěny pilotové,
- d. podzemní stěny budované pod ochranou jílové suspenze.

5.1.2.2 ŠTĚTOVÉ PODZEMNÍ STĚNY

Jsou to **mělké podzemní stěny** pro vodotěsné uzavření stavebních jam pod souvislou hladinou vody. Jedná se o souvislou stěnu tvořenou **štětovnicemi**, které se souvisle beraní těsně jedna vedle druhé. Podmínkou použití je, že štětovnice lze beranit až na požadovanou hloubku. Pro zaražení se používají **beranící soupravy** s vodítky pro navádění štětovnic.

Oblast použití – zachycení vodního nebo zemního tlaku:

- pro prozatímní stavby,
- nahrazují pažení, zejména v písku,
- pevné pažení jam, s minimálním poklesem okolního terénu,
- pažící a těsnicí jímky,
- použití také jako trvalé konstrukční štětové stěny – nábrežní zdi, plavební komory, proti podemletí mostních pilířů, ochrana břehů proti erozi,
- jako těsnicí clony pod jezy a v zemních hrázích.

Druhy štětovnic:

A. dřevěné, pro malé stavby, do hloubky 3 m, nízké náklady,

B. ocelové, jsou dražší, lze je použít několikrát, do větších hloubek i do zemin s valouny kolem 200 mm,

C. železobetonové, používají se výjimečně, jen ve snadno prostupných zeminách.

A. DŘEVĚNÉ ŠTĚTOVÉ STĚNY

Složení dřevěných štětových stěn:

- dřevěné štětovnice,
- vodící piloty,
- dva páry kleštín.

Dřevěné štětovnice tvoří hranoly z borového dřeva:

- na hlavě zkoseny nebo opatřeny ocelovou objímkou,
- špička klínovitá, někdy s plechovou botkou,
- do hloubky: 1 m – štětovnice síly 100 mm,
2 m – štětovnice síly 140 mm,
3 m – štětovnice síly 180 mm.

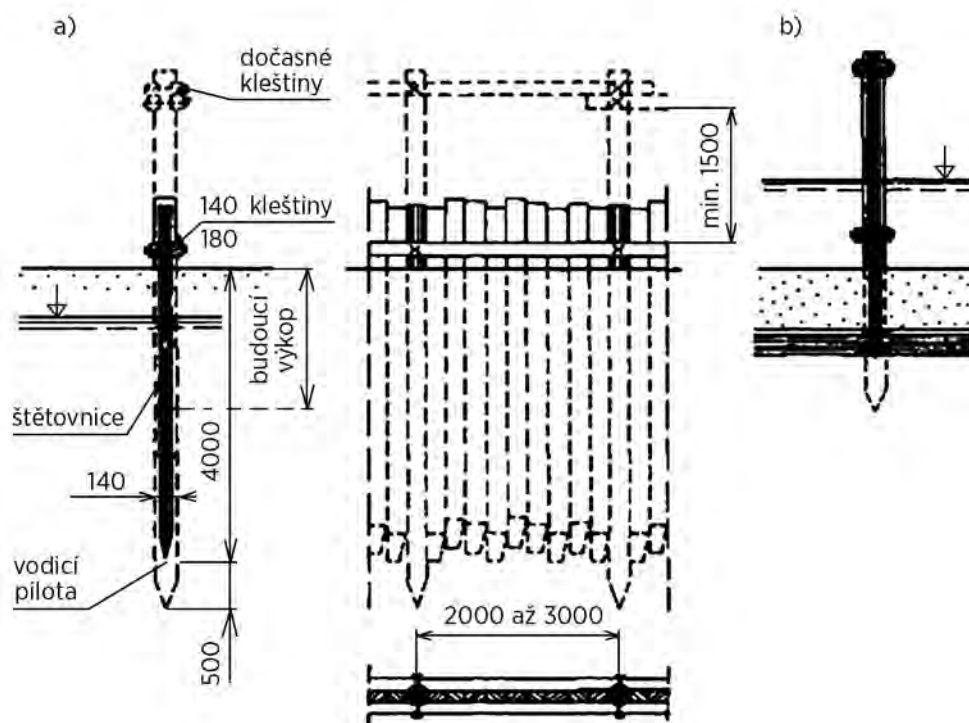
Vodící piloty

- kuláče $\text{Ø } 200 - 250 \text{ mm} = 2 \times \text{síla štětovnice}$,
- 2 – 3 m od sebe,
- o 0,5 m hlouběji než štětovnice.

Kleštiny

- 1 pár hranolů $120 \times 140 \text{ mm}$,
- zapustí se do vodících pilot a přišroubují se,
- pro stěnu dva páry kleštín – 1,5 m od sebe na výšku, druhý pár je nad prvním a po doražení stěny se odnímá,
- při beranění do vody je druhý pár pod prvním, tj. ve vodě.

Technologii výbory znázorňuje obr. 5.38.



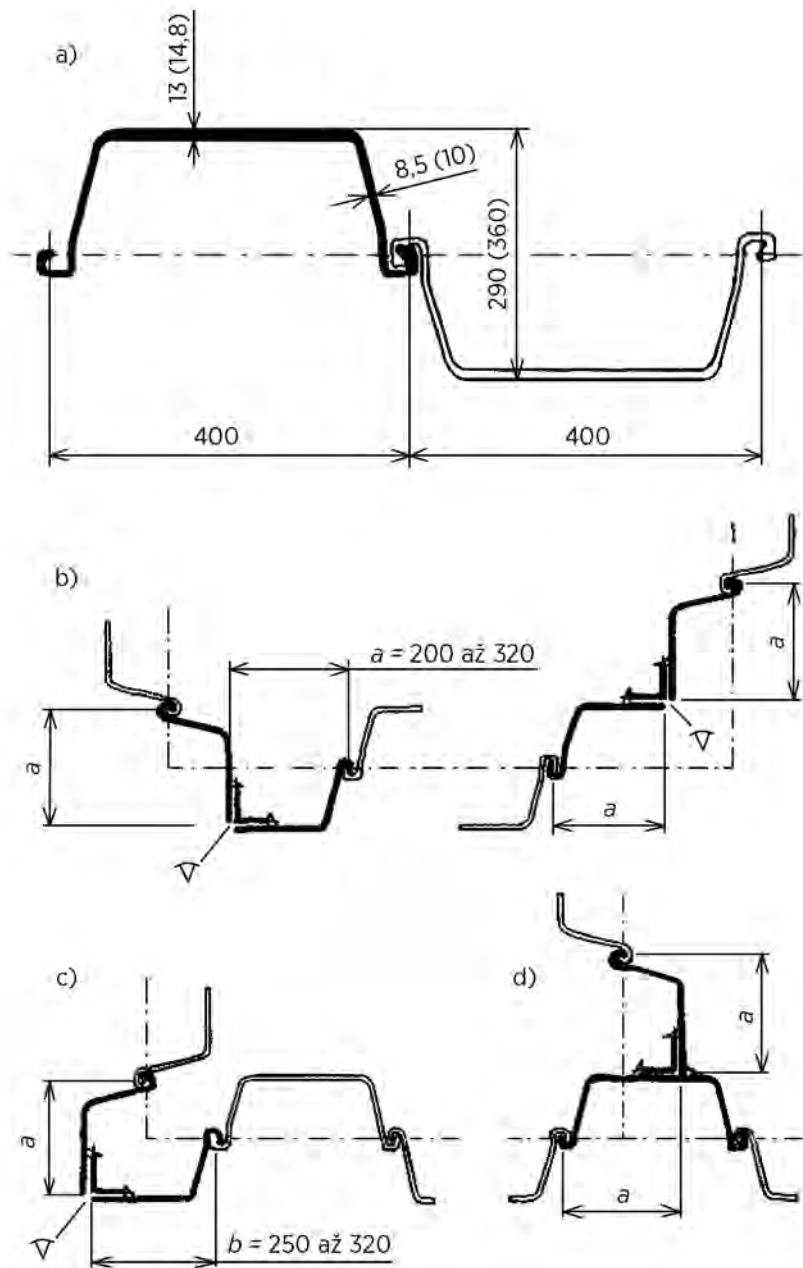
Obr. 5.38 Dřevěná štětová stěna.

a – na suchu, b – ve vodě.

B. OCELOVÉ ŠTĚTOVÉ STĚNY

Složení ocelových štětových stěn:

- ocelové štětovnice spojené zámky,
- tenké stěny, síla cca 10 mm, při beranění dobře pronikají do zeminy, pokud není balvanitá,
- použití do hloubek přes 20 m.



Obr. 5.39 Ocelové štětovnice Larssen.

a - normální profil (kóty značí rozměry profil III n, v závorce IV n), b, c - nároží, d - odbočka.

Druhy ocelových štětovic:

1. tvar U Larsen – larsenky – po obou stranách stejné zámky;

- štětová stěna se sestavuje podélným zasouváním jedné štětovnice do druhé, sousední štětovnice se kladou střídavě vždy jedna vlevo a druhá napravo od osy stěny,
- doporučená obchodní délka larsenek v ČR pro profily II n, III n je 6 – 16 m, pro profil IV n pak 12 – 20 m; největší válcovaná délka 22 m.

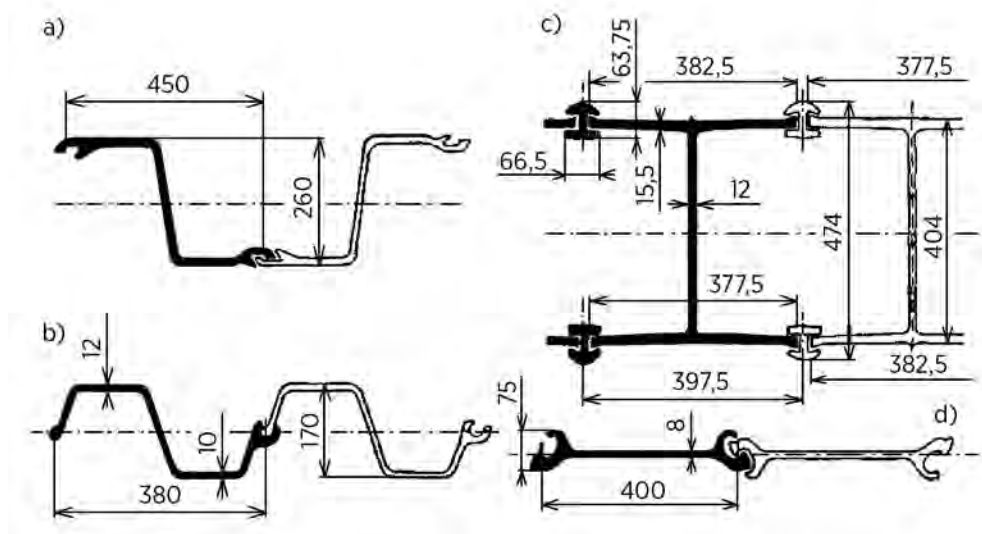
2. tvar Z – štětovnice Belval Z, výhodné pro těžké beranění.

3. ploché štětovnice – Belval P, vhodné pro válcové jímky, zámky vydrží tah až 200 kN na 1 m výšky stěny a dodávají štětovnici potřebnou příčnou tuhost.

4. tvar S – štětovnice Terre Rouge.

5. tvar H – zvláště mohutné štětovnice Peine.

Ocelová štětovnice síly 10 mm vydrží ve sladké vodě v mírném klimatickém pásmu 80 let, v tropech 70 let. Ve slané vodě je trvanlivost 40 – 50 let. Lze je však chránit nátěrem. Pro mohutné podzemní stěny se vyrábějí štětovnice šířky až 500 – 711 mm. Pro zlevnění pažení v rýhách se vyrábějí lehké ocelové štětovnice. Lze je kombinovat se standardními štětovnicemi.



Obr. 5.40 Ocelové štětovnice jiných tvarů než tvaru U.

a – Belval Z-III n, b – Terre Rouge III, c – Peine, d – Belval P.



Obr. 5.41 Ukázka provádění ocelové štětové stěny beraněním.



Obr. 5.42 Beranění štětových stěn pro regulaci potoka.

C. ŽELEZOBETONOVÉ ŠTĚTOVÉ STĚNY

Železobetonové štětové stěny jsou vzácné, neboť málo těsní a hůře jsou beraněny. Používají se k mělkému beranění, např. ochrana břehů proti erozi. Jsou odolnější proti abrazi pískem.

Technika pro provádění štětových stěn:

Jako hlavní technické prostředky pro ražení štětovnic se používají diesellová a vzduchová **beranidla a vibrátory**. Těžká beranidla pracují na vodící věži, montované na pásovém nosiči. Jsou vhodná pro beranění štětovnic do hloubek 8 až 12 m i v těžších základových půdách. Lehčí beran může pracovat letmo zavěšený na háku jeřábu. Pro vytahování štětovnic slouží speciální vytahovače, opatřené kleštinami pro uchopení štětovnic a také vibrátory.

Vibrační hloubení vrtů se používá v nesoudržných, rychle se zavalujících zeminách, zvodněných píscích a štěrcích. **Vibrátor**, pohybující se na vrtném stožáru, je spojen s **hloubicím nástrojem**, kterým je v tomto případě **ocelová štětovnice**, na kterou přenáší kmitavý pohyb a která takto proniká do nesoudržné zeminy.

5.1.2.3 ZÁPOROVÉ PODZEMNÍ STĚNY

Pro velké hloubky stavebních jam nad 5 m není vhodné pažení ze dřeva pro velké zeminové tlaky. Pro tyto účely se používá **záporové pažení: zajištění stavebních jam se svislými stěnami – svislými ocelovými nosníky s vodorovným**

dřevěným pažením. Při malých hloubkách obnažené části jsou nerozepřené, obvykle jsou zajištěny rozepřením nebo **zakotvením.**



Obr. 5.43 Ukázka záporové podzemní stěny.

Technologie provedení záporových podzemních stěn:

- **zarážení – beranění svislých nosníků** (I profil v rozstupech 1,5 – 2,0 m do zeminy, případně jejich vložení do vyvrtaných otvorů,
- při postupujícím výkopu se stěny vrty chrání vkládáním dřevěných pažin.

Zápory – ocelové nosníky tvaru I – výška 240 – 400 mm, vzdálenost 1,5 – 2,0 m, do hloubky 20 m

Pažiny – silné 100 mm dřevěné nebo železobetonové desky – ve vodorovné poloze mezi zápory

Použití záporových podzemních stěn:

- záporová stěna poskytuje **bezpečnější pažení** než dřevěné pažení,
- lze ji použít do všech zemín, kde lze beranit,
- zemina musí být suchá nebo odvodněná a stabilita stěny musí dovolit po odkopání zatažení vodorovných pažin,
- ve štěrkových zemínách, kde je beranění zápor obtížné, **vkládají se zápory do vývrtů** Ø 500 – 800 mm; vrty se vyplňují betonem nebo štěrkem,

- do hloubky 4 m se záporové stěny nemusí rozpínat. Do větších hloubek se rozpírají napříč přes jámu rozpěrou z jednoho kusu – výhodné ocelové trubní rozpěry,
- hluboké jámy nad 6 m se **rozpínají ocelovými nosníky**,
- **široké a hluboké jámy se kotví.**

Nejnámější metoda (modifikace) záporové stěny - **Berlínská stěna.**

Charakteristika:

- záporová stěna tvoří vnější bednění – výztuž stavební jámy,
- provede se uložení podkladního betonu na dno jámy,
- dále se betonuje asi 10 cm silná ochranná vrstva na stěnách, která slouží jako podkladní vrstva pro bitumenové utěsnění, které tvoří izolaci,
- snížení hladiny podzemní vody se provede pomocí 2 m studny na dně jámy.

5.1.2.4 PILOTOVÉ PODZEMNÍ STĚNY

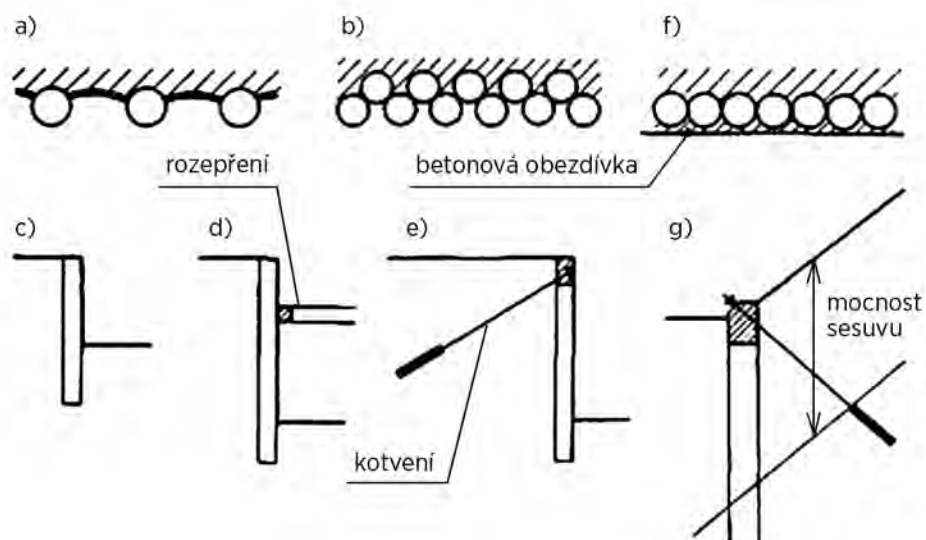
Charakteristika podzemních pilotových stěn:

- skládají se z **řady velkopřůměrových pilot**, které se hloubí těsně jedna vedle druhé – **tvoří plnou stěnu** nebo se mezi pilotami vynechávají mezery – **vzniká otevřená stěna**,
- na rozdíl od předchozích mají tyto podzemní stěny **podstatně větší moment nosnosti a moment odporu**,
- při jejich budování je zpravidla **udržen stav napětí okolních hornin** v původních hodnotách,
- při dobrém provedení mohou být během výkopu **omezeny posuny zeminy za stěnou na minimum**: výhodné k uzavření stavebních jam a tam, kde je tlak od budov a okolní zástavby.

Technologie provedení zahrnuje tři metody:

- tangenciální pilotové stěny** – piloty jsou těsně vedle sebe nebo se světlou vzdáleností 5 – 10 cm,
 - při současném snižování hladiny pozemní vody lze je hloubit za sucha,
 - lze je provést jako **konstrukční stěny** s armaturou – **železobetonové piloty**,
- pilotové stěny s přesahem** – nejdříve se provedou piloty liché betonové, bez výztuže a do nich pak piloty sudé s železobetonovou výplní souvislá vodotěsná betonová stěna,
 - nutné vzít v úvahu odchylky svislosti vrtů,

- c. pilotové stěny s rozestupem** – značné meziprostory mezi piloty – otevřená stěna – vyplnění slabou vrstvou betonu, lehkým torkretem, klenbou z kameninových tvárnic,
- u přístavních stěn – vkládání betonových tvárnic do předvrtaných otvorů v druhé řadě za pilotovou stěnou. Zeminovým tlakem jsou přitlačeny na řadu železobetonových pilot.



Obr. 5.44 Pilotové stěny.

- a – otevřená stěna, b – plná stěna, c – pilotová stěna vetknutá, d – pilotová stěna rozepřená, e – pilotová stěna kotvená, f – pilotová stěna s obezdívkou, g – pilotová stěna při stabilizaci sesuvu.



Obr. 5.45 Ukázka pilotové podzemní stěny.

Účel použití:

- **pažení stavebních jam:** podle hloubky pažení se rozeznávají:
 - a. stěna vetknutá,
 - b. rozepřená,
 - c. kotvená,
- **konstrukční stěny** – podjezdy, tunely, přístavní zdi, místnosti v hlubokých suterénech, garáže, stanice podzemních drah.

5.1.2.5 PODZEMNÍ STĚNY BUDOVANÉ POD OCHRANOU JÍLOVÉ SUSPENZE – MILÁNSKÉ STĚNY

Původ této nejmladší technologie zakládání staveb lze nalézt u vrtné technologie při hloubení vrtných pilot s jílovým výplachem. Podzemní stěny v příčném řezu mají však tvar obdélníkový, zatímco vrtné piloty tvar kruhový. Metoda našla velké uplatnění při zakládání staveb, zejména v přehradním stavitelství a při zakládání objektů v zastavěných oblastech. Zvláště poválečná výstavba západoevropských měst, využívání stavebních míst do hloubky, zastavování proluk vedly k širokému rozmachu této technologie. Její uplatnění při výstavbě podzemní dráhy v italském Miláně dalo těmto stěnám přívlastek „milánské“. Postup při budování této podzemní stěny je schematicky znázorněn na obr. 5.46.

Princip metody:

- v zemině se vyhloubí část rýhy – **lamela** – která se vyplní **jílovým výplachem**, který přebírá **funkci pažení při hloubení** a při vyplňování sekce rýhy,
- po vyhloubení se výplach vytlačí z rýhy betonovou směsí.

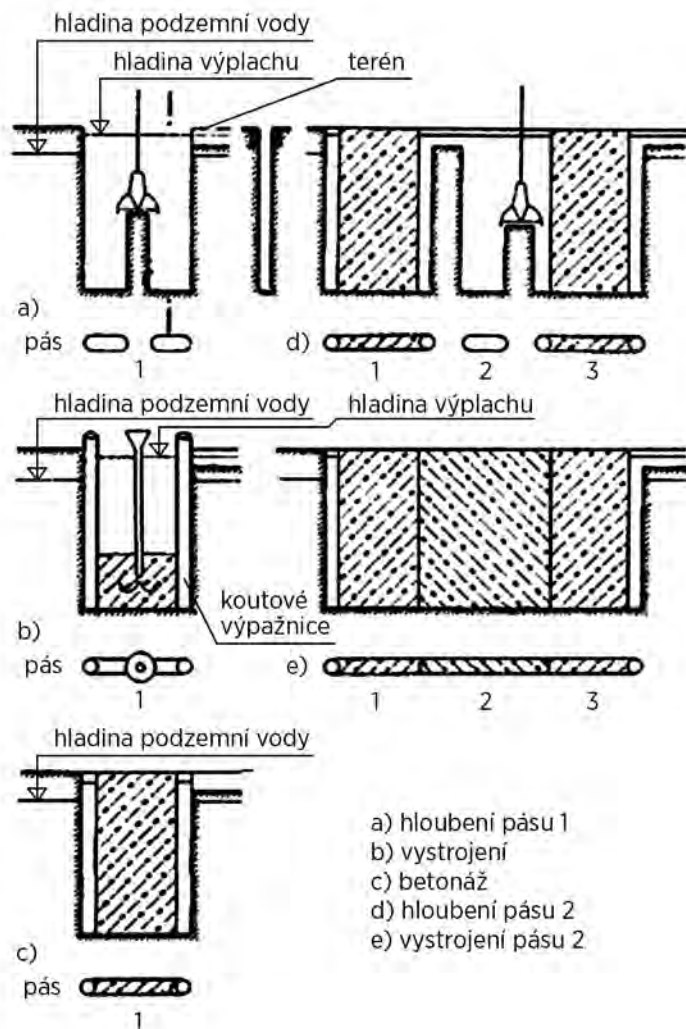
Provádění těchto stěn se skládá ze **dvou operací**:

- A. hloubení rýhy,
- B. betonáž či výplň rýhy.

A. HLOUBENÍ RÝHY

1. Nejprve se budují kolem půdorysu stěny – **vodicí železobetonové zídky** – hloubky 1 – 1,5 m a šířky 0,15 – 0,30 m, o 10 cm širší než šířka drapáku. Účel: ochrana stability horních vrstev zeminy, navádění hloubicího nástroje (drapáku) v prvních fázích hloubení, ochrana armatury před znečištěním.
2. Další hloubení probíhá pod ochranou jílové suspenze v jednotlivých krocích – dílech – **lamelách** (obr. 5.46), jejichž délka se pohybuje v rozmezí 2 – 8 m, nejčastěji 4 – 6 m a je určena půdními, statickými a půdorysnými podmínkami. Šířka rýhy je 0,5 – 0,8 m, hloubka až 30 m.

3. Nejčastější způsob je hloubení s použitím dvou **koutových pažnic**, které se vkládají do obou okrajů hloubené lamely.



Obr. 5.46 Budování milánské podzemní stěny (řez) – pracovní postup.

Při postupu vytváření souvislé stěny se nejdříve hloubí lamely liché, a to tak:

- nejdříve se zaplní prostor mezi vodícími zídkami jílovitým výplachem a pak se začne hloubit první záběr u kraje lamely. Po jejím vyhloubení se pokračuje u druhého okraje (obr. 5.46a) a nakonec se vyhloubí prostřední záběr;
- u **sudých lamel** se nejdříve hloubí střed lamely;
- po vyhloubení první lamely se usadí do rohu koutové pažnice stejného průměru jako je šířka rýhy (obr. 5.46b);

- provede se betonáž a po částečném zavadnutí a zatuhnutí se koutové pažnice vytáhnou. Zůstanou po nich otvory stabilizované cementovou suspenzí (obr. 5.46c);
- vedlejší sudý pás se vynechá a hloubí se v pořadí další pásy liché;
- pak se hloubicí souprava vrací a hloubí sudé lamely – nejdříve začne uprostřed lamely – při jejich vyhlubování se využívají otvory po koutových pažnicích sousedních pásů k navádění hloubicího nástroje (obr. 5.46d);
- po demontáži těchto sudých lamel se získává kontinuita celé podzemní stěny, složené z mnoha lamel, rozdělených od sebe svislými pracovními pásy (obr. 5.46e).

B. BETONÁŽ RÝHY

Betonáží se rozumí uložení výplňového materiálu do vyhloubeného pásu. Nutno zdůraznit, že na provedené betonáži závisí kvalita stěn. Po vystrojení koutovými pažnicemi se osadí do rýhy betonovací – licí – roury s násypkou. Jimi se ukládá betonová směs do rýhy tak, že se šíří ode dna nahoru a vytlačuje výplach, který se odčerpává k regeneraci, tj. očišťování.

Zásadní význam při tom mají:

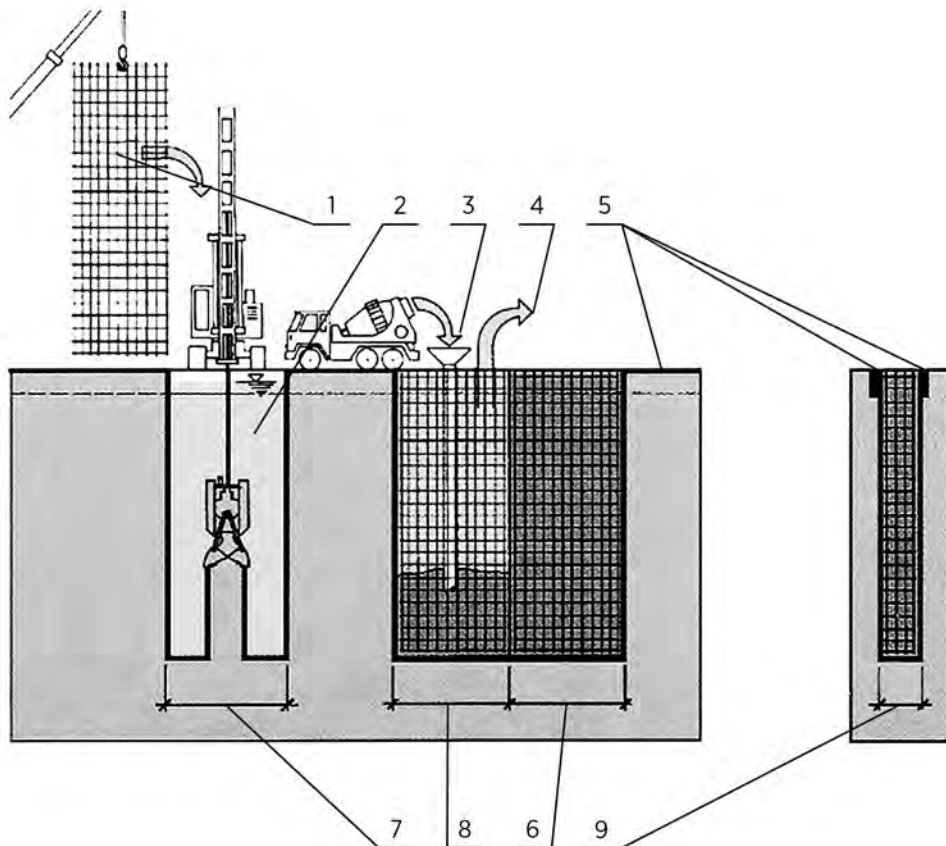
- 1. návrh vhodné betonové směsi** – nejčastěji se používá jílocementový beton: směs štěrkopísku, jílu, cementu a vody: cement 50 – 200 kg, jíl 100 – 200 kg na 1 m³ směsi,
- 2. zajištění výroby směsi v příslušné kvalitě a kvantitě.** Každá lamela se musí vyplnit v průběhu 2 – 4 hodin, tj. rozsah dodávané směsi se musí pohybovat 15 – 30 m³/hod. Tomuto požadavku nejlépe vyhovují centrální vysokokapacitní betonárky.

Technologie betonáže:

- doprava směsi se provádí **gravitačně**, vodní součinitel má hodnotu v rozmezí 0,52 – 0,58,
- maximální průměr zrn štěrkopísku má být 30 mm,
- licí roury mají Ø 25 cm, jednotlivé délky 1 – 2 m, spoje jsou vodotěsné,
- roura se umístí na dno doprostřed lamely – při větší šířce než 6 m je nutné použít 2 roury,
- roury nesmějí být z betonové směsi vytaženy, musí být stále ponořeny, s pomořením maximálně 6 m, minimálně 2 m, postupně jsou v průběhu výroby roury odebírány,
- postupně s litím směsi je výplach odčerpáván k regeneraci nebo na skládku,
- do lamely možno vložit armaturu pro zvětšení pevnosti a nosnosti.

Spoje mezi jednotlivými lamelami:

Z technologie provedení této podzemní stěny vyplývá, že existuje řada **svislých spár**. Vytvoření dokonalých spojů obtížné a provozně náročné, tj. velmi pracné, zejména vkládání dalších těsnicích prvků.



Obr. 5.47 Postup při budování konstrukční podzemní stěny pod ochranou jílové suspenze.

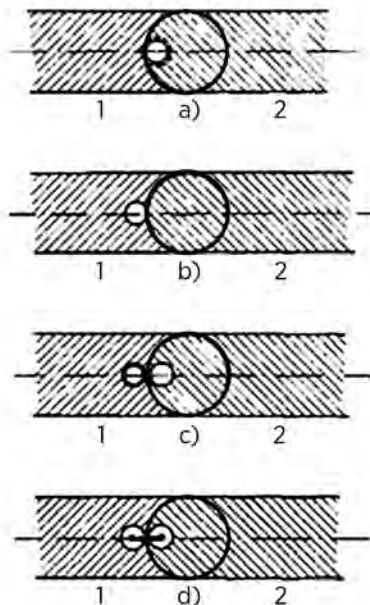
1 – armokoš, 2 – jílová pažicí suspenze, 3 – beton, 4 – odčerpávání jílové pažicí suspenze,
5 – vodící zidky, 6 – vybetonovaná lamela, 7 – hloubení úseku,
8 – betonáž úseku, 9 – šířka 600, 800, 1000 mm.

Často se volí pouze **zainjektování prostoru za spojením mezi lamelami**. Je to nejrychlejší a nejlacinější způsob. Technologie realizace:

- provede se vrt,
- zapustí se manžetová trubka,
- vrt se vyplní cementovou směsí,
- přes manžetovou trubku se provede injektáž.

Dokonalý vodotěsný styk lze zhotovit také tím, že společně s koutovou rourou (při betonáži první lamely) se spouští i pažnice průměru 180 mm, která je buď pevně spojena s koutovou pažnicí, nebo je k ní je připevněna například drátem (obr. 5.48). Před zatvrdnutím směsi se nejdříve vytáhne roura menšího průměru

a potom koutová roura. Při betonáži sousední lamely se do svislé díry u konce již zabetonované lamely složí trubka tvaru podle obr. 5.48a – c. Po betonáži se trubka vytáhne. Tak vznikne otvor tvaru osmičky. Po zatvrdnutí betonu se otvor vyčistí vodou a zapustí se do něho těsnící pryž, pak se otvor vyplní cementovou zálivkou (obr. 5.48a – d).



Obr. 5.48 Zlepšení styků mezi sousedními lamelami.

a – trubkou, b – trubkou spojenou s koutovou rourou, c – trubkou tvaru osmičky, d – zlepšení těsnosti vložení pryže.

Výplně podzemních stěn

Návrh a **volba druhu výplně** se provádí podle účelu a požadavků na podzemní stěnu:

- **těsnící stěny:** stabilizovaný jíl, jílocementová směs, jílocementový beton,
- **konstrukční stěny:** železobeton nebo prostý beton. Železobeton je vhodný u obnažených stěn (objemový podíl výztuže 1,6 – 1,8%, vzdálenost prutů minimálně 15 cm, překrytí oceli betonem minimálně 5 cm, optimálně 8 cm, možnost manipulace jeřábem – tuhost).

1. Betonová směs

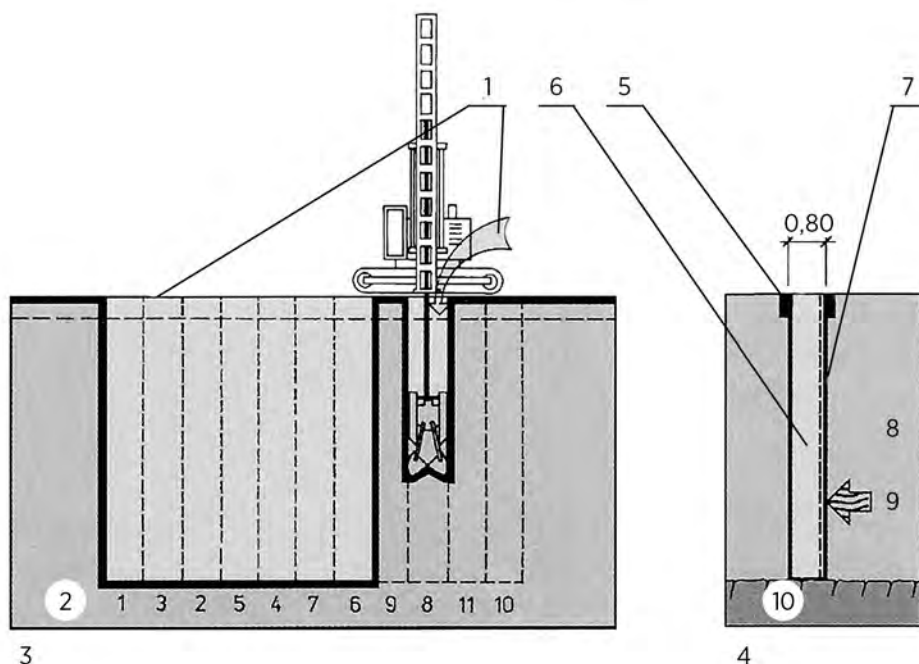
- tekutá – dobré vyplnění rýhy a obalení výztuže,
- volit štěrk s odstupňovanou zrnitostí,
- důležitá účast nejmenší složky (tj. písku), tj. omezené velikosti zrn $d_{min} = D_{max}/10$ (D_{max} – velikost největších zrn štěrku); optimální 37 % zrn $\varnothing 0 - d_{min}$ a 63% zrn $d_{min} - D_{max}$,

- osvědčené složení – používání vícefракčních betonových směsí – 40 – 50 % písku (0,1 – 0,5 mm) a 350 – 400 kg/m³ betonové směsi.

2. Jílocementová betonová směs

- jedna z hlavních **výplní těsnících směsí**,
- směs zabraňuje koagulaci cementu, nejsou tak přesné nároky na složení jako u betonové směsi,
- propustnost malá, směs dostatečně odolná proti vyplavování a proti působení agresivních vod,
- menší nároky na dobu zpracování, ale
- snížením obsahu cementu klesá modul pružnosti a pevnost v tlaku prostém,
- náchylnost na vysychání (přítomnost jílu) – zhoršení vlastností stěny.

Složení: na 1 m³ směsi: 50 kg cementu, 250 kg jílu, 260 l vody, 1 600 kg šterku.



Obr. 5.49 Postup při hloubení těsnící podzemní stěny pod ochranou jílové suspenze.

- 1 – výplň: samotvrdnoucí suspenze, 2 – pořadí těžení, 3 – těžení rýhy je kontinuální, 4 – příčný řez těsnící stěnou s folií, 5 – vodící zídka, 6 – samotvrdnoucí suspenze (jílocement), 7 – fólie, 8 – propustné vrstvy, 9 – agresivní prostředí, 10 – nepropustné podloží.

3. Jílocementová směs

- **nejkvalitnější výplň těsnících stěn:** nejnižší koeficient filtrace, nejlepší odolnost proti agresivním vodám, nejlevnější,

- ale hlavní nevýhodou je pracnost – nutnost ukládat pomocí licích trub, používat koutové pažnice, vyrábět v míchačce na betonovou směs.

Složení: je závislé na kvalitě jílu – kvalitní bentonit 40 – 50 kg + 200 – 250 kg cementu na 1 m³, při snížené kvalitě jílu stoupá jeho obsah na 300 kg, klesá však cement na 50 kg.

4. Prefabrikované podzemní stěny

Metoda byla patentovaná francouzskou firmou Soléntanche. **Principem metody** je zapouštění **hotových prefabrikovaných dílců** určitého tvaru do rýh zaplněných jílovou nebo jílocementovou suspenzí (se zpoždovačem tuhnutí).

Výhody – jednoduché řešení, hladký povrch, lepší vodotěsnost ve spojích, obsahuje již průchody pro kotvy, velmi snadno lze napojit na vestavěnou konstrukci, lze snížit překrytí oceli betonem na 3 cm, lze je prodloužit do hloubky klasickou stěnou.

Nevýhody – nutnost kvalitní výroby těchto dílců většinou na pracovišti – doprava velkých, těžkých dílců velmi obtížná, rovněž zapouštění, nutnost jeřáby s vysokou nosností.



Obr. 5.50 Ukázka prefabrikované konstrukční stěny.

Technologie výroby zahrnuje dva způsoby:

a. s použitím jílocementového výplachu (metoda Soléntanche), tento plní úkoly:

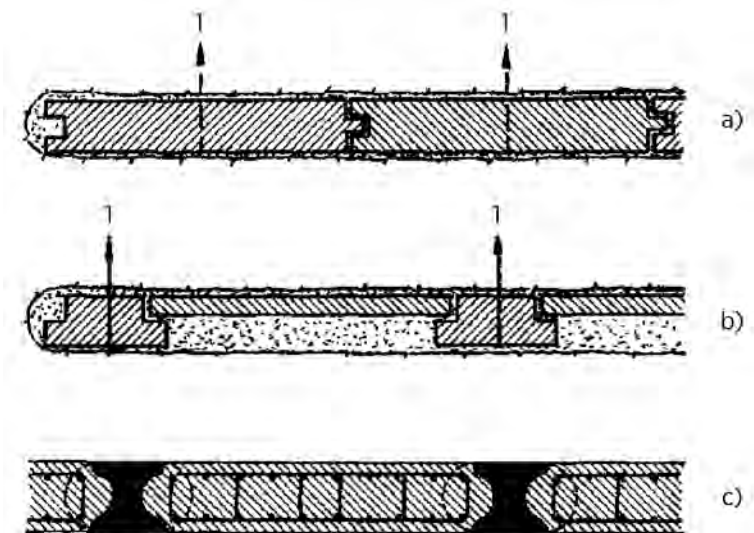
- musí být tekutý po dobu hloubení rýhy a zapuštění prefabrikátu,
- po uložení musí zvyšovat pevnost,
- po zatuhnutí musí vyhovovat nárokům na vodotěsnost.

Zpoždění tuhnutí lze regulovat zpoždovačem – 1 až 3% lignosulfonát (ztekucovadlo). Tvary a typy prefabrikovaných dílců jsou znázorněny na obr. 5.51. Rýha je o 15 – 20 cm širší než dílec.

Možnost použití prefabrikovaných dílců v kombinaci s klasickými stěnami – pod dílci je stěna tvořena:

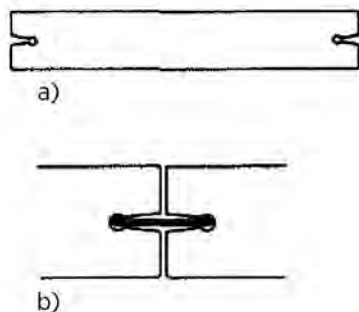
- jílocementovou směsí do zatížení 0,6 MPa,
- betonem, při větším zatížení.

Prefabrikované dílce se zapouštějí ihned po betonáži spodní části.



Obr. 5.51 Tvary prefabrikovaných dílců pro podzemní stěny (Solétanche).

a – s perem a drážkou, b – trám tvaru T nebo H, c – kombinace prefastěny s klasickou podzemní stěnou.



Obr. 5.52 Zajištění vodotěsnosti spáry těsnicí pryží (Solétanche).

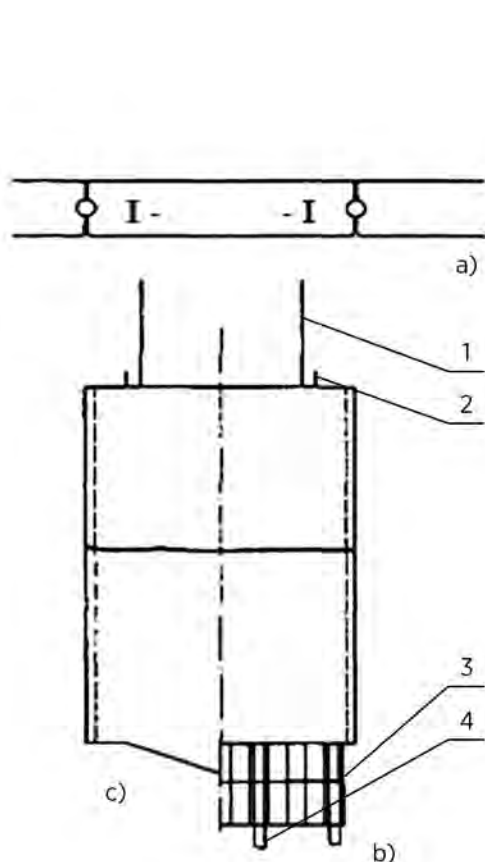
a – řez v podélném směru, b – detail uložení pryže.

b. s použitím jílového výplachu (metoda Swissboring – Švýcarsko, obr. 5.53. Postup výroby stěny je následující:

- rýha se hloubí jako u klasického způsobu,
- zapustí se prefabrikát a fixuje se v rýze pomocí tyčí Diwidag,
- prefabrikáty mají půlkruhové spoje,
- lze napojit na klasickou stěnu pomocí výztuže,
- jinak se podlévá betonovou směsí,
- prefabrikát se přesně osadí v rýze – velikost spáry mezi panely do 1 cm – stěna je rovná bez výstupků,

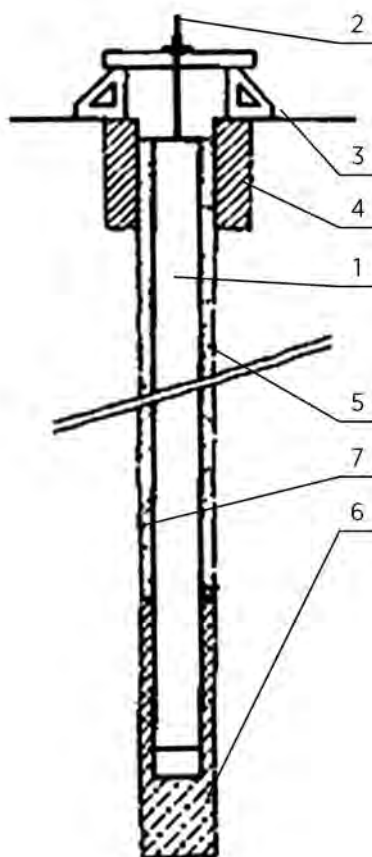
- po osazení se mezi panely do kruhových otvorů umístí licí roury a prostor pod prefabrikáty se zalije betonovou směsí,
- směs by měla vystoupit na úroveň výkopu stavební jámy,
- druhý den po osazení se na straně zeminy vymění bentonitový výplach za cementovou směs, po dobu tvrdnutí betonu a cementové směsi je třeba stěnu fixovat.

Ukázka panelu Swissboring je na obr. 5.53, příčný řez panelu je na obr. 5.54 a způsob těsnění proti vniku betonové nebo cementové směsi do rozpracované lamely při přerušení prací je na obr. 5.55.



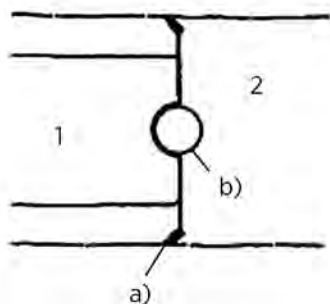
Obr. 5.53 Panel Swissboring.

a – půdorys, b – pohled na panel s vyčnívající výztuží pro nastavení na klasickou podzemní stěnu, c – panel bez nástavné výztuže; 1 – tyče Diwidag, 2 – úchytná oka pro zvedání a spouštění, 3 – prodloužení výztuže, 4 – opření I-profilů.



Obr. 5.54 Příčný řez.

1 – panel stěny, 2 – tyč Diwidag, 3 – podpěry, 4 – vodící patky, 5 – bentonitový výplach, 6 – beton, 7 – cementová směs.



Obr. 5.55 Způsob těsnění při přerušení prací.

1 – panel, 2 – těsnicí kus, a – pryž, b – ocelová trubka.

Technika pro výrobu milánských stěn

V zásadě lze pro hloubení milánské stěny použít:

- drapákové soupravy,
- nárazové – dlátovací soupravy,
- rotační vrtné soupravy – zejména s nepřímým proplachem,
- speciální hloubicí stroje – rypadla s podkopovou lžící, těžké vibrátory, korečková rypadla, frézovací stroje apod.

Nejčastěji jsou používány **drapákové hloubicí soupravy**, ale s drapáky a nosiči jiných typů než pro velkopřůměrové piloty (piloty mají kruhové otvory, rýha má liniový otvor).

Z **rotačních vrtných souprav** jsou pro tento účel nejvhodnější vrtné soupravy na **nepřímý proplach**.

Ze **souprav pro nárazové vrtání** se používají tzv. **dlátovací soupravy**, používající zejména nepřímý propal a sací způsob vrtání. U sacího vrtání je požadovaný výkon sacího čerpadla 480 m³/h, hmotnost dlát je 1,7 – 2,0 t, dláto s trubkami zavěšené na dvou lanech Ø 16 mm; pohyb dlát je prováděn ruční obsluhou vrátkem s třecí spojkou.

5.1.3 KOTVENÍ DO HORNIN

5.1.3.1 ÚČEL A PODSTATA KOTVENÍ STAVEBNÍCH OBJEKTŮ DO HORNIN

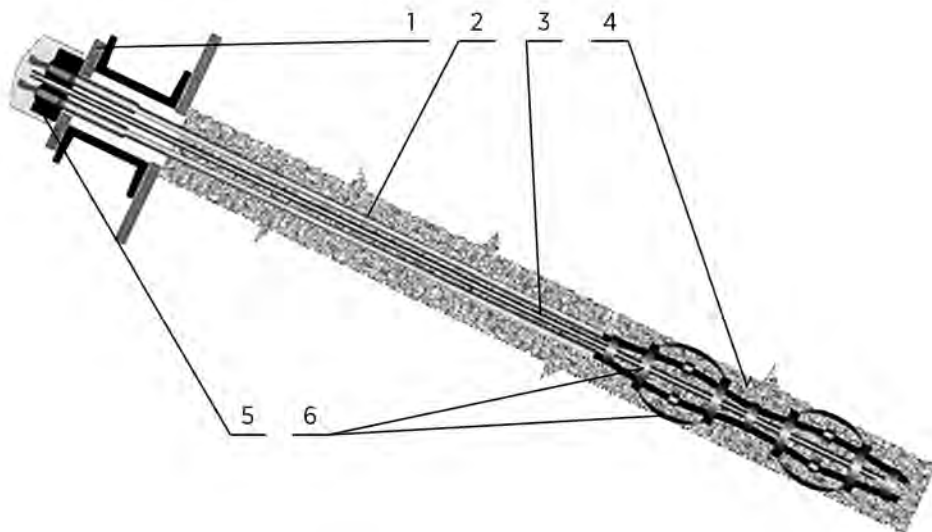
Uplatnění kotev pro **zajištění stropů a boků báňských prací** je známé. Krátké skalní **svorníky** jsou ve vrtech upevňovány mechanickým rozepřením patky, maltou nebo jinými hmotami. Tyto volné, většinou **nepředpínané svorníky** mají malou únosnost a jejich použití je omezené. S rostoucími požadavky na únosnost a technologii provádění se vyvinuly různé typy kotev.

Kotvení se provádí všude tam, kde je účelné využít **spolupůsobení horniny a vyvolaných napětí od zatížení stavebními nebo geotechnickými konstrukcemi**. Kotvením je efektivně **řešena technická i ekonomická stránka speciálního zakládání**. Působení kotevních sil je projektováno na očekávané zatížení od konstrukcí. Podstatný vliv na vývoj kotevních prací má rozvoj stavebnictví, zejména obor zakládání staveb, jehož moderní metody si vynutily nové technologie kotvení.

Podstata kotvení: Kotvení stavebních objektů do hornin je stavební postup, kterým se do konstrukce objektu a přilehlé horniny vnáší přídavné síly, které působí ve stavební konstrukci jako zatížení směrem ke styčné spáře s horninou a **v hornině vytvářejí tlakové předpětí**. **Kotvením tedy dochází k sepětí stavebního objektu s horninou**. Pro zajištění stability objektu s vynaložením minimálních materiálních nákladů a časových nároků.

Přednost kotvení je, že umožňuje poměrně snadno na základě statického výpočtu **volit velikost, směr a těžiště působení kotvicích sil**, aby po zavedení do soustavy sil působících na objekt zajistily účinně a co nejchopodárněji jeho stabilitu.

Definice a části kotvy – kotva je **ocelová výztuž**, uložená **jedním koncem do horninového prostředí** (únosné podloží) a upevněná v něm (většinou zainjektovaná), **druhým koncem zapašněná do kotveného objektu** (stavební konstrukce), který stabilizuje. Ukázka konstrukce kotvy je na obr. 5.56.



Obr. 5.56 Ukázka konstrukce kotvy.

- 1 – roznášecí podložka, 2 – lano s PE obalem, 3 – injektážní hadička,
4 – cementová malta, 5 – kotevní objímka, 6 – distanční košík.

Kotva – v podstatě táhlo, jehož celková délka se dělí na **kořen a volnou délku**. Kořen se dále dělí na **kotevní a těsnicí délku**. Nejspodnější část kotvy se nazývá **pata**, opačný konec **hlava kotvy**. Kořen a hlava mívají různé uspořádání podle druhu použité armatury. Po **předepnutí armatury** je tato v hlavě kotvy v napjatém stavu upevněna.

Účel kotev – kotvením se zajišťuje:

1. **bezpečnost stavebních objektů**

- proti svislému posunu účinkem vztlaku,
- proti převrácení,
- proti tangenciálnímu posunu,
- proti usmyknutí po kritické ploše v podloží,

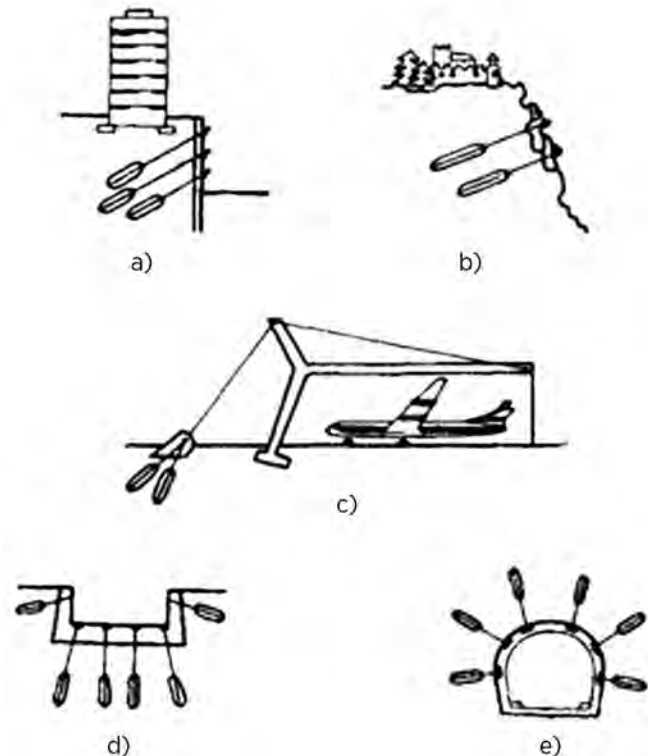
2. **zabezpečení svahů, podzemních stěn a podzemních výrubů,**

3. **stlačení podloží**, kterým se mohou vyloučit nebo příznivě ovlivnit deformace v podloží, vzniklé po vybudování objektu,

4. kotvením se provádí **sanace historických objektů, sesuvných území, porušených skalních masívů**, ohrožujících bezpečnost provozu v jejich okolí (obr. 5.57b),

5. **nachází široké uplatnění**

- při kotvení hrází a přehrad do podloží (lanové kotvy s vysokou únosností),
- základů horských lanových drah,
- při stabilizaci patek pro komíny, stožáry, mosty,
- při stabilizaci konzol pro zavěšení střech, hangárů atd. (obr. 5.57c).



Obr. 5.57 Použití kotev ve stavebnictví.

Jedním z hlavních problémů při řešení současné výstavby v hustě zastavených centrech měst jsou **parkovací a odbavovací plochy**. Tato potřeba je řešena stavbou několikaposchodových suterénů, čímž vzniká nezbytnost pažení **hlubokých stavebních jam**. Při tradičním způsobu pažení je stavební jáma pro těžební a manipulační techniku velmi těžko přístupná. V případě příliš velkých rozporů stěn stavební jámy vzniká problém s tradičním způsobem rozepření. To řeší právě **rozepření kotevní**, spojené s pažením provedeným záporovou, pilotovou nebo podzemní stěnou. Stavební jáma je pak volně přístupná pro jakákoliv zařízení (obr. 5.57a).

V oblastech se zvodnělým horizontem se používá kotev pro přikotvení jímek a ostatních stavebních prvků proti **vztlaku podzemní vody** (obr. 5.57d). Kotvení nachází široké použití při ražení skalních kaveren pro podzemní hydroelektrárny nebo skladové prostoty se **kotvami zajišťující klenby a stěny** (obr. 5.57e), popřípadě se ke stěnám přikotvují nosníky tvořící základy budoucích jeřábových drah.

Velmi zajímavý způsob využití nalezly kotvy jako **prvek eliminující půdní deformace** při stavbě velmi hmotných konstrukcí, na sebe vzájemně navazujících. V tomto případě jsou postaveny základy, které jsou kotvami zatíženy silou rovnající se hmotnosti budoucí stavby. Po proběhnutí deformací je zahájena vlastní stavba. S narůstající hmotností stavby jsou kotvy postupně odlehčovány a vlastní stavba pak v důsledku předcházejících půdních deformací nevykazuje dodatečně žádné změny.

5.1.3.2 VHODNOST HORNIN PRO KOTVENÍ

Schopnost hornin **přijímat tahové síly ze stavebních objektů prostřednictvím kotev** je značná. Je to umožněno tím, že tahové síly u kotev se uplatňují ve větší hloubce pod povrchem. Působí zde také příznivě radiální tlak injekční malty. Všeobecně platí, že s **rostoucí pevností horniny roste i pevnost upnutí kotvy** a tak se snižuje potřebná hloubka jejího zapuštění do horniny.

1. Pevné skalní horniny, tektonicky neporušené:

- schopny přenášet síly několik set tun,
- v malé vzdálenosti od povrchu,
- je-li pevnost v tlaku $> 1\,000\text{ N}\cdot\text{cm}^{-2}$ → **krátké tyčové kotvy – svorníky**,
- v případě tektonického porušení – injektáž.

2. Poloskalní horniny:

- pevnost v tlaku prostém $< 1\,000\text{ N}\cdot\text{cm}^{-2}$:
- delší kotvy, v širších dutinách, upínané tmelem,
- **tyčové**, ale více **kabelové kotvy**.

3. Zeminy:

- jsou schopné přenášet značné síly, ale za určité technologie provedení,
- lineární růst únosnosti s šířkou kotevní patky – **kabelové kotvy s kořenem nebo s patkou**,

- velmi příznivé podmínky vytvářejí hrubší zeminy, štěrky, štěrkopísky – únosnost přes 200t / 1 kotvu,
- nižší únosnost písky, především málo ulehlé, jemnozrné,
- výrazné snížení únosnosti – nasycení pórů zeminy vodou,
- obezřetně postupovat u jílovitých zemin – zde **pouze kořenové kabelové kotvy s patkami ve tvaru hlíz**,
- jílovité zeminy vykazují značné a dlouhodobě probíhající **plastické deformace (stlačování)**, které vedou k **postupnému zmenšování tahové síly** v kotvě – včetně **předpětí**.

5.1.3.3 HLOUBKA ZAPUŠTĚNÍ KOTEV DO HORNIN

Funkce kotvení stavebních objektů do podloží je podmíněna **odporem horniny proti vytržení kořenů kotev**. Tento odpor je daný **kotevní silou násobenou stupněm bezpečnosti**. Je určen:

- a. mechanickými vlastnostmi horniny – hlavně pevností ve smyku,
- b. konstrukcí kotvy:
 - šířkou,
 - délkou kořene,
 - způsobem upnutí v hornině.

Hloubka zakotvení do skalních hornin

Odpor proti vytržení ve skalních horninách je dán jejich **pevností ve smyku**, což je $\tau = 0,10 - 0,12 \sigma_H$ pevnosti v tlaku prostém. U **izotropních hornin** je kotvou ovlivněn kužel s vrcholovým úhlem 90° , s osou totožnou s osou táhla kotvy. Hloubka zapuštění kotvy se určí z následujících vztahů:

- hloubka ze vztahu pro jednu kotvu:

$$h_i = \sqrt{\frac{m_k P}{\tau \pi \sqrt{2}}} \quad [\text{m}] \quad (5.5)$$

- pro řadu kotev:

$$h'_i = \frac{m_k P}{\sqrt{8} \tau l} = \frac{m_k P}{2,83 \tau l} \quad [\text{m}] \quad (5.6)$$

- plocha kotev (namáhány současně – působí pouze tíha horniny):

$$h''_i = \frac{m_k P}{\gamma l^2} \quad [\text{m}] \quad (5.7)$$

Poslední dva vzorce platí pouze v případě, že osová vzdálenost mezi kotvami je menší než součin

$$l \leq h_i \operatorname{tg} \varphi \quad [\text{m}] \quad (5.8)$$

kde

P – kotevní síla [N],

τ – pevnost horniny ve smyku [$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$],

l – vzdálenost mezi kotvami [m],

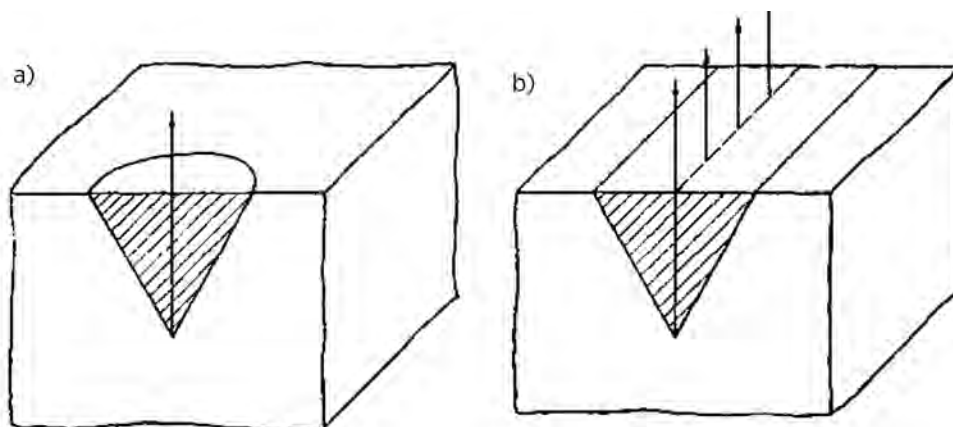
γ – objemová tíha horniny [$\text{N} \cdot \text{m}^{-3}$],

m_k – koeficient bezpečnosti:

- u vzorce 5.1 a 5.2 $m_k = 2 - 4$

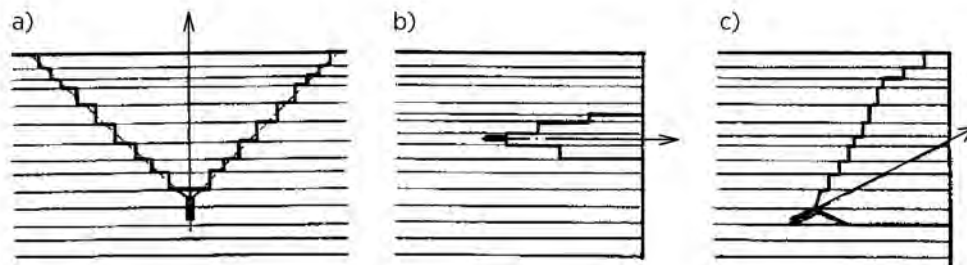
- u vzorce 5.3 $m_k = 1,2 - 1,5$

φ – úhel vnitřního tření horniny [$^\circ$].



Obr. 5.58 Přenášení napětí od tlaku kořenů vytahovaných kotev v izotropním horninovém prostředí.

a – u jednotlivých kotev, b – u řady kotev.



Obr. 5.59 Tvar a velikost horninového prostředí ovlivněného kotvením v závislosti na orientaci osy kotev k odlučným plochám skalní horniny.

a – osa kotev kolmá na odlučné plochy horniny, b – osa kotev rovnoběžná s odlučnými plochami, c – osa kotev svírá s odlučnými plochami ostrý úhel.

Hloubka zakotvení v porušených skalních a poloskalních horninách

Smyková pevnost je snížena odlučnými plochami v hornině a jejich orientací k působícím silám. Odpor proti vytržení se skládá z různého podílu tření na těchto plochách, odporu proti pootočení částí pevné horniny a z jejich smykové pevnosti. Největší odpor je, když táhlo kotvy je \perp na vrstvy, nejmenší odpor – táhlo kotvy \parallel s vrstvou (obr. 5.59).

Existuje-li **pouze jeden systém ploch odlučnosti** (např. vrstevnatost) je odpor proti vytržení dán pouze smykovou pevností horninové desky o šířce rovné \varnothing kořene kotvy v místě upnutí do horniny. Pak délka kotvy

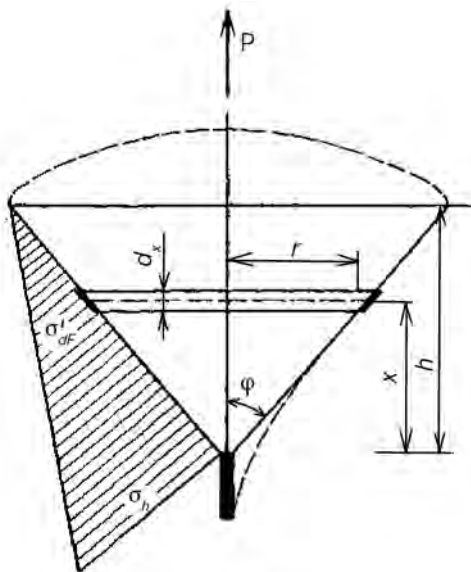
$$h_r = \frac{m_k P}{2\tau d\sqrt{2}} = \frac{m_k P}{2,83\tau d} \quad (5.9)$$

kde

d – průměr kotevního kořene.

Směr kotev se má proto volit tak, aby svíraly s odlučnými plochami co největší úhel (obr. 5.59c).

V horninách s hustou nepravidelnou odlučností a v horninách s nižší pevností působí proti vytržení tření na plášti myšleného geometrického tělesa horniny (kužel, hranol), do kterého se přenáší napětí od kořene kotvy s vrcholovým úhlem $= 2\varphi$ (úhel vnitřního tření).



Obr. 5.60 Průběh radiálních sil vyvolávajících tření v plášti geometrického tělesa horninového prostředí ovlivněného kotvením, které je předpokládáno pro výpočet potřebné hloubky zapuštění kotev.

Velikost tohoto tření je závislá na **příčném napětí vyvolaném tlakem taženého kořene kotvy**, jež vzrůstá od 0 (u povrchu) do hodnoty σ_h u kořene kotvy

$$\sigma_h = \sigma_v k_0 \quad [\text{N}\cdot\text{m}^{-2}] \quad (5.10)$$

σ_h - příčné napětí,

$$\sigma_v = \frac{P_{kr}}{F} \quad [\text{N}\cdot\text{m}^{-2}] \quad (5.11)$$

σ_v - podélné napětí,

P_{kr} - hodnota kritické síly, způsobující vytržení kotvy,

F - plocha čela kořene kotvy,

k_0 - koeficient poměru příčného a podélného napětí,

$$k_0 = \frac{\nu}{1 - \gamma} \quad (5.12)$$

ν - Poissonovo číslo.

Pak hloubka zapuštění kořene kotvy u jednotlivých kotev je

$$h_r = \sqrt{\frac{3m_k P}{\pi\sigma_h t g^2 \varphi}} \quad [\text{m}] \quad (5.13)$$

a tento vztah (4.9) platí je-li vzdálenost mezi kotvami

$$l > \sqrt{\frac{12P}{\pi\sigma_h}} \quad [\text{m}] \quad (5.14)$$

Pro opačnou nerovnost platí

$$h'_r = \frac{l}{2tg\varphi} + \frac{B + \sqrt{B^2 - \frac{l^4\sigma_h^4}{tg^2\varphi}}}{2l\sigma_h} \quad [\text{m}] \quad (5.15)$$

kde

$$B = \frac{l^2\sigma_h}{2tg\varphi} + 2 \cos \varphi \left(m_k P - \frac{l^2\pi\sigma_h}{12} \right) \quad [\text{m}] \quad (5.16)$$

HLOUBKA ZAKOTVENÍ V NESOUDRŽNÝCH ZEMINÁCH

Tento případ je následovně charakterizován:

- kořen kotvy o průřezové ploše (F), v hloubce (h) je v klidu zatížen pouze tlakem nadložní zeminy,
- takto dimenzovaná kotva by byla příliš předdimenzovaná a neekonomická,
- vyjádřit teoreticky přesný stav napjatosti v zemině, ovlivněné kotvou je nesnadné, hlavně proto, že zeminy se nemohou posuzovat jako pružná hmota, neboť se v nich projevují plastické deformace a jejich pevnost se mění (zvyšuje) v důsledku jejich konsolidace působícím zatížením,
- únosnost kotvy záleží na ulehlosti zeminy,
- u více ulehých zemin se uplatňuje větší úhel vnitřního tření i větší koeficient příčného roztažení než u zemin neulehlých.

1. Hloubka kotvení v suchých zeminách

V tomto případě se vychází ze stejných podmínek jako v případě **méně pevných hornin**. Před návrhem kotvení se doporučuje provést **zatěžovací zkoušku zeminy na mez únosnosti** – zaboření – v hloubce kořene kotvy. Lze použít také zkoušku tlakem, neboť v hloubkách, kde se kotví, je deformace směrem dolů rovna deformacím vzniklým zatížením ve směru nahoru.

Ze zatěžovacích zkoušek se určí přípustné napětí zeminy

$$\sigma_{kr} = \frac{P_{kr}}{F}$$

v soustředném tlaku. Z toho se odvodí minimální **průřezová plocha kořene kotvy**

$$F = \frac{P_{kr}}{\sigma_{kr}} \quad (5.17)$$

Ze σ_{kr} se odvodí počáteční napětí σ_r , které působí na plášť tělesa zeminy, ovlivněného tlakem kořene kotvy. Na něm se uplatňuje tření, které zajišťuje odpor zeminy proti vytržení kotvy.

Napětí σ_r je příčné napětí odvozené od normálního napětí

$$\sigma_r = \sigma_{kr} \frac{\nu}{1 - \nu} \quad (5.18)$$

Pak hloubka osamělé kotvy za předpokladu, že vzdálenost mezi kotvami je

$$1 > \sqrt{\frac{12P}{\pi\sigma_r}}$$

$$h_s = \sqrt{\frac{3Pm_k}{\pi\sigma_r t g^2 \varphi}} + 1 \quad [\text{m}] \quad (5.19)$$

U řady kotev, kde

$$1 < \sqrt{\frac{12P}{\pi\sigma_r}}$$

$$h'_s = \frac{l}{2tg\varphi} + \frac{B + \sqrt{B^2 - \frac{l^4\sigma_r^4}{tg^2\varphi}}}{2l\sigma_r} + 1 \quad [\text{m}] \quad (5.20)$$

kde

$$B = \frac{l^2\sigma_r}{2tg\varphi} + 2 \cos \varphi \left(m_k P - \frac{l^2\pi\sigma_r}{12} \right) \quad (5.21)$$

kde

P - kotevní síla [N],

φ - úhel tření,

σ_r - napětí působící na plášť tělesa zeminy bezprostředně nad kotvou [N·m⁻²],

l - vzdálenost kotev [m],

m_k - bezpečnost proti vytržení (3 - 5).

Nelze-li provést zatěžovací zkoušku v hloubce kořenu kotvy (měřením na dně vrtů), provede se na povrchu, jde-li o horniny stejného složení a takto zjištěná hodnota σ_{kr} se zvýší o 10 - 30 % v závislosti na rozdílu ulehlosti horniny na povrchu a v hloubce kořenu.

Jen ve velmi podružných případech lze σ_{kr} odhadnout podle parametrů zeminy zjištěných laboratorně na neporušených vzorcích zeminy nebo na základě tabulkových hodnot.

2. Hloubka kotvení ve zvodněných sypkých zeminách

Vytahováním kořene kotvy zapuštěné do zvodněných sypkých zemin nedochází ke zvětšení objemu zeminy, a tudíž **nevzrůstá radiální napětí σ_r** , klínovým účinkem vtlačované hmoty, jež je příčinou zvětšení smykové pevnosti, jak je tomu v suchých zeminách. Proti vytržení tu působí **pouze smyková pevnost zeminy**, určená obecně z Coulombova zákona.

Napětí v jinak nezátížené zemině je vyvoláno **jen vlastní tíží zeminy, sníženou o působení vztlaku** a roste lineárně s hloubkou. Napětí ve svislém směru v hloubce h se rovná

$$\sigma_v = (\gamma - 1)h \quad (5.22)$$

a ve vodorovném směru

$$\sigma_h = \sigma_v k_o \quad (5.23)$$

kde

$$k_o = \frac{\nu}{1 - \nu}$$

Ve všech polohách kotvy se předpokládá, že napětí působí radiálně po celém obvodu kořene. Pak se **smysková pevnost zvodněných nesoudržných hornin** rovná ve svislém směru

$$\tau_v = \sigma_h \operatorname{tg} \varphi \quad (5.24)$$

a v horizontálním směru

$$\tau_h = \sigma_v \operatorname{tg} \varphi \quad (5.25)$$

Podél kotvy skloněné od vodorovné roviny o úhel (ψ) je smysková pevnost

$$\tau_r = \sigma_v \cos \psi \operatorname{tg} \varphi + \sigma_v \sin \psi = \sigma_v \cos \psi (\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \psi) \quad (5.26)$$

Při výpočtu odporu zeminy proti posunutí kořena (vytržení kotvy) se vychází z předpokladu, že se smysková pevnost se uplatňuje v plášti válce souosého s kotvou o \emptyset d rovnému maximálnímu \emptyset kořene kotvy a délce h rovné vzdálenosti středu kořene od povrchu podle vztahu

$$h = \frac{P_{max}}{\pi d \tau} \quad [\text{m}] \quad (5.27)$$

Po dosazení do rovnic za τ , získá se pro P a m_k hloubka vertikální kotvy

$$h_v = \sqrt{\frac{m_k P}{\pi d (\gamma - 1) k_o \operatorname{tg} \varphi}} \quad [\text{m}] \quad (5.28)$$

kde h_v - hloubka středu kotvy pod vodorovným povrchem,
pro horizontální kotvy

$$h_h = \sqrt{\frac{m_k P}{\pi d (\gamma - 1) h_v \operatorname{tg} \varphi}} \quad [\text{m}] \quad (5.29)$$

a šikmé kotvy

$$h_s = \frac{m_k P}{\pi d (\gamma - 1) h_v \cos \psi (\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \psi)} \quad [\text{m}] \quad (5.30)$$

HLOUBKA ZAKOTVENÍ V SOUDRŽNÝCH ZEMINÁCH

Při určování délky táhla kotvy se předpokládá, že kotvou aktivovaná oblast podloží má tvar kužele o vrcholovém úhlu rovném dvojnásobku úhlu vnitřního tření φ , po jehož plášti kuželu působí jednak tření a jednak vnitřní soudržnost. Podíl těchto složek se mění podle typu zeminy, do které se kotví. Běžně se dlouhodobá smysková pevnost zeminy v předpokládané hloubce upnutí kořene určuje z Coulombovy rovnice dosazením efektivních hodnot za φ a c .

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c \quad [\text{N} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (5.31)$$

kde c – koheze.

Pak pro jednotlivou kotvu platí

$$h_z = \sqrt{\frac{m_k 3P \cos \varphi}{\pi f (3c + \sigma_r f \cos \varphi)}} \quad [\text{m}] \quad (5.32)$$

kde se jednotlivé charakteristiky zeminy pohybují takto: $c = 1 - 10$ [$\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$], $\varphi = 10 - 25^\circ$, $f = \operatorname{tg} \varphi$, pak

$$\sigma_r = \sigma_{kr} \frac{\nu}{1 - \nu} = 200 - 500 \quad [\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (5.33)$$

5.1.3.4 HLOUBENÍ KOTEVNÍCH VRTŮ

Technologie vrtání kotevních vrtů je pro hospodárnost metody kotvení rozhodujícím faktorem. V podstatě lze rozlišovat vrtání pro krátké svorníky s malým zatížením a vrtání pro dlouhé kotvy, přenášející velké tahové síly.

Největší objem představují vrty do $\varnothing 100$ mm a délky 15 m. V některých případech jsou požadovány i **delší vrty až 50 m dlouhé**, průměru až 150 mm. Často jsou také požadovány i krátké vrty délky 3 - 4 m a \varnothing do 45 mm, tj. **svorníky** v důlním prostředí, resp. tzv. „**hřeby**“ na povrchu.

V zásadě se používají dvě technologie vrtání kotevních vrtů:

- a. rotační vrtání s proplachem i bez proplachu.** Pro tuto technologii se používají klasické rotační vrtné soupravy, zejména **lafetové s hydraulickým pohonem rotační hlavy**. Důležitým požadavkem je malá hmotnost soupravy. Pracuje se často na lešení při kotvení svahů a skalních zářezů. V zeminách se používají i šnekové vrtáky až do $\varnothing 200$ mm.
- b. rotačně příklepné vrtání.** Tato technologie se používá v pevných horninách. V hlubinných dolech pro zajištění **stability stropů důlních děl pomocí svorníků** se používají **rotačně příklepná vzduchová kladiva**, vrtací vozy a plošiny. **Na povrchu se používají také povrchová a ponorná kladiva**, problémem je přechod sutí, závalem, rozsypů, násypů, tj. nesoudržných pevných až velmi pevných hornin. Nejvhodnějším nástrojem pro tyto podmínky je **dvojitá vrtná kolona**. Jako příklad lze uvést dvojitou **vrtnou kolonu – duplex** typu Klemm $\varnothing 133/89$ mm **s ponorným kladivem**. Tato kombinace má tuto charakteristiku:
 - minimální spotřebu vzduchu,
 - vysoký výkon, prezentovaný vysokou rychlostí vrtání, v důsledku ekonomického přenosu energie z kladiva na korunku,
 - obě kolony rotují - vnější pažnicová i vnitřní pracovní od rotátoru soupravy přes výplachovou hlavu,

- na čelbu naráží pouze vnitřní křížové dláto příklepným způsobem, používá se vzduchový proplach, který je zesílený výfukem kladiv,
- vnější pažnicová kolona rotuje a přibírá vrt,
- po průchodu nesoudržnými horninami zůstává vnější pažnicová kolona ve vrtu, vnitřní se vytěží a dále se vrtá jednoduchou vrtnou kolonou s proplachem a tvrdokovovou nebo diamantovou korunkou,
- v měkkých soudržných horninách lze vrtat šnekovými vrtáky,
- rozšiřování vrtů v kořenové části:
 - mechanické rozšiřování se neosvědčilo,
 - používají se trhací práce - ve volném vrtu,
 - i pod zálivkou injekční směsí.



Obr. 5.61 Vrtání kotevních vrtů.

5.1.3.5 TECHNOLOGIE KOTVENÍ

Technologie kotvení do hornin zahrnuje:

- volbu kotevní výztuže,
- upínání kotev do horniny,
 - mechanické upínání kotev,
 - upínání kotev tmelem,
 - upínání kotev opěrnými patkami,
- dopravu cementové směsi do kotevních vrtů,
- předpínání kotev.

VOLBA KOTEVNÍ VÝZTUŽE

Kotevní výztuž je zhotovena:

- **z tyčí** z betonářské nebo legované oceli (s vysokou mezí pružnosti),
- **z ocelových trubek**,
- **z kabelů**, sestavených z drátů, popř. z drátů spletených do lan.

Volba typu výztuže se řídí:

- požadovanou únosností,
- délkou a počtem kotev,
- provozními možnostmi při jejich osazování, upínání a předpínání.

Použití jednotlivých typů kotevní výztuže:

1. z hlediska účelu

- **krátké tyčové kotvy (svorníky)** – menší tahové síly do 10 t, v rychlém sledu větším počtem kotev,
- **delší tyčové kotvy** (do 15 m) – rychlé přenášení větších sil až do 40 t, při dostatečně velké kapacitě vrtné soupravy a volným manipulačním prostorem (stavební jámy),
- **kabelové kotvy** – pro přenášení soustředěných velkých tahových sil ze stavebních konstrukcí do hlubších částí horninového prostředí.

2. z provozního hlediska

- nejjednodušší příprava, osazení a předpnutí je u krátkých kotevních tyčí,
- u delších kotevních tyčí je manipulace obtížnější,
- pro dlouhé kotvy je vhodné používat kabely – jsou ohebné, snáze se dopravují a zasouvají do vrtů dlouhých až několik desítek metrů z plošin, lešení apod.

Upínání kotev do horniny

Kotvy se zapouštějí a upínají v hornině do předem provedených vrtů, které se zhotovují běžně vrtáním. Pokud kotvy procházejí betonem konstrukce, pak do konstrukce vkládají betonové, azbestocementové, ocelové a případně i trubky z jiných materiálů.

Způsoby upínání jsou následující:

- **mechanickým rozepřením** – využití účinků tření ocelových kotevních patek, zatlačených do stěny vrtu. Na horninu působí značný radiální tlak, soustředěný na malou plochu rozpínané objímky,
- **tmelením** – přilnavost vhodného pojiva k povrchu kotev a ke stěně vrtu pro vytvoření kotevního kořene. Hornina je zatížena převážně smykem, rozloženým podél poměrně velké plochy pláště válcového kořene,

- **opřením o horninu rozšířeným koncem kotvy** – na horninu působí tlak čelní plochy rozšířeného kotevního kořene.

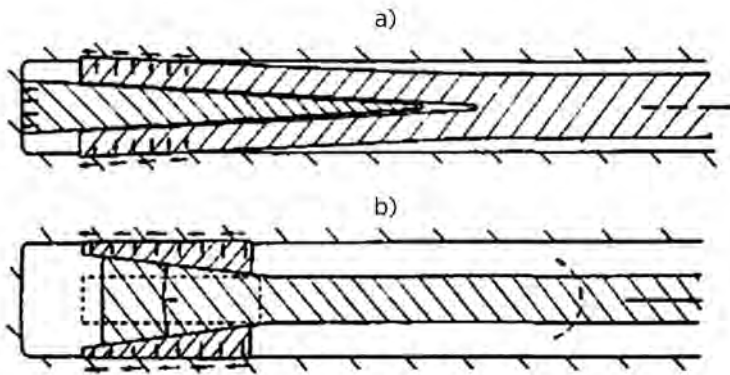
A. MECHANICKÉ UPÍNÁNÍ KOTEV

Použití tohoto způsobu upínání kotev je vhodné **pro provizorní krátké kotvy – svorníky** v pevných skalních horninách.

Mechanické upínací zařízení je upevněno **na konci tyče, zasouvaném do vrtu**. Upnutí je dosahováno **tlakem patky na stěnu vrtu** a to až na hodnotu pevnosti horniny v tlaku. Posunu patky brání tření na stěně vrtu, které je úměrné radiálnímu tlaku. Pevnost upnutí se zvětší při zatlačení patky do stěny vrtu. Požívají se dva systémy mechanického upínání kotev:

1. upínání klínovou patkou,
2. upínání tahovou patkou.

1. Upínání klínovou patkou (obr. 5.62a)



Obr. 5.62 Schéma upnutí kotvy mechanickou patkou v hornině.

Rozepření dosaženo: a – zarážením klínu do rozštěpu tyče,
b – vtahováním klínu do rozpínající se objímky.

Principem je rozrážení klínu do rozštěpu tyče. Jedná se o nejstarší a výrobně nejjednodušší typ kotev s mechanickým upínáním.

Technologie této metody zahrnuje:

- tyčovou kotvu – táhlo kotvy tvoří ocelová tyč $\varnothing 22 - 26$ mm, na konci rozříznutá podélně,
- do rozštěpu je zasunut klín,
- k upnutí dochází tlakem – údery pneumatický kladivem, které způsobí zatlačení klínu do rozštěpu a rozevření křídel, která se přitlačí na stěnu vrtu,

- délka tyče je 1,2 – 1,8 m,
- vhodné parametry tyčové kotvy (svorníku) jsou:
 - \varnothing 22 – 26 mm,
 - délka do 3 m,
 - délka rozštěpu a klínu 14 cm,
 - úhel klínu 7°,
 - délka vrtu: o 10 – 15 cm kratší než je tyč.

Použití krátkých kotev s mechanickým upínáním klínovou patkou:

- do všech druhů skalních hornin,
- únosnost až 7 – 12 t s povytažením do 10 mm,
- ani po 2 letech nevykazují pokles pevnosti.

Únosnost svorníku

$$P_{max} = \frac{8}{3} \sigma_{tl} (\sin \alpha + f_1 \cos \alpha) \left[R^2 - \left(\frac{v_1^2 + R^2 - r^2}{2v} \right) \right] n k_r \quad [\text{N}] \quad (5.34)$$

kde

σ_{tl} – pevnost horniny v tlaku prostém [$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$],

2α – vrcholový úhel klínu,

f_1 – koeficient tření kovu s horninou,

$2R$ – průměr vrtu [m],

$2r$ – průměr táhla – tyče [m],

v, v_1 – výška a redukovaná výška klínu [m],

n – délka parabolického kontaktu křídel rozštěpu s horninou,

k_r – koeficient zohledňující přibližné stanovení odporu horniny po celé ploše křídel rozštěpu.

Pro svorník typu SK-6 a vrt \varnothing 29 mm se dostává

$$P_{max} = 19 \sigma_{tl} f_1 \quad [\text{kN}] \quad (5.35)$$

2. Upínání tahovou patkou (obr. 5.62b)

Technologicky se jedná o nejjednodušší systém, pokud jde o upnutí a uvedení do akce. Po zasunutí do vrtu lze svorník ihned zatížit **vtahováním klínové nebo kuželové opěry na konci tyče** mezi rozpěrné čelisti s ozubeným povrchem. Provádí se to utahováním matice opřené o podložku na vnějším konci svorníkové tyče. Upínání lze provádět také šroubovou patkou, kterou lze svorník také předpínat hned po jejím zasunutí do vrtu a to otáčením svorníkové tyče obvykle pomocí matice navařené na vnějším konci tyče. Tím se našroubuje klínová nebo kuželová rozpěra na odlehlejší konci tyče mezi čelisti a přitlačí je ke stěně vrtu.

Pro tento typ upínání se stanoví únosnost

$$P_{max} = 4r_p \sigma_{tl} n \sin \varphi_o (\sin \alpha + f_1 \cos \alpha) \quad (5.36)$$

kde

r_p – poloměr kotevní patky před rozepřením

α – úhel sklonu rozpěrného klínu

φ_o – celkový obvodový úhel styku čelistí rozpěrné patky s horninou ve vrtu.

Vlastnosti mechanicky upínaných kotev

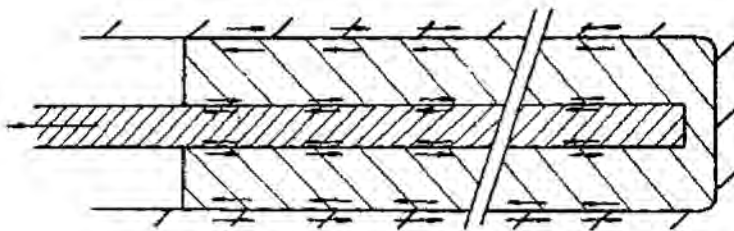
Mechanicky upínané kotvy dosahují **ihned po upnutí konečné pevnosti**. Ihned po osazení je lze předpínat a zatěžovat. Upnutí do horniny se dosahuje na krátkém úseku – 10 – 15 cm. Tím se do horniny přenáší velké napětí, což vytváří **velké nároky na pevnost horniny**. Pevnost upnutí určuje **upínací síla**, kterou se zatlačují čelisti mechanické patky do horniny. Kotvy nejsou chráněny proti korozi. Jejich životnost je proto omezená. Obvykle se používají pro provizorní zajištění hornin jako výztuž. Jejich cena je vyšší než u tmelených z důvodu použití kvalitní oceli.

B. UPÍNÁNÍ KOTEV TMELEM

U delších kotev se nejčastěji pro upínání kotev do horniny využívá **soudržnosti tmele** (cementové malty, cementové kaše, syntetické pryskyřice) s **kotvou i s horninou** (obr. 5.63). Na odlehlejší konci kotvy ve vrtu je upnutí provedeno **v poměrně dlouhém úseku** (1 – 7 m) a zatížení horniny na plošnou jednotku je tedy malé.

Tento způsob upínání **dlouhým kořenem** je vhodný do pevných hornin, popř. nesoudržných zemin. Jeho výhodou je ochrana výztuže proti korozi v rozsahu kotevního kořene, nevýhodou je možnost zatížení až po ztvrdnutí tmele.

Účinnost upnutí je závislá na **přilnavosti výplňového tmele** k povrchu kotevní oceli a k hornině ve vrtu.



Obr. 5.63 Schéma upnutí kotvy v hornině tmelem ve spodní části vrtu.

Smyková napětí působí na styku pojiva s ocelí i s horninou.

Při projektování nutno počítat s tímto nejslabším článkem kotvy (tmelová výplň) a proto se zvyšuje dostatečná plocha upnutí kotvy, tj. volbou délky, příp. \varnothing kotevního kořene.

Délka upnutí kotvy v tmele se určí ze vztahu

$$l = \frac{mP}{n\pi d_1 \tau_a} \quad (5.37)$$

kde

l – délka upnutí [m],

P – kotvící síla [N],

m – koeficient bezpečnosti [1,5],

d_1 – \varnothing drátů nebo \varnothing tyče kotvy [m],

τ_a – pevnost soudržnosti tmele s ocelí [$\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$] závislá na druhu tmele a drsnosti povrchu výztuže,

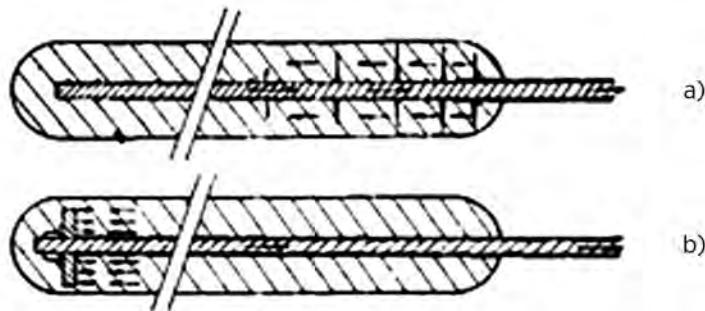
n – počet drátů nebo tyčí upínaných v jednom vrtu.

Délku upnutí lze zkrátit použitím **tvarované oceli s periodickým průřezem**. U kabelových kotev se používá **zvlnění povrchu kořenové části kotvy**, dále prohýbání drátů, rozplétání konců kabelů apod.

Těžiště odporu proti posunutí kotevního kořene v místě upnutí, daného soudržností tmele a horniny, se uvádí ve vzdálenosti 0,41 – 0,71 od odlehlého konce kotvy, obvykle se uvažuje 0,51 – tj. **střed kořene kotvy** a k němu vztahuje také hloubka upnutí kotvy.

Kotvení **soudržností** je tedy vhodné především ve **skalních horninách**, kde je schopné odolávat velkým silám – až 500 t. Je také vhodné v **suchých nesoudržných zeminách**, kde však je nutné používat větších profilů (minimálně 100 mm), zabránit uvolnění stěn vrtů a styku jílu na stěnách s vodou (vrtat pažnicí), úsek upnutí po vyčištění stlačeným vzduchem injektovat krátce po odvrtání (do 12 hodin) co nejhustější cementovou suspenzí.

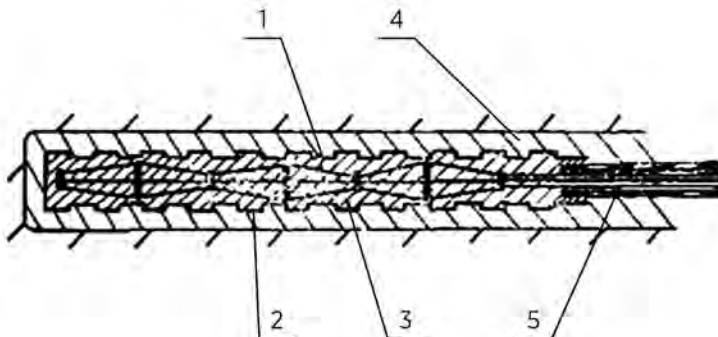
Účinnost upnutí kotev v horninách přilnavostí (obr. 5.64a) lze zvýšit převedením tahu kotvy na spodní konec kořene tím, že se kotva opatří po celé délce **distančním obalem** (obr. 5.64a) a na spodním konci se na ni připevní **patní deska** (obr. 5.64b) nebo **patní hlavice**.



Obr. 5.64 Základní typy upnutí ocelové výztuže v betonovém kořenu a způsob jeho namáhání.

a – postupné namáhání tahem, b – namáhání soustředným tlakem.

U tažených kořenů kotev spojených s kotvou v celé jejich délce (obr. 5.64a) vznikají v blízkosti čela příčné trhliny a tím dochází k obnažení oceli kotev. Takto konstruované kořeny se proto někdy **chrání proti korozi obalem** z neměkčeného polyvinylchloridu nebo jiné plastické hmoty. Obal musí být podélně zvrásněn, aby nevytvořil kluznou plochu v tělese kořenu (obr. 5.65).



Obr. 5.65 Upnutí ocelové výztuže zajištěné ochranným obalem proti korozi.

- 1 – zvlněné dráty kabelu v úseku upnutí, 2 – ochranná trubice z oceli nebo umělé hmoty, 3 – zálivka výztuže v ochranné trubici cementovou směsí nebo umělou pryskyřicí (pečlivě provedená před osazením), 4 – cementová výplň vrtu po osazení kotvy, 5 – ochranný obal kabelu v úseku táhla.

Materiál pro upínání kotev soudržností:

Téměř výhradně se používá **cementová malta**. Je levná, na stavbách snadno dosažitelná a zpracovatelná, má vyhovující přilnavost, je spolehlivou ochranou proti korozi. Další upínací materiál jsou **syntetické pryskyřice**. Mají tyto výhody:

- soudržnost s pevnými horninami 2 – 3 × vyšší, podmínka je suché prostředí,
- rychlé tuhnutí (po 1 – 2 hodinách), umožňuje rychlé předpínání,
- větší pevnost,
- možnost použití menších průřezů materiálů kotev.

Nevýhodou je:

- vyšší cena,
- větší závislost na horninovém prostředí – vlhkost, teplota,
- náročnost přípravy.

Použití je především u krátkých tyčových kotev, lepené svorníky.

C. UPÍNÁNÍ KOTEV OPĚRNÝMI PATKAMI

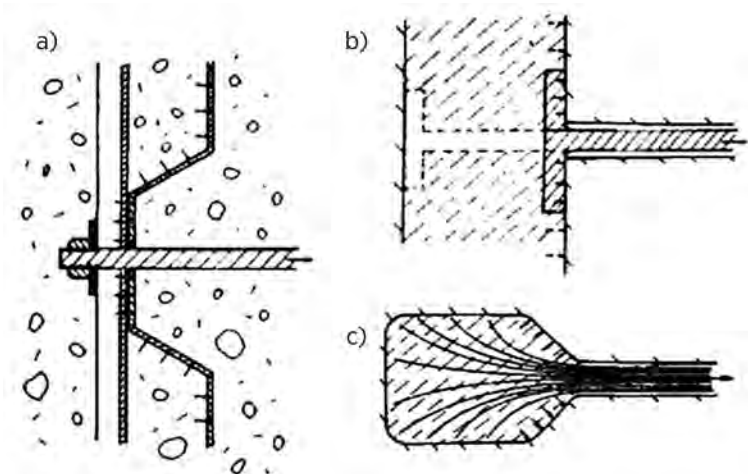
Kotvy pro velké tahové síly nebo kotvy upínané v zeminách je technicky účelné upínat konstrukcí, která se o ně opírá (obr. 5.66). Používá se pro ně označení **opěrné patky nebo rozšířené kořeny**. Tvoří je roznášecí ocelové, železobetonové nebo jiné desky, popřípadě i stěny (např. štetové stěny), osazené z povrchu nebo

opřené o stěny rýh, štol, studní. Ve většině případů se však vytvářejí jako hlízy vybetonováním rozšířeného kořene vrtu. **Rozšířením paty vrtu** se řeší především **zvýšení únosnosti kořene kotvy** v zeminách a porušených horninách. Původně se provádělo rozšiřování kořene mechanickým přibíracím zařízením tzv. "sklípkování" jak ve volném vrtu, tak pod zálivkou injektážní směsí. Avšak při ověřovacích zkouškách bylo zjištěno, že byla výplachem vynesena pouze část přibrané zeminy. Ani mechanické otvírání přibíraku nefungovalo dokonale. Pokroku bylo dosaženo při "sklípkování" odpálením náloží ve volném vrtu i pod zálivkou injektážní směsí.

Avšak oba uvedené způsoby jsou časově náročné a použitelné pouze v určitých druzích hornin. Z tohoto důvodu se používá také **injektáž kořene kotvy cementovou suspenzí** ($c : v = 2 : 1$), která nejen zlepšuje mechanické vlastnosti horniny v okolí vrtu, ale do určité míry zvětší i průměr vrtu (závisí na druhu horniny, ve které je situován kořen).

Injektáž se provádí pomocí **injekční manžetové trubky**, která je v prostoru kořenevé části opatřena 4 otvory o průměru 8 mm, po 90°. Vzdálenost otvorů od sebe bývá nejčastěji 50 cm. Tyto otvory jsou překryty gumovými manžetami, které vytvářejí funkci zpětného ventilu. **Dvojitým necirkulačním obturátorem** s koženými manžetami, který se zasune do injekční manžetové trubky nejdříve na první otvor od spodního konce (etáže), se vhná určité množství cementové suspenze, které je závislé na druhu horniny, v níž je kořen kotvy situován. Cementová směs tlačena injekčním čerpadlem nadzdvihne gumovou manžetu, protrhne cementovou zálivku (cementový kámen) a šíří se do okolí. Pro kvalitní provedení (upnutí) kořene kotvy je třeba znát horninové prostředí, sledovat hodnotu injekčního tlaku a určovat vhodné množství cementové suspenze, dávkované na jednotlivé etáže.

Pro injektážní práce se používají **vysokotlaká injektážní čerpadla** (tlak 0 – 12 MPa, regulace množství směsi 5 – 40 l·min⁻¹). Tato hydraulická čerpadla jsou obvykle pístová dvoučinná, poháněná elektromotorem o příkonu 7,5 kW.



Obr. 5.66 Schéma upnutí kotvy v horninovém prostředí opěrnou konstrukcí, tvořenou: a – zaberaněnou štětovou stěnou, b – ocelovou deskou nebo vybetonovanou rýhou či šachticí, c – betonovou hlízou.

Únosnost kotev na základě experimentálních prací studoval Barraud:

- prokázal, že existuje **přímý vztah únosnosti kotev k poměru hloubky jejich zapuštění a průměru patky h/d** . Dospěl k závěru, že
- napětí vyvolané patkou kotvy se přenáší do části horninového prostředí ve tvaru **komolého kužele** s vrcholem v patce kotvy; to je jen v případech poměrně malých hloubek pod povrchem, tj. v případě kdy h/d nepřesáhne 5 – 10,
- jinak dochází k porušení zeminy pouze v bezprostřední blízkosti čela kotevní patky (k jejímu obtékání zeminou). Horní hranice celkového porušení zeminy je při $h/d = 13$,
- do $h/d = 14$ je **růst nosnosti exponenciální**, nad 14 je přírůstek nosnosti pro růst hloubky menší (při stejném průměru).

5.1.3.6 CEMENTOVÉ SMĚSI A JEJICH DOPRAVA DO KOTEVNÍCH VRTŮ

Většina kotev je v horninovém nebo zeminovém prostředí upínána cementovou směsí – maltou nebo kaší, které po ztvrdnutí vytvoří pevnou výplň vrtu, popřípadě zpevní zeminu a horninu v okolí vrtu.

1. CEMENTOVÉ MALTY

Složení malty:

- portlandský cement (min. 250),
- čisté drobnozrnné písky (zrna do 2 mm),
- v dobře tekuté konzistenci, aby směs vyplnila prostor a přilnula k výztuži.

Hmotnostní poměr:

- cement : písek = 1 : 1 ÷ 1 : 2,
- vodní součinitel: voda : cement 0,5 ÷ 0,6, u aktivovaných malt 0,4 ÷ 0,5.

Nepříznivý účinek smršťování malty při tvrdnutí se odstraňuje **chemickou nebo mechanickou aktivací**. Aktivace cementu se provádí v aktivačních míchačkách, kde se dosahuje celkové zlepšení fyzikálně mechanických vlastností směsi i kamene a malta je tekutější a stabilnější. Tekutost a větší akční rádius injektovaných malt se zvyšuje také přidáváním **plastifikátorů**. Nezbytným doplňkem umělých plastifikátorů při přípravě aktivovaných cementačních malt je stabilizační přísada, která zabraňuje rozměšování. V podstatě se jedná o jemně mletý hydraulický elektrárenský popílek. Jeho optimální dávka se pohybuje v rozmezí 10 – 20% hmotnosti portlandského cementu. K přirozeným plastifikátorům patří jílní nebo bentonit. V množství 2 – 3% - výrazně zlepšují fyzikálně chemické vlastnosti.

2. CEMENTOVÉ KAŠE

Používají se pro injektáž dlouhých kořenů kabelových kotev ve směsi cementu : voda 1 : 1 ÷ 1 : 3. Husté směsi se používají tam, kde přebytečná voda nemůže odfiltrovat do okolní zeminy, naopak řídké směsi se používají v propustných

zemínách a pro vytvoření širokého kořenu kotvy.

3. DOPRAVA CEMENTOVÝCH SMĚSÍ DO VRTU

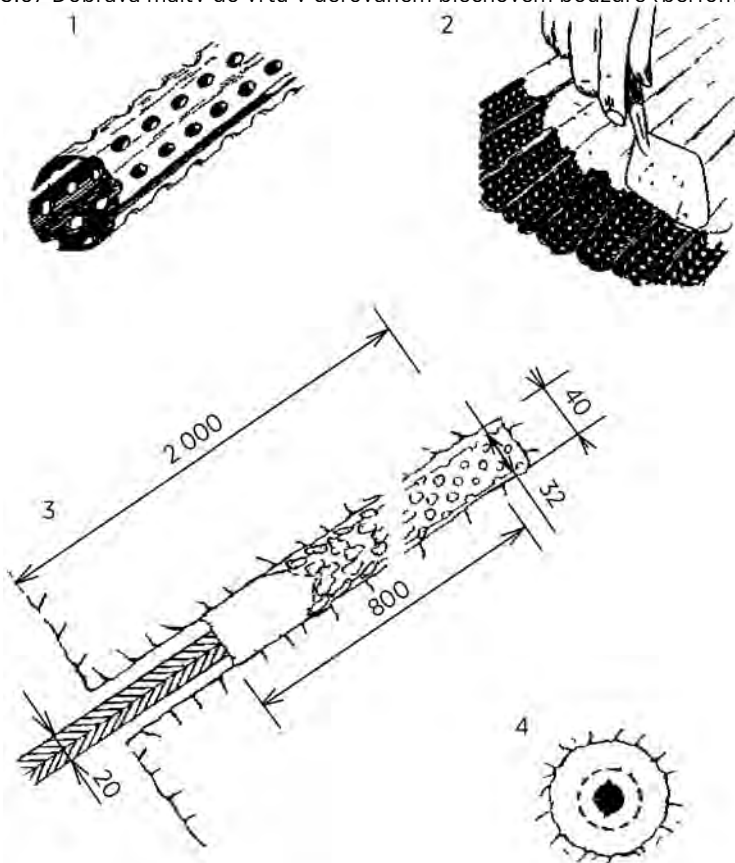
Pro dopravu cementové směsi do kotevního vrtu je nutno použít takový způsob, který zaručuje **dostatečně spolehlivé obalení výztuže kotvy a zpevnění horninového prostředí.**

a. ruční plnění vrtů

Je to nejjednodušší příprava a doprava cementové směsi. Je však vhodná jen pro malá množství směsi a u krátkých vrtů bez přítoku podzemní vody. Používá se různých způsobů podle dopravovaného množství a konzistence směsi, podle orientace vrtu a použitého typu tyčové kotvy - svorníku.

Nejznámější je tzv. **perfometoda**, kde dvě poloviny plechové děrované trubice s otvory asi 1cm jsou vyplněny ručně hustou maltou, spojeny drátem a zasunuty do vrtu. Svorníkem se malta vytlačí do mezikruží a po ztvrdnutí se vše spojí v jeden celek (obr. 5.67).

Obr. 5.67 Doprava maltv do vrtu v děrovaném plechovém pouzdře (perfometoda).

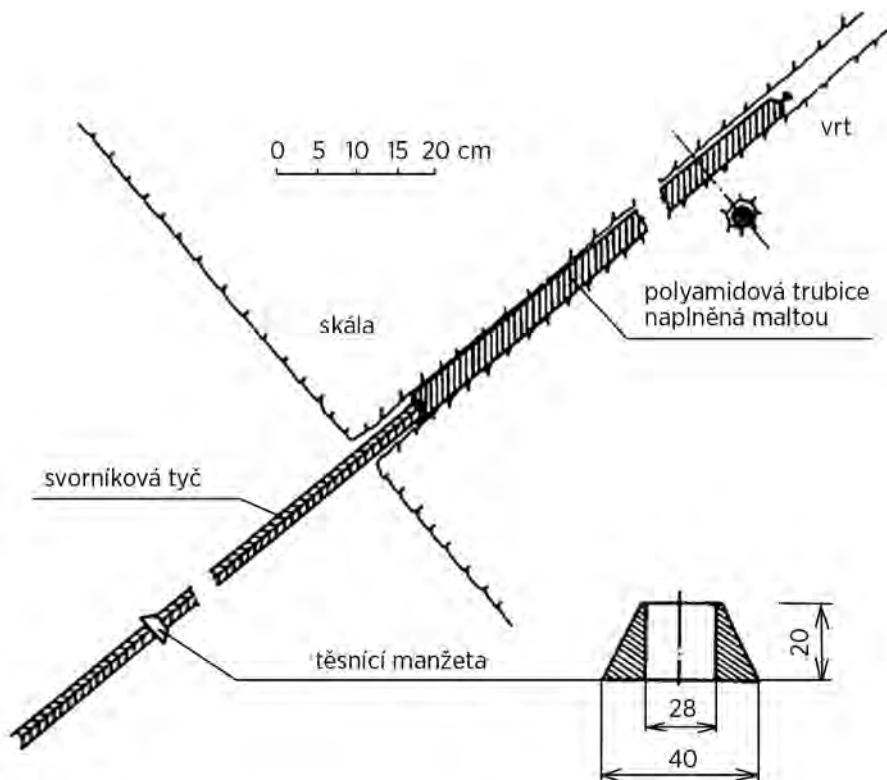


1 - plechové pouzdro ze dvou polovin, 2 - plnění několika rozložených pouzder maltou, 3 - zarážení kotevní tyče do trubice s maltou ve vrtu, 4 - příčný řez vyplněným vrtem.

Úspěšně byly aplikované také **plastické trubice z polyamidu** - \varnothing 32

a 48 mm, délky 80 cm. Lze použít i několik náplní po sobě. Po zasunutí a zaražení svorníkem se obal roztrhne a malta vylije do otvoru. Kuželová manžeta z měkké pryže, navlečená předem na svorníkové tyči utěsni otvor (obr. 5.68)

Mezi další známé způsoby patří jednoduchý způsob založený na principu **ruční hustilky**, velmi účinná je metoda **nízkotlaké injektáže**, také modifikace **důlní zafoukávací pistole**, používaná v dolech k vyplňování stropních kotevních vrtů aj.



Obr. 5.68 Zasouvání malty v trubici z poddajné plastické hmoty svorníkovou tyčí do vrtu \varnothing 36 až 38 mm.

b. injektáž vrtů

Do dlouhých kotevních vrtů se dopravují cementové směsi pod tlakem pneumatickými injektory nebo mechanickými objemovými čerpadly.

Injektory jsou válcové tlakové nádoby s kuželovým dnem, objemu 50 – 200 l. Na spodu je vířič na tlakový vzduch k míchání směsi a výpustný ventil. Injektor pracuje při provozním tlaku 0,4 – 0,5 MPa, který dodává kompresor. Použití injektorů je omezeno na jednoduché případy kotvení.

Možnost vyšších tlaků a jejich regulace je při injektáži **mechanickými objemovými čerpadly**. Používají se pístová, šneková, membránová čerpadla, která pracují s tlaky 0,1 – 12 MPa. Nejvhodnější se jeví pístová čerpadla s elektrickým nebo vzduchovým pohonem. Např. švédská firma Atlas-Copco produkuje injekční čerpadla, která při \varnothing válců 110 mm jsou schopna dodat 50 l/min směsi při tlaku 7 MPa, s použitím menšího \varnothing válců 80 mm pak 30 l/min při 12 MPa.

Veškerá zařízení potřebná pro kvalitní injektáž kotev se sdružují do **injekčních stanic**. Kromě čerpadla a rychloběžné aktivační míchačky obsahují ještě pomaloběžnou míchačku, v níž je směs udržována v čerpatelném stavu.

Doprava injekční směsi od čerpadla do vrtu je vedena gumovou tlakovou hadicí, ve vrtu pak nejčastěji trubicí z umělé hmoty $\varnothing 20/16$ mm. Ta se pak napojuje se na injektážní trubku (jednoduchou nebo manžetovou) ve vrtu.

5.1.3.7 UPÍNÁNÍ KOTEV VE STAVEBNÍ KONSTRUKCI

Pro **účely upínání** jsou **volné konce kotev u ústí vrtu opatřeny upínacím zařízením**.

Tyčové kotvy se upínají nejčastěji maticemi. Závity na našroubování matic jsou často **lisovány**, protože tak nedochází ke ztenčení průměru kotvy. Matice se opírají o ocelové podložky, kterými se **tlakové napětí přenáší do konstrukce nebo do horniny**. Správné **vystředění kotvy ve vrtu** a rovnoměrné přenášení tahové síly na povrch horniny se provádí pomocí **sférické podložky**. Předpětí se provádí **momentovými klíči**, kde lze přesně podle vestavěného krutoměru sledovat nastavovaný krouticí moment upínané kotvy. **Krouticí moment**, kterým se při utahování působí na matici tyčové kotvy, neudává přímo tahovou sílu v kotvě. Přepoččet závisí značně na třecích odporech matice při otáčení na závitě a na podložce:

$$C \geq \frac{Pd}{2} (tg\beta + 2tg\varphi) \quad (5.38)$$

kde

C - krouticí moment [Nm],

P - tahová síla v kotvě [N],

d - průměr tyče ztenčené závitě [m],

β - úhel stoupání závitě, pro běžné svorníky tuzemské výroby je $2^{\circ}30'$,
u některých zahraničních typů $5 - 9^{\circ}$,

φ - úhel tření matice v závitě a na podložce, průměrná hodnota 14° .

Takže pro dané P lze stanovit odpovídající C . Pohodlněji a rychleji než momentovými klíči se utahují svorníky víceúčelovými **pneumatickými vrtacími kladivy** opatřenými nástrčkovými klíči. Dosahuje se jimi krouticího momentu až 850 Nm.

Nevýhodou momentových klíčů a pneumatických utahováků je, že proti otáčení matice na povrchu je odpovídající předpětí ve svorníku dosti rozdílné. Rozdíly činí až $\pm 25\%$ od vypočítané hodnoty. Proto pro upínání větších tyčových kotev s předpětím nad 10t se používají hydraulická zařízení tj. různé napínací pistole a lisy k uchycení tyče se závitě. Mají malé rozměry, avšak vysoký výkon. V našich podmínkách se používá diskový lis do 50t, kde lze měřit přímo předpínací

sílu. Po předpětí se tyč zajistí dotažením matice na přítlačnou desku a zařízení hydrauliky lze uvolnit.



Obr. 5.69 Kabelová kotva s dráty zasunutá do kotevního vrtu.

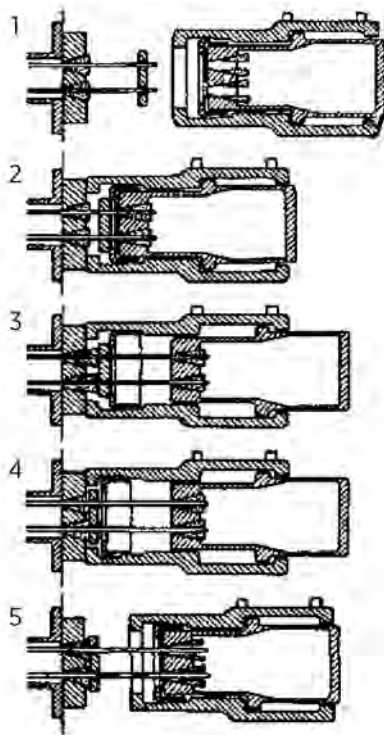
Kabelové kotvy střední velikosti – do 100 t používají jako upínací zařízení nejčastěji **svěrné hlavice**. Svěrný účinek se zajišťuje **klíny nebo komolými kužely zatlačenými mezi dráty nebo prstence kabelů**, vtaženými předpětím do otvorů s kuželovitě se zužujícím průřezem v ocelových opěrných deskách. Principiálně jsou založeny na tření, což je výhoda, neboť nevyžadují velkou konstrukční délku.

Předpínání zajišťuje ve všech případech **hydraulické zařízení**, které tvoří hydraulický válec, armatury a rozvod a čerpací agregát. Ten se skládá z olejové nádrže, čerpadla a pohonného motoru.

Konstrukce vlastního napínacího zařízení je tvořena hydraulickým válcem s dutým pístem a pístnicí, jimiž prochází napínaná armatura. Při předpínání se válec opře o roznášecí desku v hlavě kotvy a v pístnici se upevní napínaná armatura. Začerpáním oleje pod píst válce se vyvodí příslušná napínací síla a armatura se předepne. V napnutém stavu se armatura zajistí:

- u tyčových kotev maticí,
- u drátových kotev zalisováním kotevní kuželky do kotevního prstence,
- u pramencových (kabelových) kotev sevřením jednotlivých pramenců kleštinami.

Ukázka funkce napínacího zařízení typu Stronghold G 300 pro pramencové kotvy je na obr. 5.70, které je schopno vyvinout sílu až 3 000 kN. Kabelové kotvy se zakotvují do hlavic kotev tím způsobem, že jednotlivé pramence se zakotvují třídílnými samosvěrnými kleštinami. V případě antikorozních kotev se provádí injektáž pod hlavicí kotvy epoxidemtovými pryskyřicemi.



Obr. 5.70 Pracovní funkce napínacího zařízení Stronghold G 300.

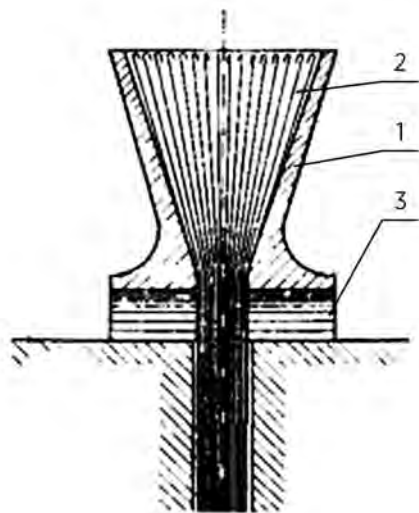
- 1 – poloha před osazením na pramence kotvy, 2 – automatické zakotvení pramenců vnitřními kleštinami, 3 – posun vnitřního pístu – napnutí pramenců, 4 – hydraulické zakotvení kleštin do hlavy, 5 – uvolnění vnitřního pístu – automatické uvolnění vnitřních kleštin.

Velké kabelové kotvy se zatížením nad 100 t se upínají se zabetonováním do **pevných kotevních hlavic** a jsou v nich upnuty soudržností, doplněnou účinkem tření.

Předpínací síly dosahují hodnot až 400 t. Kotevní hlavice mají výšku 50 cm, horní průměr 45 cm, dolní průměr 11 cm. U nás se používají **kotevní hlavice typu 200 t a 400 t**. Napínací zařízení tvoří hydraulický lis 200 t, v druhém případě se používají dva takové lisy. Lisy se vkládají symetricky po obou stranách hlavice pod napínací objímku nasunutou na kotvu před zahájením napínání. Objímka se skládá ze dvou čelistí, které těsně obepínají hlavici. **Předpětí** ve výztuži se zajišťuje podložkami, které tvoří ocelové polokruhové desky s průměrem vnitřního kruhu, rovnající se průměru táhla kotvy a vnějším průměrem shodným s průměrem dosedací plochy hlavice. Tloušťka desek je odstupňována od 2 – 30 mm. Použitím podložek se zvětšuje spotřeba oceli. Proto se používají také betonové desky, které jsou v průměru pūlené, aby se dobře odkládaly.



Obr. 5.71 Hydraulické upínací zařízení pro kabelové kotvy.



Obr. 5.72 Pevná kotevní hlavice pro kotvy únosnosti 400 MPa.

1 – ocelolitinový kbelík, 2 – zabetonované konce drátů,
3 – distanční podložky různé síly pro zajištění předpětí.

Velikost předpětí – je stanovena jako podíl:

$$\frac{P_c}{n} \quad (5.39)$$

kde

P_c – velikosti sil, kterými je třeba zakotvit stavební objekt nebo horninový masív, aby byla zajištěna jeho stabilita,

n – počet kotev, které lze ve stavebním objektu rozmístit technicky účelně a při minimální spotřebě vrtných prací.

Při dimenzování kotev se rozeznává:

- **základní předpínací síla** – síla vložená do kotvy po dokončení napnutí. Je to největší síla, působící na kotvu vůbec a první kontrola pevnosti kotvy a jejího upnutí do horniny,
- **počáteční kotvicí síla** – uplatňuje se po uvolnění volného konce kotvy z upnutí v upínací hlavici - je menší než předchozí o ztráty vzniklé pružným stlačením horniny nebo betonu stavebního objektu, prokluzem táhel, dosednutím kotevních hlavíc, kořenů apod.
- **konečnou kotvicí síla** – provozní minimální síla, se kterou se počítá ve statickém výpočtu. Je menší než předchozí o ztráty vzniklé nepružným dotvarováním horniny, smrštěním a dotvarováním betonu, zatlačováním kořene kotvy do horninového prostředí atd.

Součinitel účinnosti kotvení se stanoví:

$$\omega = \frac{P_\infty}{P_0} \quad (5.40)$$

kde

P_∞ – konečná kotvicí síla,

P_0 – počáteční kotvicí síla.

Dosahuje hodnot 0,7 – 0,8 optimálně, ale i méně v závislosti na vlastnostech horniny a časovém průběhu upnutí. P_0 se volí podle 85% meze průtažnosti materiálu σ_k .

Měření a vyhodnocení kotev. O výrobě každé kotvy se vede protokol, ve kterém jsou záznamy o vrtání, osazení kotvy, injektáži a předpínání. Tyto protokoly slouží jako **atesty o kotvách** při předávání odběrateli a zároveň pro dlouhodobé sledování provedených kotev v různých horninových prostředích. Pro dlouhodobé měření sil v kotvách se používají **dynamometry**, které jsou osazovány pod hlavou kotvy. Deformace (stlačení) jsou měřeny **strunovými tenzometry**. Měření v určitých časových obdobích se zjišťuje, zda nedochází k úbytku tahových sil vlivem dotvarování kořene. V případě, že tomu tak je, provede se dopnutí kotvy. Jsou známy i případy, kdy dochází ke zvětšování tahových sil vlivem posunu kotvené stěny.



Obr. 5.73 Souvislá kotevní výztuž vozovky.



Obr. 5.74 Detail svěrné hlavice kotvy.

5.1.4 INJEKTOVÁNÍ HORNIN

5.1.4.1 INJEKTOVÁNÍ SKALNÍCH HORNIN

V prostředí skalních hornin se mohou v podstatě vyskytovat:

- trhliny a pukliny,
- dutiny.

Propustnost skalních hornin je dána především jejich puklinami. Ty však v různých typech hornin mají svůj charakter. Jiná je propustnost v horninách vyvěřelých, jiná v horninách sedimentárních.

Horniny různých geologických skupin **mají různou propustnost**, a jsou tedy různě injektovatelné. Důležitější však je jejich stav rozpukání a navětrání. Je-li geologicky určené souvrství dostatečně zpřesněno horninou samou, může být nazváno spojitou skalní horninou; častěji je však chování horninového masívu určováno **diskontinuitami**. Popisovat druh horniny však není podstatné – horniny se označují jako nespojitě. U pevných hornin, jako jsou například žuly, diority, křemence, některé pískovce, droby, je hornina tak pevná a nepropustná, že pouze diskontinuity mohou účinně působit na její propustnost a na její podmínky stability. Taková hornina se označuje jako nespojitá. Ve větších hloubkách však ubývá trhlin – diskontinuit a hornina se stává spojitou.

Kontinuitu skalní horniny lze klasifikovat podle poměru modulu pružnosti na vzorcích (E_n) k modulu pružnosti zjištěného přímo v terénu (E_p), tabulka č. 5.6 (podle Goodmanna 1976).

Tab. 5.6 Klasifikace hornin podle jejich kontinuity.

Kontinuita	E_n/E_p	Puklinatost	Typické horniny
spojité	1 ÷ 1,3	< 1	masivní žuly, diority, pískovce apod., soudržné zeminy jakéhokoli stáří
přechodné	1,3 - 2	< 1	rozpukané žuly, diority, ruly, některé pískovce
nespojité	> 2	1 - 5	vysoce rozpukané žuly, diority, ruly, svory, pískovce
rozložené	> 5	mezery a dutiny mezi monolity	zlomová pásma pohyby hornin

Petrografický typ horniny a její mechanický charakter mají vliv na **velikost injekčních tlaků**:

- a. pro skalní horniny je nutné použít několikanásobně větší injekční tlak než je tíha nadloží,
- b. sedimentární horniny nesnesou velký injekční tlak.

Dále velikost tlaku ovlivňuje úklon hlavních puklin nebo vrstevních spár. Podle toho se horniny dělí:

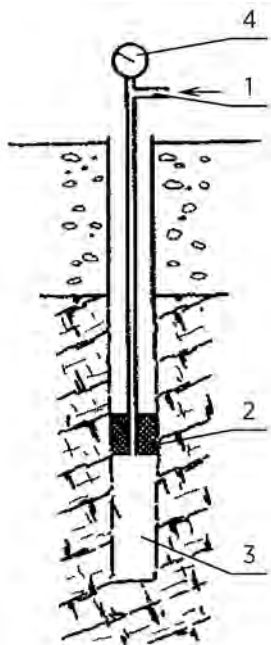
- vodorovné nebo málo ukloněné pukliny (do 30°),
- šikmé pukliny ($30 - 60^\circ$),
- strmé – svislé pukliny ($60 - 90^\circ$). U těchto puklin lze použít injekčního tlaku až $6 \cdot \gamma \cdot h$ [$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$], kde γ – objemová tíha nadloží [N/m^3] a h – hloubka injektování [m].

Druhy dutin v zemské kůře, které jsou často injektovány:

1. vyluhování vápenců a ostatní krasové jevy,
2. horniny flyšového typu (střídání břidlic s lavicemi pískovců) - zatlačování bloků pískovců do měkčích břidlic – trhliny v pískovcích,
3. vyplavená jílová výplň poruchových pásem,
4. kaverny pod vodními díly – přehrady, plavební komory,
5. staré důlní chodby,
6. staré sklepy a kanalizace.

Kritéria přípustné propustnosti

Důvodem pro stanovení kritérií přípustné propustnosti byla snaha **předvídat propustnost horniny do určité hloubky pod základovou spárou budoucího díla**. Tak vznikly první vodní tlakové zkoušky v hornině. Jeden z prvních autorů, který formuloval přípustnou propustnost horniny, byl LUGEON (1933), obr. 5.75.



Obr. 5.75 Vodní tlaková zkouška podle Lugeona.

1 – přívod vody, 2 – obturátor, 3 – zkoušený úsek, 4 – manometr.

Podmínky zkoušky byly následující:

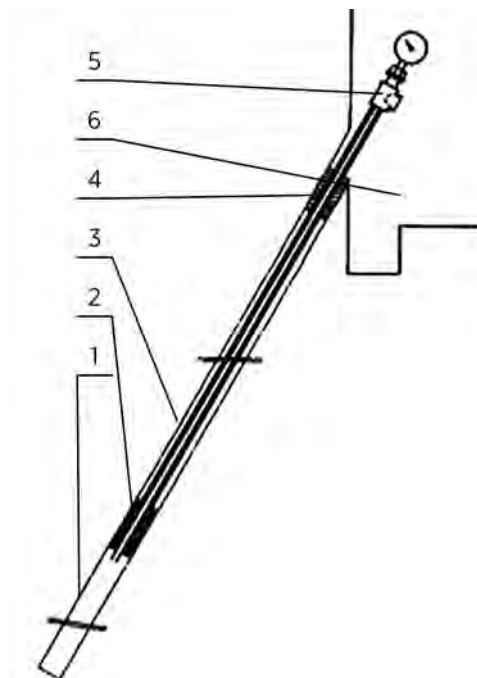
- délka zkoušeného úseku 5 m,
- doba trvání 10 minut,
- jednoduchý obturátor.

Přípustná ztráta vody byla autorem navržena takto:

- 1 l/min·m zkoušeného úseku u hrází vyšších než 30 m,
- 3 l/min·m zkoušeného úseku u hrází nižších než 30 m.

Zkouška byla prováděna tlakem 1 MPa.

Hodnota 1 l/min·m při tlaku 1 MPa se nazývá **1 LU**. V jednotkách LU se uvádí i ztráty vody ve vrtu. Například 10 LU znamená ztrátu vody 10 l/min·m při tlaku 1 MPa.



Obr. 5.76 Vystrojení vztlakových vrtů.

- 1 - měřená etáž, 2 - obturátor, 3 - utěsněný úsek vrtu, 4 - ucpávka,
5 - kohouty s manometrem, 6 - injekční štola.

Z dalších kritérií přípustné ztráty vody lze uvést dle autorů:

- Jahde: 0,1 – 0,5 l/min·m při tlaku 0,3 MPa při tlaku 0,3 MPa,
- Terzaghi: 0,05 l/min·m při tlaku 10 kPa.

Koeficient filtrace lze odvodit z Dupuitova vzorce:

$$k = \frac{Q \ln \frac{R}{r_o}}{2\pi L \Delta p} \quad (5.41)$$

pro Lugeonovo kritérium a pro R/r_o platí $k = 10^{-7}$ m/s.

V našich podmínkách jsou vžita **kritéria dovolené ztráty vody podle Lugeona a Jähdeho**. Po dlouhodobém používání bylo zjištěno, že tato kritéria jsou pro všeobecné používání dosti přísná. Na základě pozorování vztlakových vrtů, které jsou realizovány na každém přehradním tělese, se doporučuje, aby maximální péče byla věnována **základové spáře a hornině do hloubky 10 – 15 m**. Zde by mělo být uplatněno Lugeonovo nebo Jähdeho kritérium.

Pod hloubkou 15 m, kde je hodnota gradientu tlaku v cloně P/H asi 4 × menší, je možno připustit větší ztrátu vody. Pod hloubkou 30 m, kde je hodnota gradientu tlaku až 10 × menší, lze dovolit i ztrátu vody 4 l/min·m při tlaku 0,3 MPa. Základním prostředkem pro sledování hydrodynamických poměrů pod základovou spárou a tak stanovení příslušných kritérií ztráty vody jsou **vztlakové vrty**.

Na základě dlouhodobých zkušeností v našich podmínkách navrhl Verfel (1970) pro vodní hráze tyto hodnoty – viz tabulka 5.7.

Tabulka 5.7 Základní parametry pro vodní hráze podle Verfel (1970).

H výška hráze [m]	Q [l/min·m]	P [MPa]
0 – 10	0,5	0,3
10 – 20	1,5	0,3
20 – 30	2,5	0,3
30 – 50	4,0	0,3
> 50	6,0	0,3

Uvedená doporučení platí především pro hráze nižší než 40 až 50 m. U přehrad vyšších je třeba kritéria přípustné ztráty vody v kontrolních vrtech navrhnout na základě důkladné znalosti horniny a geologických poměrů. Hodnoty se však nebudou příliš lišit od uvedených hodnot.

Zařízení pro vodní tlakové zkoušky a injektáž

Vhodné zařízení pro vodní tlakové zkoušky a injektáž přímo ovlivňuje kvalitu dosažených výsledků. Injektážní práce lze mechanizovat, a proto jsou nutné kvalitní informace o injektovaném prostředí. Po realizaci injekční clony následuje pak pouze nezbytná kontrola prací.

Injekční zařízení se skládá z těchto částí:

1. obturátory a upínací hlavy,
2. zařízení pro výrobu injekční směsi,
3. injekční čerpadla,
4. měřidla tlaku,
5. hadice, šroubení, kohouty,
6. injekční stanice.

1. Obturátory a upínací hlavy

Aby bylo možné zkoušet propustnost hornin a provádět injekční práce je nutné **vrt vodotěsně uzavřít**. K tomu slouží **obturátor**. Podle konstrukce se rozlišuje obturátor jednoduchý a dvojitý.

Jednoduchý obturátor (obr. 5.77 a 5.78) se používá při těsnění injektovaných úseků při provozní injektáži. Jeho nevýhodou je, že při vodních tlakových zkouškách a při injektáži nevyklučuje hydraulické ztráty vzniklé prouděním vody nebo směsi. Při injektáži nestabilní suspenzí nezabrání sedimentaci cementových zrn na dně a tím vyřazení puklin z injektáže. Tuto nevýhodu částečně odstraňuje obturátor s nástavnou trubicou (obr. 5.78).

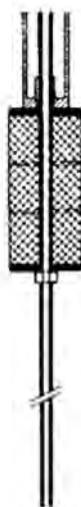
Dvojitý obturátor může být necirkulační a cirkulační. **Necirkulační obturátor** (obr. 5.79) se už nepoužívá, protože z vodních tlakových zkoušek byly dosahovány nepřesné výsledky.

Cirkulační obturátor (obr. 5.80) odstraňuje z velké části nevýhody obturátoru bez cirkulace. Má tyto výhody:

- při injektáži zabraňuje sedimentaci cementových zrn,
- umožňuje intenzivní propláchnutí vrtu i puklin v blízkosti vrtu,
- umožňuje měření tlaku přímo ve zkoušeném úseku při vyloučení hydraulických odporů z proudění vody,
- umožňuje výměnu injekční směsi v injektované etáži při zachování tlaku.



Obr. 5.77
Jednoduchý
obturátor.



Obr. 5.78
Jednoduchý obturátor
s nástavnou trubicou.



Obr. 5.79
Dvojitý obturátor.



Obr. 5.80
Cirkulační mechanicky
upínaný obturátor.

Minimální průměr cirkulačního obturátoru 76 mm, vhodnější je však průměr 93 mm. Vzhledem k dlouhodobému používání stabilních suspenzí k injektáži, cementová zrna již nesedimentují a tak stačí použít jednoduchý obturátor. Dále se při provádění injektážích prací používá malé průměry injektážích vrtů - \varnothing 46 mm. Proto se dvojitý **cirkulační obturátor používá pouze k průzkumným pracím**. **Upínání obturátoru** se provádí hydraulicky nebo mechanicky.

Při **hydraulickém upínání** lze použít nafouknutí vzduchem nebo vodou. Obturátory \varnothing 39 mm lze nafouknout na \varnothing 76 mm stlačeným vzduchem, což umožňuje injekční tlaky do 5 MPa. Druhý typ z \varnothing 77 mm na \varnothing 167 mm při injekčním tlaku 1,5 MPa. Délka manžet je 1 m (menší průměr) a 2,1 m (větší průměr). Jsou jednoduché i dvojitě.

Pro upnutí, resp. nafouknutí obturátoru se hadičkou z povrchu vede přírodní potrubí od kompresoru či ocelové lahve. **Výhodou** nafukovacích obturátorů je snadné a rychlé spouštění do vrtu aspohehlivější těsnění injektovaných obzorů. Nevýhodou jsou vyšší náklady a nutnost kvalitních, vysoce elastických pryží vyztužených ocelovým drátem.

Při **mechanickém upínání** se obturátorová pryž se stlačuje tím, že se zmenšuje její délka. Pryž vybočí do stran a tak utěsní vrt. Obturátor je zapuštěn ve dvojitých trubkách – vnitřních a vnějších. Vnitřní trubka obturátoru je tahová a vnější trubka tlaková. Jednoduché upnutí obturátoru je zašroubováním matice na vnitřní trubku, jejíž závit je na horním konci dostatečně dlouhý. Rychleji lze obturátor upnout pomocí upínací hřebenové nebo šroubové hlavy.

Výhodou je snadnější používání do menších \varnothing vrtů a spolehlivější upnutí. Tyto obturátory umožnily používat menší \varnothing , což vedlo k minimalizaci \varnothing vrtů a tak se vytvořila možnost rychle, levně a spolehlivě přejít na malé \varnothing vrtů - 46 mm; \varnothing 93 mm vyžaduje až dvojnásobně dlouhý pryžový válec.

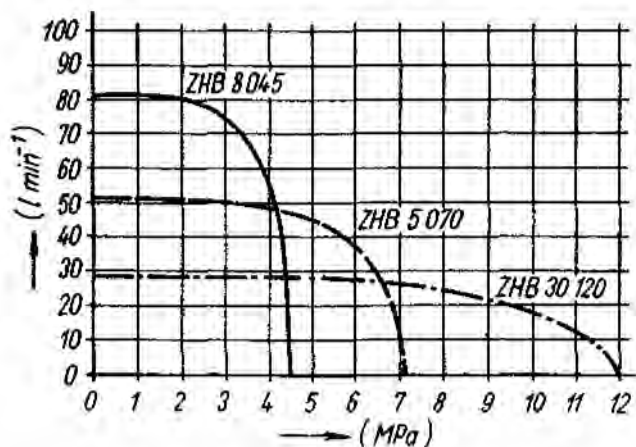
2. Zařízení na výrobu injekční směsi

Cementová a jílocementová směs se vyrábí v aktivačních míchačkách a pak se směs přečerpává do pomaloběžných míchaček, kde se udržuje v pohybu. Nádrže mají obsah 250 až 500 l.

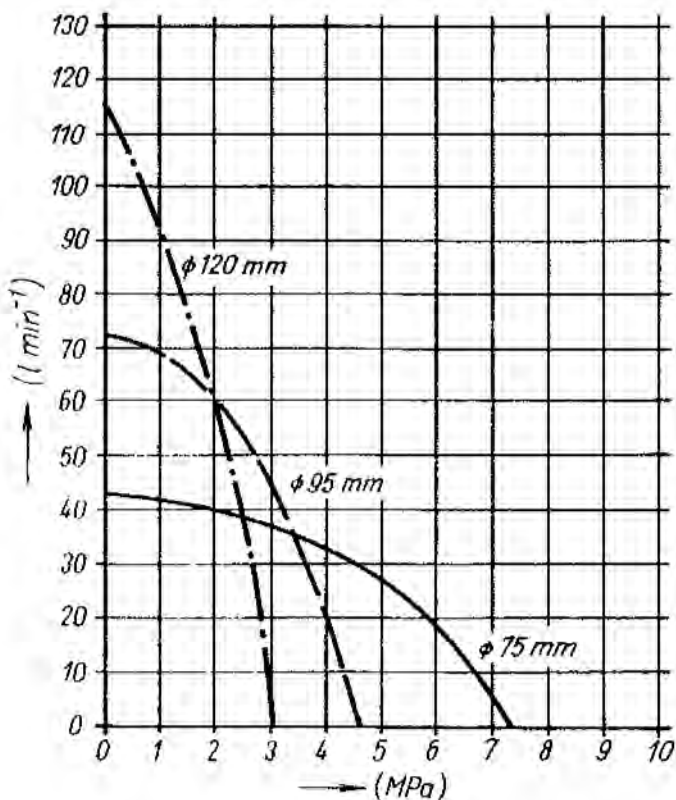
3. Injekční čerpadla

Používají se injekční čerpadla hydraulicky ovládaná, a to i dálkově, a dají se nařídit tak, aby se sama zastavila při dosažení určitého tlaku. Tato čerpadla většinou **plunžrová**. Ze známých výrobců je firma Atlas Copco, injekční čerpadla ZHB 8045, ZHB 5070, ZHB 30 120. Charakteristiky čerpadel jsou znázorněny na obr. 5.81.

Dalším vhodným typem je čerpadlo ZNP V (obr. 5.82) firmy Hanny (Německo). Je to **jednočinné plunžrové čerpadlo** s hydraulickým nebo vzduchovým pohonem a nastavitelným maximálním tlakem, při kterém se chod čerpadla zastaví. Dále lze uvést čerpadla firem Clivio, resp. Rodio. Uvedená injekční čerpadla jsou velmi citlivá na nepatrné stoupnutí tlaku. Pro injekční práce při zaplňování **dutín nebo kaveren** se používají čerpadla a zařízení, která nejsou tak citlivá, ale spolehlivá pro dlouhodobé čerpání injekčních malt. Jsou to **čerpadla pístová**.



Obr. 5.81 Závislost čerpaného množství na tlaku čerpadel typu ZHB 8045, ZHB 5070, ZHB 30120 (Atlas Copco).

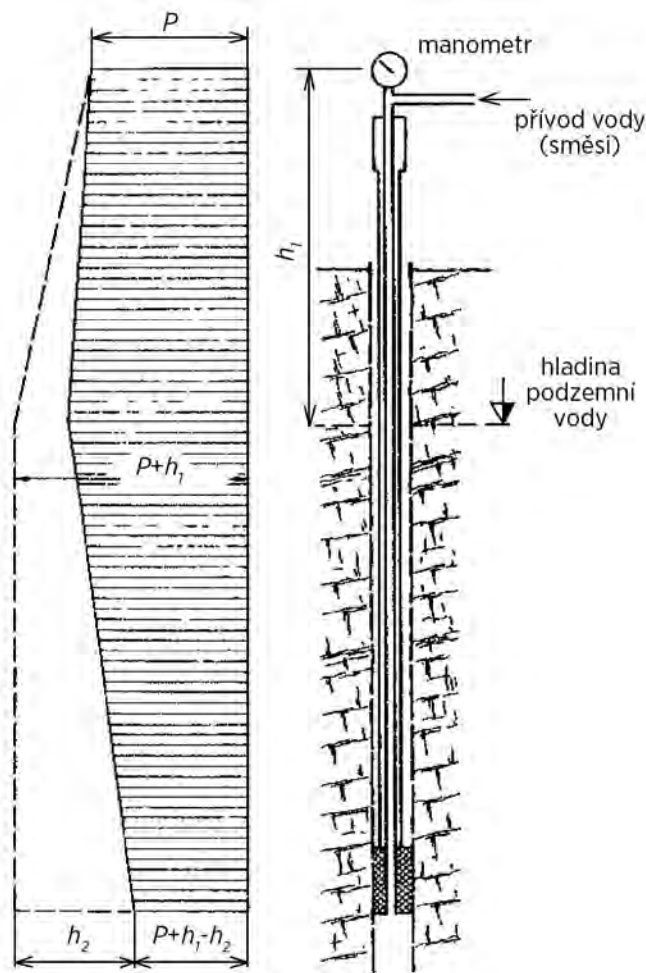


Obr. 5.82 Závislost čerpaného množství na tlaku injekčního čerpadla ZNP V při různých průměrech plunžru.

4. Měření injekčního tlaku

Pro získání správných výsledků ze zkoušek propustnosti hornin pro návrh technologie injektáže je nutné znát přesně velikost tlaků (vodních i injekčních)

bez vlivu tlakových ztrát (při cirkulaci vody a směsi). Tzn. nelze se spokojit pouze zjištěním, že manometr u ústí vrtu ukazuje předepsaný tlak P . Při použití jednoduchého obturátoru se měří výšku tlaku pouze u vrtu nebo u čerpadla a neví se jaký tlak je ve zkoušeném úseku vrtu.



Obr. 5.83 Schéma vyjádření tlakových ztrát v přívodu obturátoru.

Je-li např. na manometru u vrtu tlak P (obr. 4.83), zvýší se po hladinu podzemní vody o hodnotu h_1 ; protože však při proudění vody dochází k tlakovým ztrátám h_2 , výsledný tlak P je roven:

Velikost předpětí - je stanovena jako podíl:

$$P_v = P + P_1 + P_2 \quad (5.42)$$

kde

P_v - výsledný tlak [N/m^2],

P - tlak měřený na ústí vrtu [N/m^2],

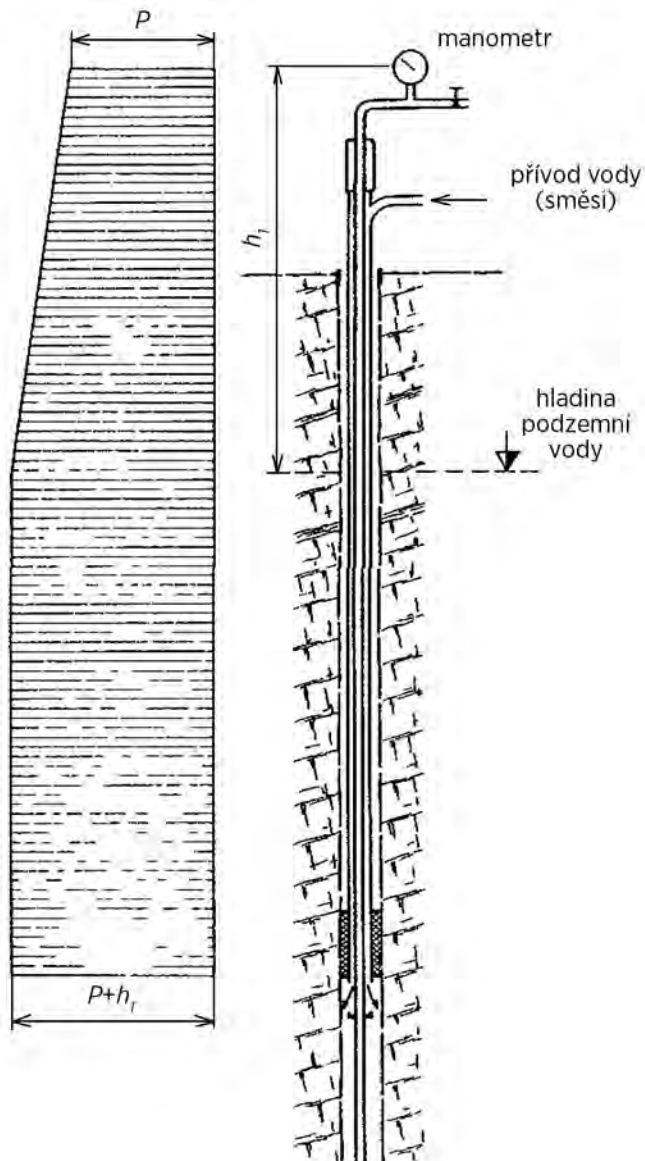
P_1 - tlak u hladiny podzemní vody = $h_1 \cdot \rho \cdot g$ [N/m^2],

P_2 - hydraulické odpory v důsledku tlakových ztrát při cirkulaci.

Při použití **cirkulačního obturátoru** (obr. 5.84) dochází také ke ztrátám tlakové výšky. Protože však se měří přímo ve zkoušeném úseku, vylučují se ztráty popsané výše. Cirkulační trubka je při vodní tlakové zkoušce uzavřena. K tlaku naměřenému na manometru stačí přičíst pouze hodnotu sloupce vody od hladiny podzemní vody k manometru, tj.

$$P_v = P + P_1 \quad (5.43)$$

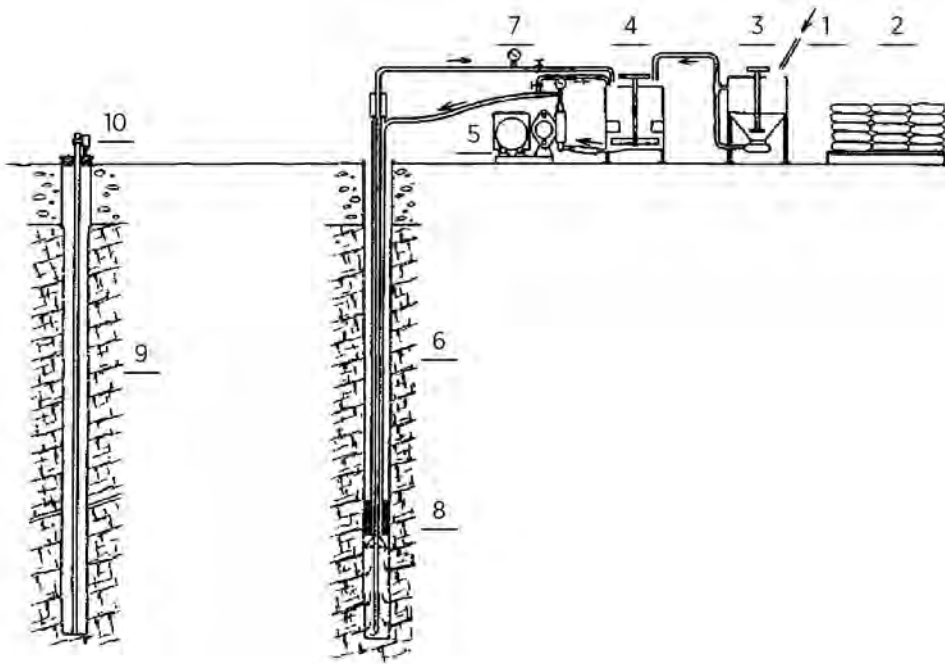
Manometr musí ukazovat správný tlak. Pro je nutné chránit manometry před vniknutím vody. Proto se používají spirálové trubice naplněné olejem, plochá membrána a další.



Obr. 5.84 Schéma vyjádření tlaku při použití cirkulačního obturátoru.

5. Injekční stanice

Sestava jednotlivých strojů tvoří **injekční stanici**. Voda, cement a jííl přicházejí ze sila do **aktivační míchačky**, odtud se směs přepouští do **zásobní pomaloběžné míchačky**, z níž zásobuje **injekční čerpadlo**. Injekční směs se rozvádí od čerpadel vysokotlakovými hadicemi \varnothing 16 mm, které jsou schopné přenést tlak 20 MPa do vrtů (i na vzdálenost 400 m). Protože se injektuje se stabilní směsí, není třeba používat cirkulační obturátor. Při provozní injektáži se nepoužívá. Schéma injekční stanice je na obr. 5.85.



Obr. 5.85 Schéma zařízení na zkušební injektáži.

- 1 – voda, 2 – cement, 3 – aktivaci míchačka, 4 – pomaloběžná míchačka,
5 – čerpadlo, 6 – injektovaný vrt, 7 – registrační manometr,
8 – obturátor, 9 – hlubinný bod, 10 – Mahrův indikátor.

Vodní tlakové zkoušky

Vodními tlakovými zkouškami se zjišťuje **propustnost hornin ve vztahu k nespojitostem v horninovém masívu**. Jedná se tedy jímací kapacitu horniny, uváděnou v Q (l/min·m). Dále tyto zkoušky mají za úkol zjistit **charakter puklin** – jejich výplň a stabilitu výplně a **velikost tlaku**, při kterém ještě nedochází k deformaci skalního podloží

Po stránce **technologie** existují dva způsoby vodních tlakových zkoušek:

- vzestupný způsob,
- sestupný způsob.

1. Vzestupný způsob provedení vodní tlakové zkoušky

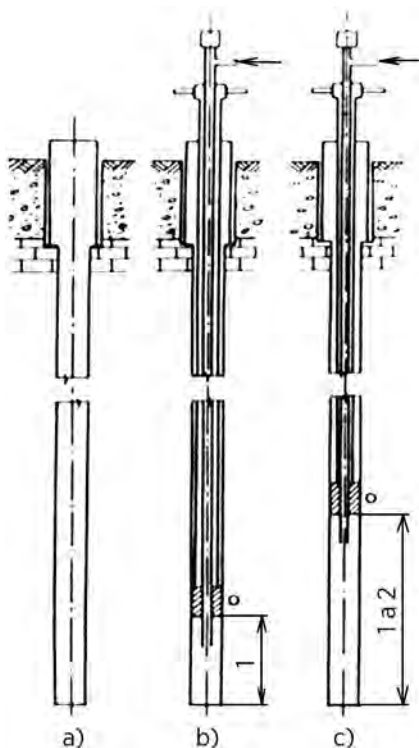
Postup prací při vzestupné vodní tlakové zkoušce:

1. vyhloubí se vrt na konečnou hloubku,
2. do vrtu se zapustí obturátor, – jednoduchý nebo dvojitý,
3. provede se vodní tlaková zkouška.

Technologickou a organizační **výhodou** této zkoušky je, že se provede celý vrt najednou, ale existuje **řada nevýhod**. Jedna se projevuje již při hloubení vrtu. Při přímém proplachu vrtu, omývá horninová drť z čelby vrtu při proudění směrem vzhůru stěny vrtu a **ucpává pukliny** na stěnách vrtu. Ucpané pukliny brání průniku vody, což má za následek chybné výsledky zkoušek. Dále vrtná drť brání průniku injekční směsi do puklin při injektáži, z čehož vyplývá špatné těsnění puklin.

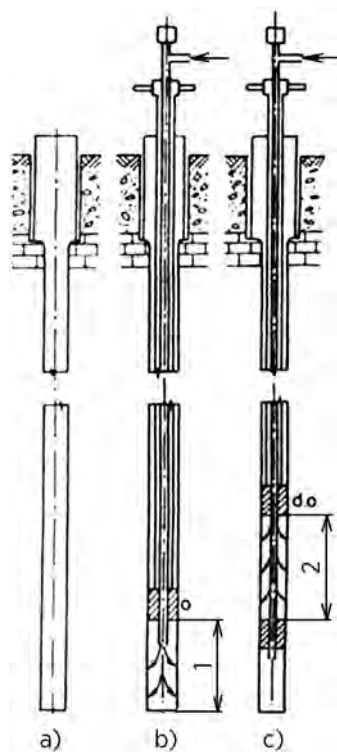
Existují **dva způsoby provádění této zkoušky**:

- s použitím jednoduchého obturátoru (obr. 5.86),
- s použitím dvojitého obturátoru (obr. 5.87).



Obr. 5.86 Vzestupný způsob provedení vodních tlakových zkoušek.

a – odvrtný vrt, b – zkoušení 1. etáže, c – společné zkoušení 1. a 2. etáže.



Obr. 5.87 Vzestupný způsob provedení vodních tlakových zkoušek pomocí dvojitého obturátoru: a – odvrtný vrt, b – zkoušení 1. etáže, c – zkoušení 2. etáže, o – obturátor, d.o. – dvojitý obturátor.

S použitím **jednoduchého obturátoru** (obr. 5.86) se postupně **postupuje vzhůru** a tím se zvyšuje **zkoušená etáž** na 3, 6, 9 m atd. Stoupá spotřeba vody a tlak se rozkládá na celou délku etáže. Spotřeba vody pro danou etáž se zjistí odečtením množství vody předchozích etáží od celkového množství vody při poslední zkoušce, což může **vést k řadě nepřesností**. Může to být nekontrolovatelný únik vody nad obturátor, ale při proudění vody puklinami se pukliny samovolně utěšňují a proplachují. Při velkých objemech vody nestačí výkon čerpadel.

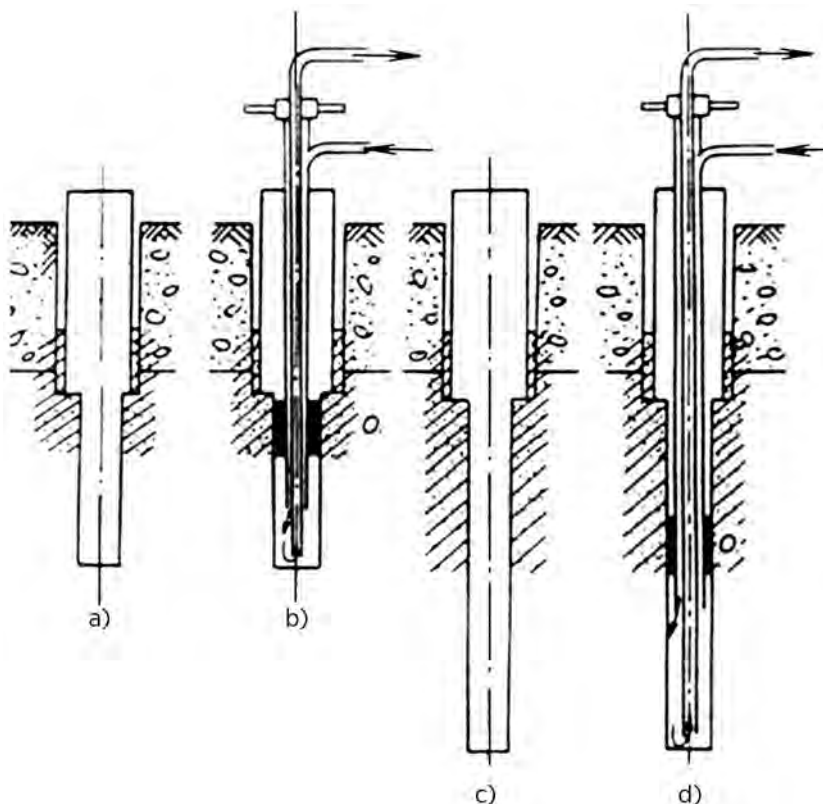
S použitím **dvojitého obturátoru** (obr. 5.87) dochází k oddělení zkoušené etáže (3 – 5 m) od okolního prostředí. Avšak vzhledem ke ztrátě stability stěn vrtu (po uplynutí značné doby od jeho celkového vyhloubení) může docházet k úniku vody nad i pod těsněním obturátoru. To budí zdání vysoké spotřeby vody při zkoušce, což vede k projektování vysokého množství injekční směsi, které však není potřeba. Hlavní nevýhodou vzestupného způsobu je získání nekvalitního výsledku vodní zkoušky.

2. Sestupný způsob provedení vodní zkoušky (obr. 5.88)

Postup prací při sestupné vodní tlakové zkoušce:

1. vrt se hloubí postupně tak, jak jsou prováděny vodní tlakové zkoušky,

2. horní rozvolněné, zvětralé a zeminové partie se zainjektují a tak je vytvořen nepropustný strop, což je nezbytná podmínka tohoto způsobu tlakových zkoušek. Po provrtání pokryvu se vrt zahloubí 1 – 3 m do skalního podkladu a osadí se řídicí pažnicová kolona a zacementuje se. Vytvoří se tak nepropustný strop, jehož těsnost se zkouší s pomocí obturátoru.
3. dále se postupuje po etážích zkoušených vodní tlakovou zkouškou: vrtá se úsek 3 – 5 m podle stupně navětrání, puklinatosti apod. Obturátor je dobře upnut v horní části sledovaného úseku, což zabraňuje nekontrolovatelným únikům vody.



Obr. 5.88 Sestupný způsob provedení vodních tlakových zkoušek.

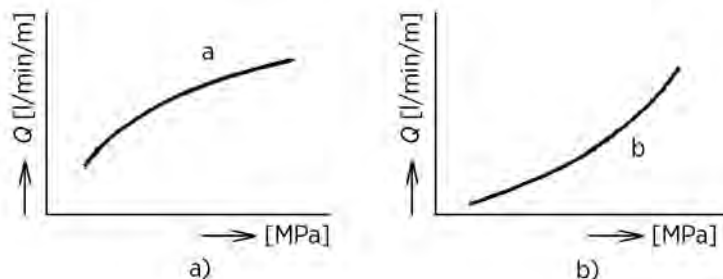
a – připravený vrt, b – zkoušení 1. etáže, c – prohloubený vrt, d – zkoušení 2. etáže, o – obturátor.

Výhodou je krátká doba jednotlivé etážové zkoušky a získání spolehlivých výsledků. **Nevýhodou** je časté stěhování vrtné soupravy, což vyplývá v delší celkovou dobu trvání zkoušek. Avšak jsou získány lepší výsledky zkoušek. Pukliny ve zkoušeném úseku je možno **po provedení zkoušky zainjektovat**, nedochází tak k úniku vody nad obturátor, což dává lepší výsledky zkoušky.

Tato metoda odstraňuje hlavní nedostatek předchozí metody, tj. nespolehlivost výsledků zkoušky.

VÝSLEDKY ZKOUŠEK PROPUSTNOSTI HORNIN

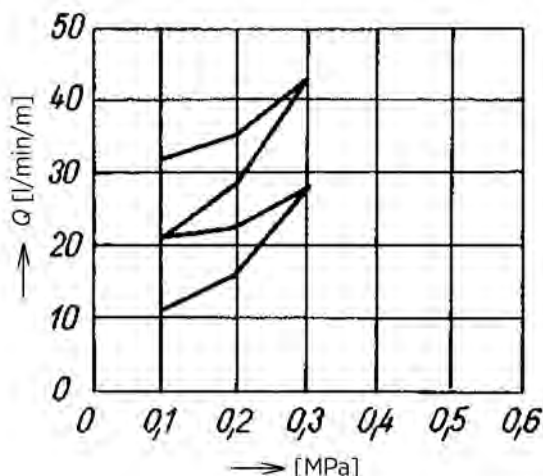
Výsledek zkoušky je závislost spotřeby vody Q (l/min·m) na tlaku P (MPa). Při vlastní provedení zkoušky je v každém úseku sledována spotřeba vody při postupně zvyšovaném a snižovaném tlaku od $0 - P_{max}$, například s krokem 0,1 MPa. Při jednotlivých tlakových stupních se ztráta vody měří 10 minut, ustálení probíhá v prvních čtyřech minutách. Výsledky tlakových zkoušek se vynášejí do grafu závislosti ztráty vody Q na tlaku P . Obvyklý průběh tlaku je na obr. 5.89a. Často ale je průběh tlaku podle obr. 5.89b. Progresivní vzrůst ztráty vody ukazuje, že dochází k intenzivnímu vyplavování výplně puklin.



Obr. 4.89 Závislost ztráty vody na tlaku.

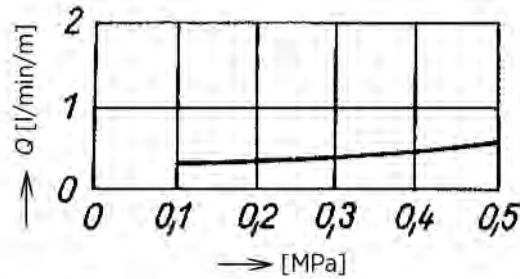
a - v čistých puklinách, b - při vyplavování jílovité výplně.

Jsou-li pukliny rozevřenější a jsou-li vyplněny nestabilní jílovitou výplní, získá se závislost ztráty vody na tlaku podle obr. 5.90. Nastává zde intenzivní vyplachování výplně.

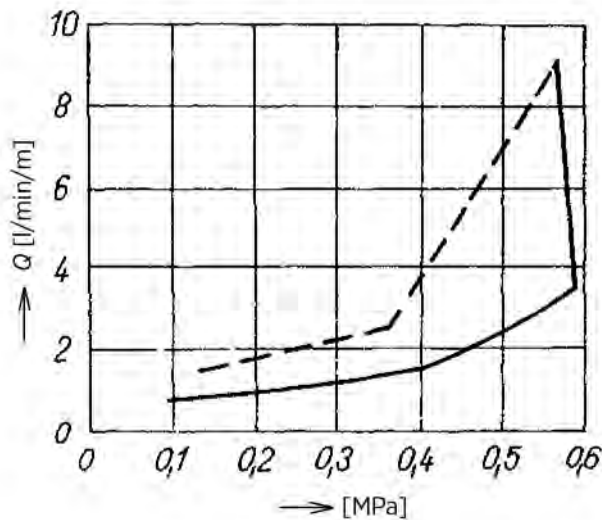


Obr. 5.90 Průběh spotřeby vody v závislosti na tlaku při násilném rozevření puklin.

Prakticky nepropustná hornina má graf závislosti spotřeby vody na tlaku podle obr. 5.91. Násilné zmenšení puklin znázorňuje graf na obr. 5.92. Při tlaku 0,6 MPa rapidně vzrůstá spotřeba vody při poklesu tlaku. Přitom nastává určitá trvalá deformace a vyplachuje se výplň puklin (sestupná větev).



Obr. 5.91 Průběh spotřeby vody v závislosti na tlaku ve velmi málo propustných horninách.



Obr. 5.92 Průběh spotřeby vody v závislosti na tlaku při násilném rozevření puklin.

STANOVENÍ MAXIMÁLNÍHO INJEKČNÍHO TLAKU

Vodní tlakovou zkouškou se provede měření maximálního tlaku P_{max} v dané hloubce injektování horniny (hloubka upnutí obturátoru) s tlakem postupně zvyšovaným až na mez deformace horniny (P_{max}), což se projeví v grafu zlomem ve spotřebě vody v závislosti na tlaku (obr. 4.57).

$$P_{max} = C\gamma h \quad (5.44)$$

Podle hloubky upnutí obturátoru lze stanovit tlakový koeficient ze vztahu

$$C = \frac{P_{max}}{\gamma h} \quad (5.45)$$

kde

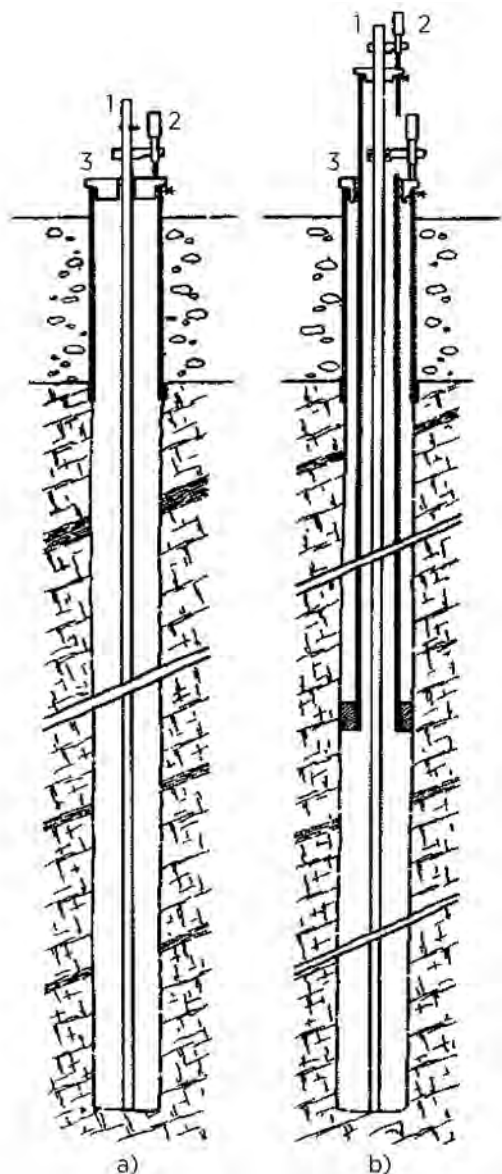
γ - objemová tíha horniny [N/m^3],

h - hloubka upnutí obturátoru [m],

P_{max} - zkušební tlak.

V prvním zkušebním vrtu se získá hodnota tlakového koeficientu podle zlomu ve spotřebě vody. Podobně se provede měření a zjištění P_{max} z toho C z dalšího vrtu na jiné hloubce. Jde o to, aby:

- byl správně určen násobek tlaku, tj. násobek tíhy nadloží,
- správně určen maximální injekční tlak pro danou hloubku a tím i rozmístění vrtů,
- nedocházelo k deformacím povrchu,
- proto je nutné měřit tyto povrchové deformace a to pomocí **hloubkových bodů** – obr. 5.93.



Obr. 5.93 Hloubkové body pro měření deformací: a – jednoduchý, b – dvojitý;
1 – trubka průměru 21mm (3/4"), 2 – Mahrův indikátor, 3 – destička.

Deformace se měří pomocí tzv. **Mahrova indikátoru**. Osazení výškového bodu je znázorněno na obr. 5.93. Do vrtu, v němž byla již provedena injektáž, se vloží trubka průměru 21mm (3/4“), která přesahuje nad hlavu pažnice, na kterou se připevní kruhová deska. Na vyčnívající trubku se upevní pomocí objímky Mahrův indikátor s přesností odečítání posunu 0,001mm. Pohyblivá část indikátoru dosedá na kruhovou desku. Dojde-li k deformaci horniny, začne se zvedat část nad zkoušenou etáží, tj. i s pažnicí, která přes plochou část tlačí na pohyblivý konec indikátoru, kde je deformace zaznamenávána.

Je-li skalní podklad zakryt vrstvou pokryvných útvarů, které mají jinou objemovou hmotnost, pak

$$C = \frac{P - \gamma_1 h_1}{\gamma_2 h_2} \quad (5.46)$$

P - zkušební tlak [N/m²],

γ_1 - objemová tíha pokryvných útvarů [N/m³],

h_1 - mocnost pokryvných útvarů [m],

γ_2 - objemová tíha injektovaných hornin [N/m³],

h_2 - hloubka upnutí obturátoru pod povrchem skalního útvaru [m],

INJEKČNÍ ZKOUŠKY (PRŮZKUMNÁ INJEKTÁŽ) A PROVOZNÍ INJEKTÁŽ

Zkouškami propustnosti, tj. **vodní tlakovými zkouškami se má zjistit:**

- zdaje nutné horninu těsnit zároveň s výstavbou díla,
- do jaké hloubky je nutné těsnit,
- získání podkladů pro správnou volbu injekční směsi.

Skalní masív lze těsnit různými hmotami, které vyplní pukliny (dutiny) horniny tak, že zabrání průsaku vody, popřípadě ho sníží na minimum. **Umělá výplň** je vpravována do puklin ve formě suspenze nebo roztoku. **Volba druhu injekční hmoty** závisí:

- na velikosti rozevření puklin,
- na přípustném průsaku vody injekční clonou,
- na vlastnostech podzemní vody,
- na vlastnostech vedlejších produktů injekčních hmot.

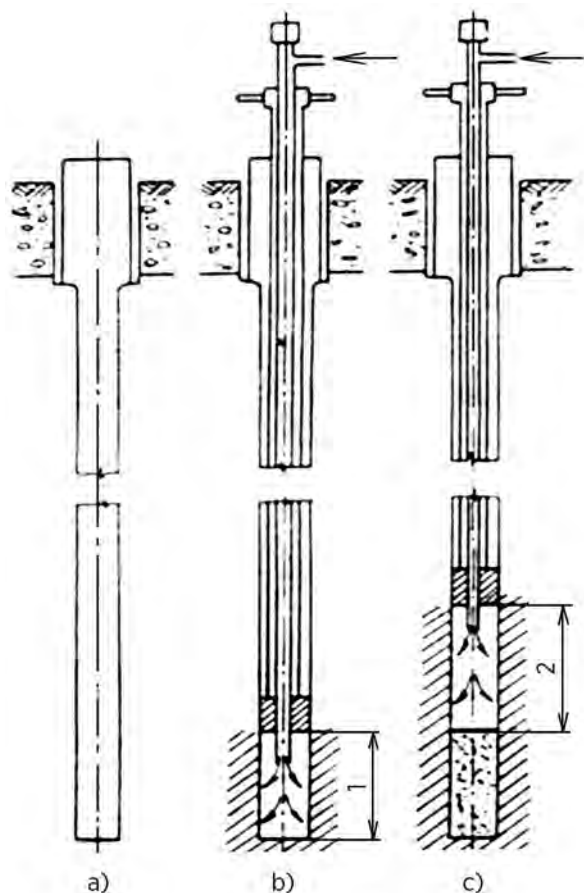
Při **průzkumné injektáži** (obr. 5.94 a 5.95) je nutné prakticky prověřit výsledky vodních tlakových zkoušek, ale především ověřit:

- technologii provedení celé injekční clony,
- účinnost těsnění – podle pozorovacích vrtů,
- vhodnost zvolené injekční směsi – proudění injekční směsi, resp. usazování cementových nebo jiných hrubších zrn apod.,
- prověření hodnoty maximálního injekčního tlaku na základě hloubkových bodů.

Hloubka průzkumných vrtů musí být **větší než** předpokládaná **hloubka injekční clony**. Nesmí se stát, aby byla zjištěna **velká propustnost horniny pod injekční clonou**. Hloubka injekční clony se musí stanovit po dobrém geologickém průzkumu a po vyhodnocení vodních tlakových a injekčních zkoušek. Naopak v dobrých horninách by mohlo dojít k opačnému extrému, že injekční clona by byla zbytečně hluboká. Shrňme-li uvedené poznatky, dospějeme k závěru, že průzkumné vrty je třeba hloubit s ohledem na ztrátu vody při vodních tlakových zkouškách nepřesahující kritéria uvedená v předchozí části (pod hloubkou 50 m maximálně 6 l·min⁻¹ při tlaku 0,3 MPa).

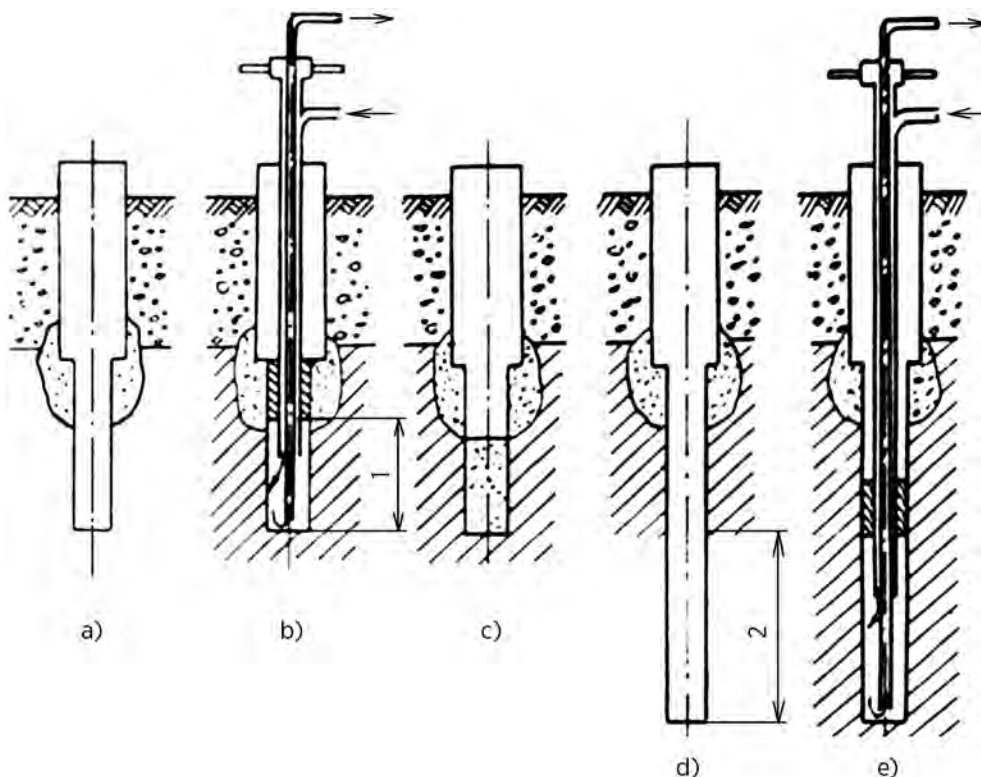
Průzkumná a provozní injektáž se skládá ze čtyř základních pracovních činností:

1. hloubení injekčních vrtů,
2. vodní tlakové zkoušky,
3. injektáže,
4. kontroly kvality provedené injektáže.



Obr. 5.94 Provedení injekčních zkoušek vzestupným způsobem.

a – připravený zapažený vrt, b – injektáž 1. etáže, c – injektáž 2. etáže, 1 – 1. etáž, 2 – 2. etáž.



Obr. 5.95 Provedení injekčních zkoušek sestupným způsobem.

a – připravený zapažený vrt, b – injektáž 1. etáže, c – vyplnění 1. etáže vrtu cementem, d – odvrtání 2. etáže, e – injektáž 2. etáže, 1 – 1. etáž, 2 – 2. etáž.

Při **provozní injektáži** se vychází z výsledků:

- vodních tlakových zkoušek,
- průzkumné injektáže,
- podle těchto obou druhů výsledků (a to by mělo být postačující) se provádí návrh **injekční clony**,
- současně je nutné také provést **návrh postupu injekčních prací** – sestupný nebo vzestupný,
- důležitá je také volba způsobu vrtání vrtů na kvalitu injektáže:
 - v pevných horninách je účinný **rotačně-příklepý způsob**, jsou dosahovány značně vysoké rychlosti vrtání, ale tento způsob způsobuje zvýšení puklinatosti horniny,
 - proto se pracuje spíše s **rotačním způsobem**, jako např. diamantové jádrové vrtání. Jádro je nutné pro posouzení rozvoje puklinatosti horniny,
- **volba způsobu injektáže**:
 - **sestupný způsob** (doporučovaný u vodních tlakových zkoušek) dává spolehlivější výsledky, je však pomalejší a náročnější na organizaci práce,

- je nutné však ho ještě použít tam, kde by při injektáži docházelo k obtékání obturátoru,
- jinak lze použít i **vzestupný způsob** zejména tehdy, kdy lze obturátor jednoznačně utěsnit v hornině a zabránit jeho obtékání injekční směsí,
- tento způsob je rychlejší, celý vrt se hloubí najednou, což je snazší a tedy je častěji užívaný.

O provádění injektáží je nutné vést **přesné a dokonalé záznamy** – tlak při injektáži, čerpání množství směsi, složení směsi apod.

INJEKČNÍ SMĚSI

Pro injektování skalních hornin se používají **cementová suspenze, jílocementová suspenze**, která je nejčastější a **chemické směsi**.

1. Cementová suspenze patří mezi nestabilní injekční směsi. Vzhledem k tomu, že vodní součinitel je mnohonásobně větší než je třeba k hydrataci cementových zrn (tj. 0,2 – 0,25), začnou tato zrna, pokud je směs v klidu, sedimentovat. Vodní součinitel cementové směsi se, vzhledem k transportní úloze, která je žádoucí, pohybuje od 0,4 – 8. Aby bylo možné použít cementovou směs k utěsnění puklin, musí být splněny tyto podmínky:

- pukliny musí být široké, aby do nich mohla vniknout cementová zrna. Běžné cementy mají \varnothing zrn 0,002 – 0,1mm. Cementová zrna musí vyplnit puklinu až do určité vzdálenosti od vrtu,
- podzemní voda musí mít takové složení, aby cement ztuhl v pevný kámen a aby nepodléhal korozi; jinak tomu čelit volbou vhodného cementu,
- rychlost proudící vody nesmí být tak velká, aby voda odnášela cement.

Pro svou značnou hmotnost a mineralogické složení jsou cementová zrna náchylná k sedimentaci; ta je vítaná v puklinách, ale nežádoucí ve vlastním vrtu. **Sedimentace cementových zrn je nežádoucí jev, který významně ovlivňuje kvalitu injekčních směsí směrem ke snížení kvality.**

Sedimentace cementových zrn je ovlivněna:

- poměrem vody a cementu, tj. **vodním součinitelem**; čím více vody, tím větší sedimentace,
- **jemností mletí**, tj. velikostí měrného povrchu; čím větší měrný povrch, tím menší sedimentace,
- **aktivací**, tj. přidáním určitého procenta jílu nebo bentonitu, který váže na sebe přebytečnou vodu a směs je dostatečně tekutá a plastická.

Cílem aktivace cementové směsi je dosáhnout **injektovatelnosti směsi** s velkým obsahem cementu, při které by byla minimální nebo nulová sedimentace. Aktivaci lze realizovat:

- chemicky – PAL, plastifikátory,
- akusticky – ultrazvukem (laboratorní metody),
- mechanicky, což je nejčastější způsob.

Mechanická aktivace používá rychlejší míchačky a dezintegrátory. Je snadněji proveditelná na velkých stavbách a je to lacinější metoda. Do cementové směsi dávkován **bentonit v obsahu 2 – 12%**. Doba přípravy směsi 5 – 10 minut. Výsledky aktivace jsou následující:

- 2 % bentonitu – sedimentace poklesla na 20 %,
- 6 % bentonitu – sedimentace poklesla na 4 %,
- 12 % bentonitu – sedimentace je nulová.

2. Jílocementová suspenze. Je to nejčastější injekční směs. Je **stabilní, nesedimentuje**, dovoluje do určité míry automatizovat činnost injekční stanice. Výroba je jednoduchá a složení směsi je v čase stálé. Při injektování se směs nezahušťuje, dobře připravená směs se nemísí snadno s vodou a není tedy nebezpečí, že se směs vypláchne. Většinou se injektuje až do nulové spotřeby. Té se dosáhne až 6 x rychleji než u cementové směsi. Směs je stabilní, zatuhne tedy v takové formě, v jaké je připravena. Technologicky je manipulace, příprava a provozní injektáž jednodušší než u cementové směsi, nevyžaduje takové pozorování. Injektuje se od počátku **maximálním tlakem**. S výhodou lze použít i vzestupnou injektáž.

3. Chemická směs. V přehradním stavitelství se používá velmi málo. Důvod je **změna objemu** - smršťování tuhajícího produktu. **Časová nestálost ztuhlého produktu je hlavní nevýhoda**, neboť zejména u tohoto druhu hornin, tj. skalní horniny, se požaduje dlouhodobou stálost cementového kamene, jako výsledného produktu. Dále z chemických reakcí při tuhnutí **vznikají vedlejší chemické produkty**. Například močovinoformaldehydová pryskyřice potřebuje ke svému tvrzení kyselinu (H_2PO_4), což vytváří **nebezpečí znečištění podzemních vod**. Podobné vlastnosti má akrylamid. Velmi vhodné by byly polyuretany, avšak mají vysokou cenu. Právě nákladovost chemických směsí při tak velkém množství injekčních prací je další rozhodující nevýhodou.

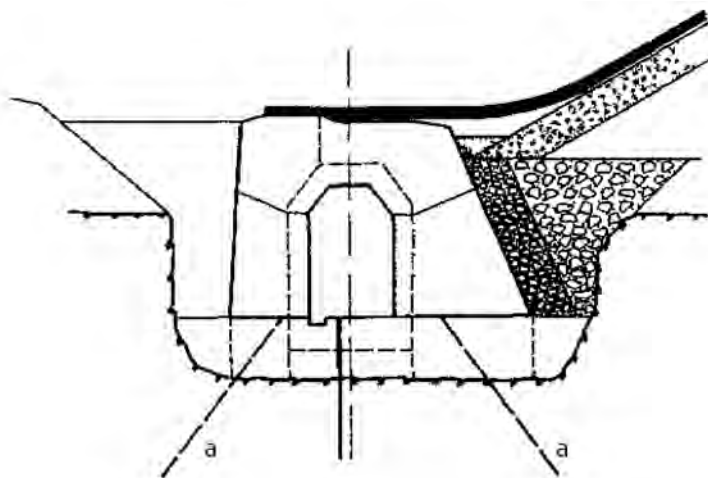
NÁVRH INJEKČNÍ CLONY

Návrh injekční clony vychází:

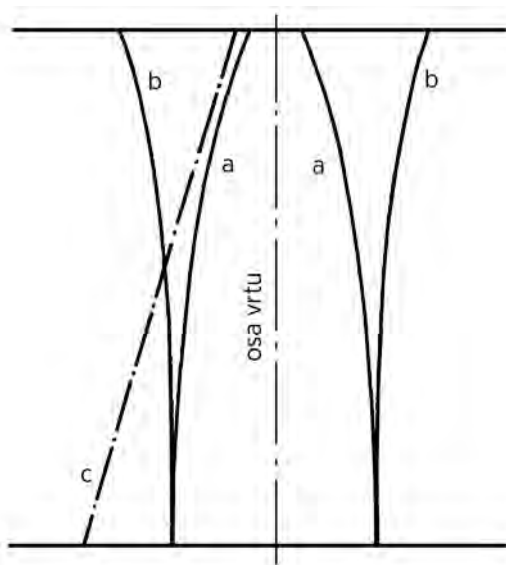
- z dobré znalosti geologických poměrů,
- z výsledků vodních tlakových zkoušek a zkušební injektáže,
- z typu vodní hráze (gravitační, klenbová, zemní),
- z účelu hráze, tj. z dovoleného průsaku hrází,
- z výšky hráze.

1. Jednořadá injekční clona

V běžných geologických podmínkách je vhodná dobře provedená **jednořadá injekční clona**. Provádí se z injekční štoly (obr. 5.96). U nejvíce exponovaných míst se doplní clona krátkými připojovacími vrty délky 5 – 8 m pod základovou spárou a to před injekční clonou i za ní. Injektáž v těchto vrtech má za úkol zabránit širokému roztékání injekční směsi v nejpropustnějších úsecích a rozšířit clonu těsně pod základovou spárou.



Obr. 5.96 Jednořadá injekční clona: a – připojovací injektáž.

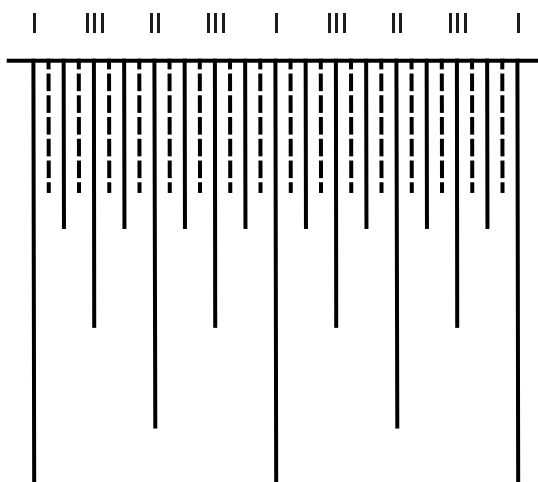


Obr. 5.97 Dosah injekční směsi v závislosti na hloubce.

a – dosah utěsnění, b – dosah injekční směsi, c – injekční tlak.

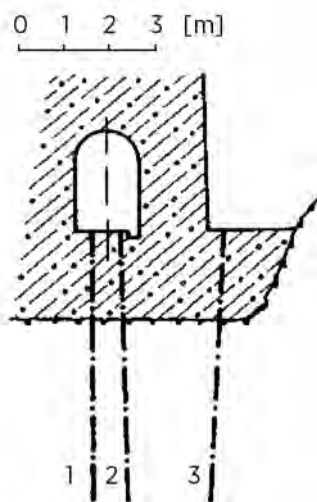
Vrty injekční clony jsou rozděleny do jednotlivých pořadí. Nejprve se injektují vrty I. pořadí, vzdálené od sebe 8 až 12m, pak vrty II. pořadí, které půlí vzdálenosti I. pořadí a potom vrty III. pořadí. Protože se injektuje maximálním tlakem a protože injekční tlak s hloubkou roste, roste i oblast utěsnění. U povrchu je velká propustnost, dosah směsi je tedy daleký, ale pukliny zcela neutěsní, jen se zmenší propustnost horniny (obr. 5.97).

Protože velikost injekčního tlaku bude v hloubce 50 m i více než 10× větší než pod základovou spárou, bude v téže hloubce i několikanásobně větší utěsnění. Proto návrh injekční clony obsahuje **odstupňované délky vrtů** v jednotlivých injekčních stupních. Nejdelší jsou vrty I. pořadí, kde dosahují do maximální hloubky. Kratší jsou pak vrty II. pořadí a ještě kratší je III. stupeň (obr. 5.98).



Obr. 5.98 Úsek injekční clony.

I - vrty prvního pořadí, II - vrty druhého pořadí, III - vrty třetího pořadí.



Obr. 5.99 Schematické znázornění třířadé injekční clony pod gravitační betonovou přehradou: 1, 2, 3 - řady injekční clony.

Délky vrtů dalších pořadí jsou ještě menší: IV. pořadí pak vychází 10 – 15 m, V. pořadí pak 5 – 8 m, při čemž je vzdálenost těchto vrtů menší než 1 m a těsní se jimi pouze první dvě etáže pod základovou spárou (obr. 5.98).

2. Víceřadá injekční clona

Injekční clona je širší, má větší počet vrtů a proto nemusí být kvalitně zainjektované úseky vrtů injekční clony. **Skládá se nejčastěji ze tří řad vrtů**, vzdálených od sebe 1,5 až 2 m (obr. 5.99). Jestliže je hornina zvětralá nebo má-li flyšový vývoj (střídání pískovců s břidlicemi) zvyšuje se počet řad až na šest.

KONTROLA INJEKČNÍCH PRACÍ

Kontrola injekčních prací je **velmi obtížná**. Jediná objektivní kontrola injekční clony je po napuštění nádrže, ale to je samozřejmě pozdě, neboť pak se musí clona opravovat za velmi ztížených podmínek. Proto jsou nutné kontroly během injekčních prací, které upozorní na případné nedostatky.

Při injekčních pracích ve skalních se provádějí tyto kontroly:

1. vodními tlakovými zkouškami v kontrolních vrtech,
2. geofyzikálním měřením,
3. měřením vztlaků a průsaků,
4. měřením modulů pružnosti,
5. barvením směsí.

1. Kontrola těsnosti vodními tlakovými zkouškami

Kontrolní vrty s vodními tlakovými zkouškami mají prokázat, že **injekční práce zmenšily propustnost horniny na předpokládané kritérium** nebo pod ně. Kontrolní vrty se navrhují v těch místech clony, kde jsou pochybnosti o kvalitě provedených prací. Rozsah kontrolních vrtů 5 – 10 % z celkové metráže vrtů. Zjištěná vadná místa lze ještě před napuštěním nádrže opravit. Kontrola vodními tlakovými zkouškami dává pouze **orientační výsledky**, protože záleží na prostorovém průběhu stvolu vrtu a také zda prochází zainjektovanými úseky horniny či nikoliv. Je to však metoda jednoduchá a proto snadno použitelná.

2. Kontrola těsnosti geofyzikálními metodami

Geofyzikálními metodami se určuje elektrický odpor, elektrická aktivita, hustota, přirozená aktivita hornin apod. Geofyzikální měření ve vrtech se nazývá **karotáž**. Tu lze provádět **v jednom nebo více vrtech**. Podle měření před injekčními pracemi a po nich lze usuzovat na účinnost utěsnění horniny.

- a. **Jednovrtové metody** - Patří k nim zejména metoda ředění značené kapaliny a případně i metoda konstantního nálevu. Jde v podstatě o určení hloubky propustných poloh, skutečné rychlosti a směru prodění podzemní vody v jednom vrtu.

Metoda ředění označené kapaliny se používá má-li podzemní voda dostatečnou rychlost. Voda ve vrtu se označí vhodným indikátorem

(odporovým, radioaktivním apod.). Opakovaným měřením příslušnou sondou k danému indikátoru (resistivimetr, radiometrická sonda) se zjišťuje se změna koncentrace s časem.

- b. Vícevrstvé metody** - Jedna z metod opět používá **indikované kapaliny**. Princip spočívá v tom, že se do jednoho vrtu vloží indikátor a sleduje se pomocí resistivimetru změna koncentrace ve vrtu vyvrtaném po směru proudění vody. Po dokončení injekční clony lze provést kontrolu pomocí tří vrtů – před clonou, ve cloně a za clonou. Zjišťuje se změna koncentrace ve vloženém vrtu a přítomnost indikátoru v ostatních vrtech.

Další metodou je metoda vetknuté sondy: spočívá v tom, že se podzemní voda na návodní straně indikuje (osolí) a do vrtu se vloží elektroda A. Druhá napájecí elektroda B je umístěna ve větší vzdálenosti, v tzv. nekonečnu. Obě elektrody jsou napájeny elektrickým proudem o stálé intenzitě. Tím se okolo osolené podzemní vody o nízkém elektrickém odporu vytvoří umělé elektrického pole. Při proudění netěsnou clonou se sledují změny tvaru, směru a rychlosti tohoto pole.

3. Měření vztlaků a průsaků

Kontrola funkce injekční clony měřením vztlaků je možná až po napuštění nádrže. Před clonou, ve cloně, za clonou jsou umístěny vztlakové vrty a z měření tlaku v těchto vrtech lze konstruovat ekvipotenciály a z nich usuzovat na velikost průsaků ve cloně. Doplnkem může být také měření výtoků vody.

4. Kontrola měření modulů pružnosti

Stupeň zainjektování lze kontrolovat také mikroseizmickým měřením. Před injekčními pracemi se zjistí moduly pružnosti horniny. Po ukončení injekčních prací se měření opakuje. Jedná se o princip šíření seizmických vln horninou – zhoršená prostředí jsou tím rozdílnější, čím je rozdílnější jejich propustnost. Je-li před injektáží nízký modul pružnosti 5 000 – 7 000 MPa, lze ho injektáží zvýšit až na 25 000 MPa.

5. Barvení směsí

Barvení směsí se používá při injekčních zkouškách tehdy, když je nutné zjistit cesty šíření směsí. Jako barviva se používají minerální přípravky na bázi oxidu železa (barva červená nebo oranžová), soli mědi (barva modrá). Odvrtáním kontrolních vrtů na jádro lze zjistit rozsah šíření směsí podle zabarveného cementového kamene.

5.1.4.2 INJEKTOVÁNÍ NESOUDRŽNÝCH ZEMIN

Účelem injektování je v tomto případě utěsnění nebo zpevnění písků, štěrkopísků a dalších nesoudržných zeminových materiálů. V principu lze rozdělit injektování nesoudržných zemin:

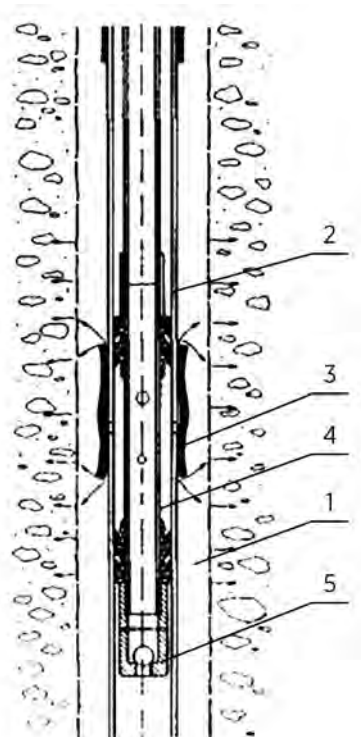
- vzestupný způsob,
- sestupný způsob,
- pomocí manžetových trubek.

První dva způsoby se již nepoužívají. Zavedením **manžetových trubek** nastal v injektování nesoudržných zemin velký kvalitativní skok. Tento způsob vypracoval Ischy (Soléтанche, Francie) na začátku čtyřicátých let minulého století. Manžetové trubky umožňují injektovat v jednom vrtu různé směsi v jakémkoli pořadí, v jakékoli úrovni a v jakémkoli časovém rozmezí. Při **injektování štěrkopískových náplavů** s pomocí manžetových trubek se postupuje takto:

1. vyhloubí se vrt až do konečné hloubky,
2. vyplní se zálivkou,
3. do vrtu se osadí manžetová trubka,
4. po určitém zatvrdnutí zálivky (asi 3 dny), po dosažení určité minimální pevnosti 0,1 – 0,2 MPa se může injektovat pomocí dvojitého obturátoru, obr. 5.100.

INJEKTOVANÉ PROSTŘEDÍ

Protože pórovitost náplavů činí 30 – 50 %, vzniká při injektování velká spotřeba injekční směsi. Pro utěsnění a zpevnění štěrku je možno použít různé směsi – od jílocementových suspenzí až po chemické směsi ze syntetických pryskyřic. Pro důkladné a ekonomické řešení je nutné **správně volit druh směsi**. Pomůckou může být klasifikace podle Cambeforta (Francie 1964), kde podle zrnitosti, propustnosti, koeficientu filtrace a měrného povrchu zrn zeminy lze zvolit vhodný typ směsi.



Obr. 5.100 Vystrojení vrtu manžetovými trubkami.

1 – zálivka, 2 – manžetová trubka, 3 – pryžová manžeta, 4 – dvojitý obturátor, 5 – ventil.

Hranice použitelnosti injekčních směsí jsou přibližně uvedeny v tabulce 5.8. Jakou směsí lze injektovat určité prostředí se zabývala řada autorů. Vznikla četná kritéria, která se od sebe více nebo méně liší (obr. 5.100).

Tabulka 5.8 Vhodnost použití různých druhů injekčních směsí.

Reologické zařízení	Suspenze (Binghamovy kapaliny)			Roztoky (Newtonské kapaliny)			Plynné emulze	
	nestabilní	stabilní		koloidní roztoky (evoluční)		čisté roztoky (neevoluční)		
druhy směsi	cement	cement jílu (bentonit)	odvložkovaný bentonit	chemické směsi			rozpínavé směsi	
				křemičitan sodný		organické pryskyřice	na bázi cementu	organické
použití	pukliny a trhliny v hornině a ve zdivu	aluviální náplavy			jemné hlinité písky			
		převládá štěrky	hrubé písky	písek středně zrnitý		písek jemně zrnitý		
koeficient filtrace k [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]		$> 5\cdot 10^{-4}$	$> 5\cdot 10^{-5}$	$> 5\cdot 10^{-5}$	$> 5\cdot 10^{-5}$ ¹⁾	$> 5\cdot 10^{-6}$ ²⁾		
specifická plocha zrn S [$\text{cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$]		< 50	< 150	< 150	< 400	< 1000		
kritérium	tlak	limitované množství a tlak					plnění (tlak)	

¹⁾ Mez daná vývojem vizkozity.

²⁾ Mez odpovídající normálním podmínkám pro homogenní výplně.

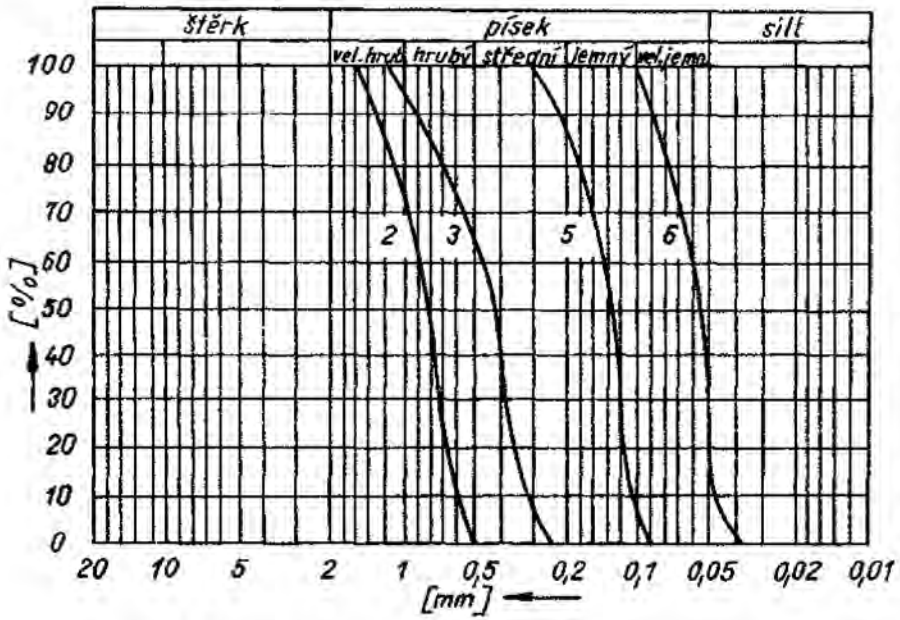
INJEKČNÍ SMĚSI

Injekční směsi pro injektování nesoudržných zemin se dělí na:

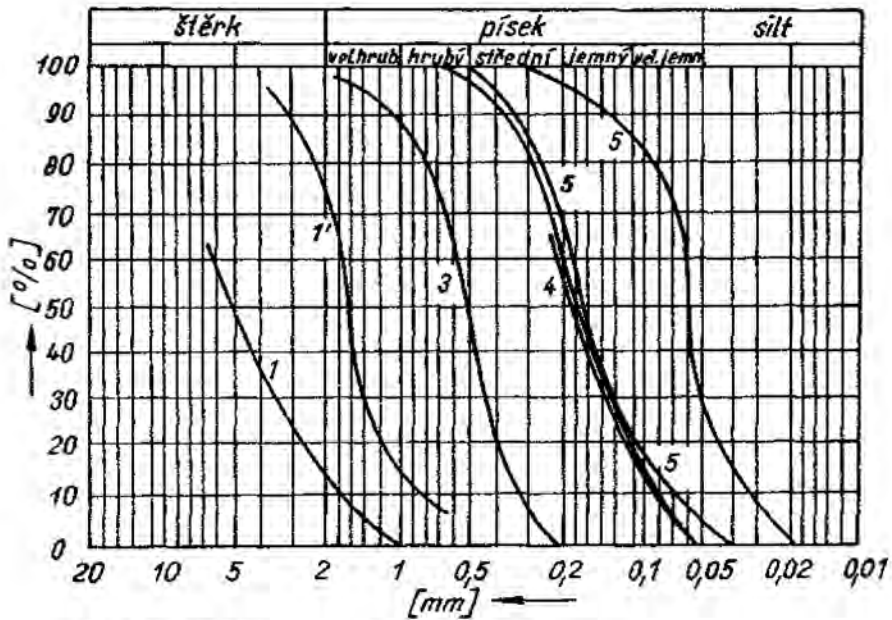
- nestabilní suspenze – cementové suspenze,
- stabilní suspenze – jílocementové směsi.

Oběma skupinami se zabývala již dříve, a proto zde již nebudou dále probírány. Nestabilní suspenze – cementové suspenze jsou pro injektování nesoudržných zemin nevhodné. **Protože spotřeba injekční směsi** je v tomto případě velká a protože vhodným návrhem injekční směsi lze dosáhnout spolehlivého výsledku, musí injekční směs – **jílocementová směs** být:

- levná,
- dobře zpracovatelná,
- objemově stálá a musí mít,
- dobrou pronikací schopnost,
- dobrou čerpatelnost,
- velkou odolnost proti erozi,
- vyhovující pevnost v tlaku.



podle Corona



- | | |
|--------------------|----------------------|
| 1 - Neumann | 4 - Neumann |
| 1' - Golder | 5 - Rockwell - Smith |
| 3 - Rockwell-Smith | 5' - Neumann |

Obr. 5.101 Hranice injektovatelnosti náplavů. (Cambefort 1964)

1 - cementová suspenze, 2 - jílocement, 3 - jíł, 4 - směsi Joosten,
5 - vodní sklo, 6 - emulze bitumenů.

Zatuhlá injekční směs musí být do jisté míry **plastická**, aby mohla spolupůsobit při pohybech podloží, které vznikají odlehčením (vykopáním stavební jámy) a opětovným zatížením (stavbou).

Chemické směsi se pro injektování nesoudržných zemin používají. Rozdělují se do dvou skupin:

- koloidní roztoky (evoluční),
- čisté roztoky (neevoluční).

K pokroku u chemických směsí dochází v roce 1957, kdy byly vynalezeny organické reaktivy – etylacetát, glyoxal, formami, reagující více či méně s vodním sklem.

Koloidní roztoky jsou směsi vyrobené z vodního skla. Proces tuhnutí je zde založen na principu gelovatění vodního skla po přidání reaktivu, kdy vznikne gel kyseliny křemičité. Rychlost reakce závisí na stupni zředění vodního skla. Základní složka je **vodní sklo**, rozpustný alkalický křemičitan sodný Na_2SiO_3 nebo draselný K_2SiO_3 . Ředěním vodního skla klesá nejen viskozita, ale i stupeň zpevnění zainjektovaného prostředí a jeho odolnost proti vymývání. Dále do této skupiny patří i **dvouroztokové směsi typu Joosten**.

Čisté roztoky (organické pryskyřice). Pro injekční práce lze použít i **organické pryskyřice**, které se vytvrzují v určitém čase. Injekční směs vyrobená z umělých pryskyřic nesmí být příliš drahá, nesmí mít přílišnou viskozitu a ve styku s vodou nebo injektovaným prostředím nesmí nic bránit polymerizaci (vytvrzení). Umělé pryskyřice se dělí do dvou skupin:

- pryskyřice ředitelné vodou**, jsou to pryskyřice na bázi akrylamidu, fenolu, aminoplastu. Tyto pryskyřice rozpuštěné ve vodě při dávkování 5 – 50 % dávají roztok, jehož viskozita se při dávkování v rozmezí 5 – 10 % blíží viskozitě vody. Tyto roztoky se vytvrzují katalyzátorem, kterým se reguluje doba tvrzení i dosahované pevnosti – 100 – 700 kPa;
- pryskyřice neředitelné vodou**, jsou to epoxidové, polyesterové, akrylátové a polyuretanové pryskyřice. Vzhledem k tomu, že nejsou ředitelné vodou a jsou dosti drahé, používají se pro práce malého rozsahu, jako je např. oprava betonu. Jejich pevnost je až 100 MPa v tlaku a 30 MPa v tahu.

VYSTROJENÍ INJEKČNÍCH VRTŮ

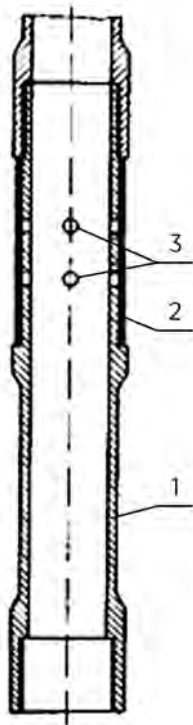
Po vyhloubení vrtu do konečné hloubky se do vrtu začerpá jílocementová zálivka, zapustí se perforované manžetové trubky a v případě, že je vrt zapažen, odpaží se při dolévání zálivky. Zálivka a manžetové trubky umožní injektování zeminy v poměrně nízkých cca 30 cm mocných vrstvách – etážích. Při průzkumu injektovaného prostředí bylo zjištěno, že poměr $k_h : k_r$ je často > 10 . Z toho je zřejmé, že směs se snadněji šíří v horizontálním směru. Zálivka zabraňuje, aby se směs nešířila vertikálně podél vrstev. Manžetové trubky umožní injektovat etáž několikrát a různými druhy směsí. Vystrojení vrtu ukazuje obr. 5.100.

1. Zálivka

Zálivka je obvykle **stabilní jílocementová suspenze**. Vyplňuje se jí prostor mezikruží manžetové trubky a stěny vrtu. Injekční směs vháněná do injektovaného úseku pronikne perforací trubky, nadzvedne manžetu, protrhne zálivku a pronikne do náplavů. Aby zálivka dobře plnila svou funkci, musí mít i určitou **pevnost v prostém tlaku**. Ze zkušeností se odvodilo, že zálivka by měla mít pevnost 0,5 MPa za 14 dní. Proto je vhodné vyrobit ji z jílu o menší plasticitě a volit větší množství cementu. Při použití jílu o mezi tekutosti 75 až 100 % je vhodné volit poměr cementu k jílu 1 : 1. Vystrojení vrtu zálivkou by mělo být poměrně rychlé, aby zálivka vyplnila prostor mezikruží. Aby se dala manžetová trubka snadněji zapouštět, zvětšuje se její hmotnost vyplněním vodou. Doba vyplnění vrtu zálivkou i u vrtů hlubokých kolem 50 m by neměla být delší než několik desítek minut.

2. Manžetové trubky

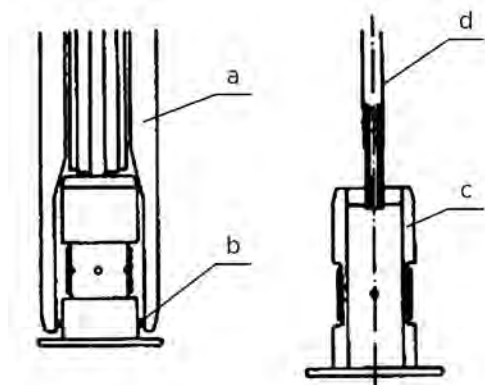
Manžetové trubky se vyrábějí nejčastěji z **polyetylenových trubek** průměru 50/4 mm. Vzdálenost perforací je 30 cm, je tvořena dvěma otvory \varnothing 8 mm kolmými na sebe a posunutými od sebe 2 cm. Otvory jsou zakryty manžetou, jejíž délka je 8 cm a síla 3,5 - 4 mm. Jednotlivé trubky jsou spojené závitem. Pryžová manžeta je v trubce zapuštěna z důvodu ochrany proti shrnutí a usměrnění injekční směsi při prothrávání zálivky (obr. 5.102).



Obr. 5.102 Manžetová trubka z plastu dlouhá 33 cm.

1 - manžetová trubka, 2 - manžeta, 3 - injekční otvor.

Mají-li se utěsnit izotropní písky v mocnosti injektované vrstvy 1 až 1,2 m, zabírá se do středu injektované polohy perforovaný kus s pryžovou manžetou (obr. 5.103). Po vytažení vnější trubky zůstane perforovaný kus v zemině včetně hadičky, kterou se přivádí injekční směs.



Obr. 5.103 Manžeta pro injektování izotropních písku.

a – pažnice, b – těsnění, c – ocelový kus s manžetou, d – hadička pro přívod směsi.

Při speciálních pracích se může stát, že po zainjektování štěrkopískových náplavů je nutné prohloubit vrt do skalního podkladu. Pak se použije průměr manžetových trubek 63/4,7 mm. Vnitřní průměr této manžetové trubky je 54 mm, takže v ní lze dále vrtat \varnothing 46 mm, např. soupravou typu Diamec.

Manžetové trubky průměru 33/3,8 mm se běžně vyrábějí z plastů. Používají se při injektování kotev.

POSTUP INJEKČNÍCH PRACÍ

Postup injekčních prací je následující:

1. nejdříve jsou podle stanového schématu hloubeny vrty a ty vystrojovány manžetovými trubkami,
2. na staveništi se zároveň postaví výrobní jílocementové směsi a postupně celá injekční stanice,
3. o vrtu vede vrtmistr záznam – vrtný deník, kde uveden záznam geologického profilu,
4. současně musí stanice obsahovat i výplachovou stanici a zařízení pro očišťování jílové suspenze – vibrační síta.

KONTROLA INJEKČNÍCH PRACÍ

Jediná zásadní a plně vyhovující kontrola je dobrý stav po uvedení díla do provozu (napuštění jámy, přehrady apod.) a sledování průsaků. To však je ale už pozdě, protože je tato kontrola v době, kdy již nelze injekční práce opravit. Protože vlastní kontrola injekčních prací je obtížná, je nutné velmi pečlivě provádět kontrolu v průběhu injekčních prací.

Metody této průběžné kontroly lze opět stanovit takto:

- a. vodní tlakové zkoušky,
- b. značkování injekčních směsí,
- c. deformace injektovaného prostředí,
- d. vyhloubení čerpacích vrtů v zainjektovaném prostředí.

5.1.4.3 ÚČELY INJEKTOVÁNÍ HORNIN

1. Injektování v tunelovém stavitelství

Injekční práce v této oblasti lze rozdělit do těchto skupin:

- a. zpevňování nesoudržných zemin k usnadnění ražení tunelů,
- b. zlepšení geotechnických vlastností horniny jejím předpětím injekčními pracemi a vyztužením trubkami,
- c. vyztužení horniny v klenbě tunelu ocelovými trubkami,
- d. injektování za rubem obezdívky,
- e. oprava starých tunelů.

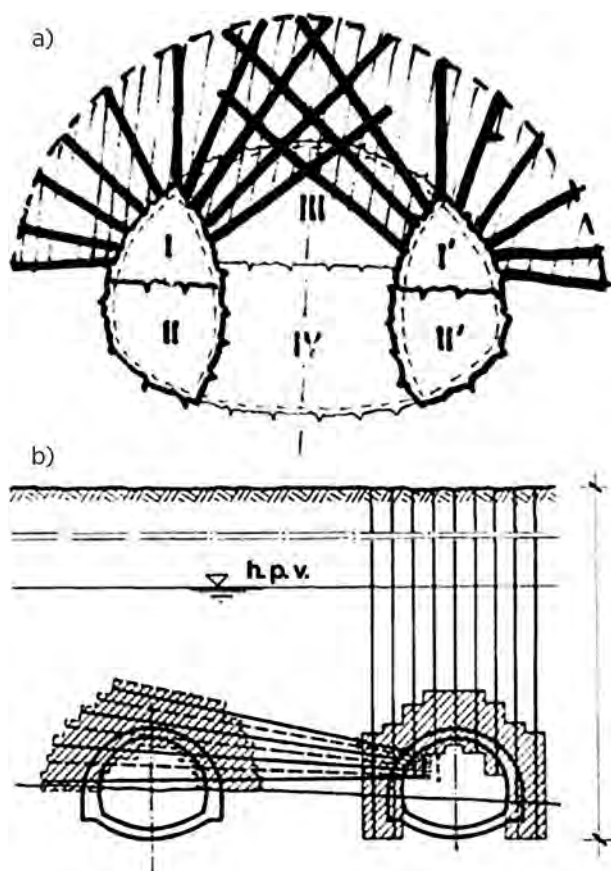
Injektáže jsou velmi rozšířenou technologií **v praktických geotechnických disciplínách – v zakládání staveb a podzemních stavbách**, v obou případech se záměrem **zpevnění geologického prostředí nebo jeho utěsnění**, případně dosažení obojího efektu. Příznivým doprovodným efektem je i **zlepšení deformačních vlastností zemního či horninového prostředí**, což může mít, v případě dostatečně mocné proinjektované oblasti, příznivý důsledek ve snížení deformací nadloží a povrchu území při tunelování pod nízkým nadložím.

Konstrukční uspořádání injektáží u podzemních výrubů (zejména tunely), se navrhuje v závislosti na poloze raženého díla formou:

1. injektáží z povrchu území při mělce uloženém tunelu;
2. injektáží z podzemí při hluboko uloženém tunelu;
3. kombinace předchozích typů.

Injektáž z povrchu lze provést vějířem vrtů u mělce uložené trasy tunelu, pokud nepřekáží zástavba nebo hustá síť inženýrských sítí, a to jak v případě ražby nového tunelu, tak při sanaci či rekonstrukci stávajícího díla.

Injektáže z podzemí se provádějí buď přímo z čelby raženého profilu, nebo z předem vyražených štol. Ty mohou být realizovány formou speciálních injekčních štol, umístěných např. výhodně nad hladinou podzemní vody, či v budoucím profilu konečného díla (opěrné štoly), nebo se pro injektáž využijí předem vyražené štoly průzkumné, případně s mírným předstihem ražené dílčí záběry bočních štol (obr. 5.104).



Obr. 5.104 Injektáž z opěrných štol (a), injektáž z povrchu a z paralelního tunelu (b).



Obr. 5.105 Hloubení vrtů pro injektáž základů stavební konstrukce.

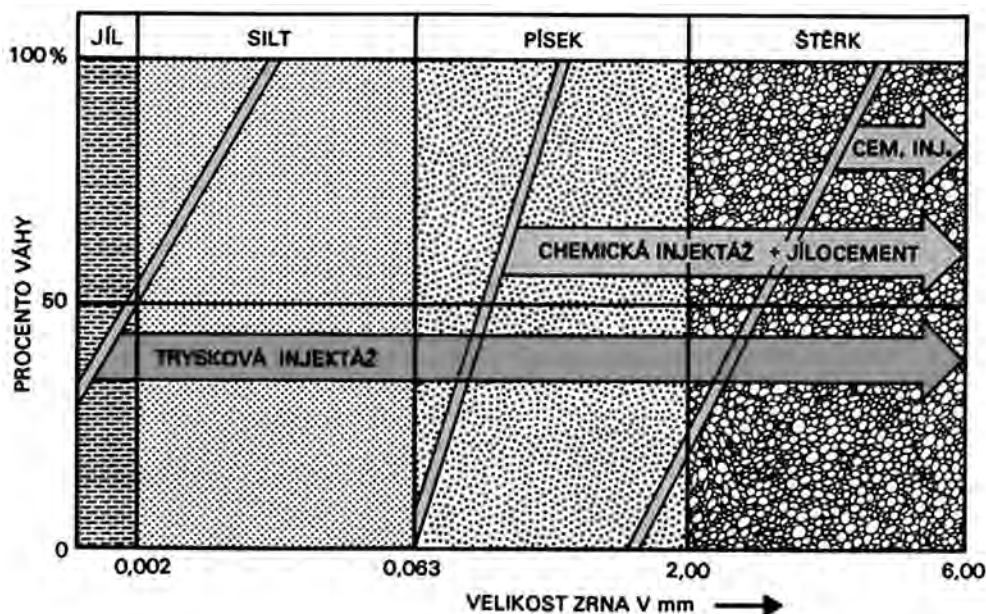
2. Injektáž k zlepšení stavu konstrukce nebo horniny

Injekční práce v této oblasti jsou zaměřeny na tyto činnosti:

- oprava starých a potrháných budov,
- oprava historických památek,
- oprava starých zděných mostů,
- oprava trhlin nebo pracovních spár v betonu,
- oprava porušených izolací,
- zlepšení stability sesuvů injektováním.

5.1.4.4 TRYSKOVÁ INJEKTÁŽ

Trysková injektáž slouží ke **zlepšování pevnosti základových půd a snižování jejich propustnosti**. Principem je **využití dynamické energie paprsku většinou cementové injekční směsi** tryskané pod vysokým tlakem. Tím je zemina rozrušena a současně promíšena se směsí, takže na místě vzniká kompozitní materiál z částic zeminy a cementu. Takto mohou být upravovány různé zeminy, od jílu až po balvanité šterky, s odpovídajícími výsledky v rozsahu pevností 1 až 20 MPa.



Obr. 5.106 Porovnání využití tryskové injektáže s možnostmi ostatních injekčních technologií.

Prvně tuto metodu použila anglická firma Cementation Ltd. počátkem 60. let minulého století v Pákistánu, k další aplikaci došlo v 70. letech v Japonsku, v 80. letech zavedly tuto technologii specializované firmy západní Evropy a v roce 1988 byla poprvé trysková injektáž využita v USA. V České republice byla metoda

poprvé využita v roce 1981 na stavbě přehrady Josefův Důl a do běžné stavební praxe byla zavedena v roce 1988 ve formě technologie Rodinjet (licence od italské firmy Rodio).

Při použití této technologie injektáže se v zemině nejprve vyvrtá malopřůměrový vrt na požadovanou hloubku. **Trysková injektáž pak probíhá během vytažování vrtného soutyčí z vrtu.** Z trysek, umístěných nad vrtnou korunkou, je do zeminy vháněn paprsek cementové směsi s aditivou pod tlakem 30 - 60 MPa. Pokud se při vytažování vrtné soutyčí neotáčí, vzniká rovinný prvek - stěna, pokud se vrtná kolona otáčí, vzniká pilíř, což je nejčastější případ.

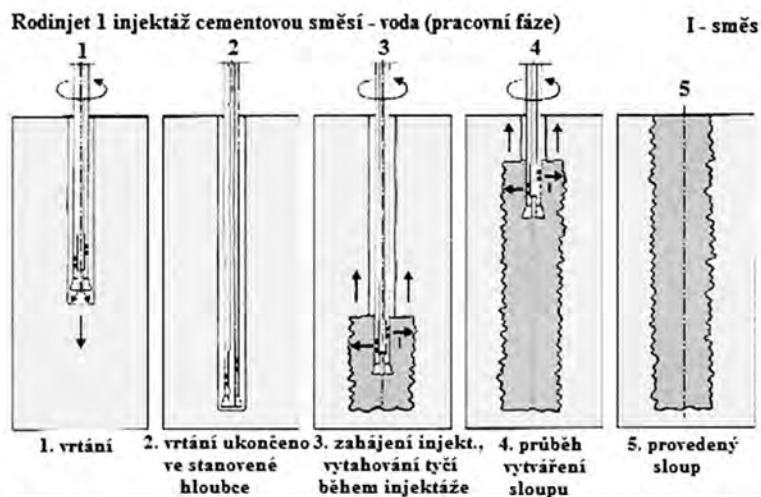
METODY TRYSKOVÉ INJEKTÁŽE

Tato technologie má **tři základní metody** (obr. 5.107):

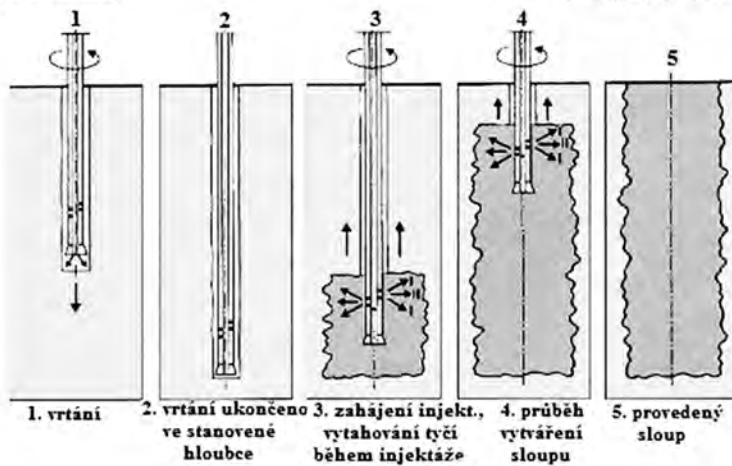
1. zemina je rozrušována a zároveň injektována paprskem injekční směsi. Průměr vzniklých pilířů je maximálně 700 mm,
2. zemina je rozrušována a zároveň injektována paprskem injekční směsi s tlakovým vzduchem. Průměr pilířů je maximálně 1600 mm,
3. zemina je rozrušována vodním paprskem s tlakovým vzduchem, souběžně je zemina vyplněna injekční směsí. Průměr pilířů je max. 2600 mm.

Tryskovou injektáž lze aplikovat v mnoha rozličných variantách, samostatně nebo v kombinaci s ostatními metodami speciálního zakládání při nové výstavbě, ale hlavně při **sanacích podzákladí rekonstruovaných objektů**, například:

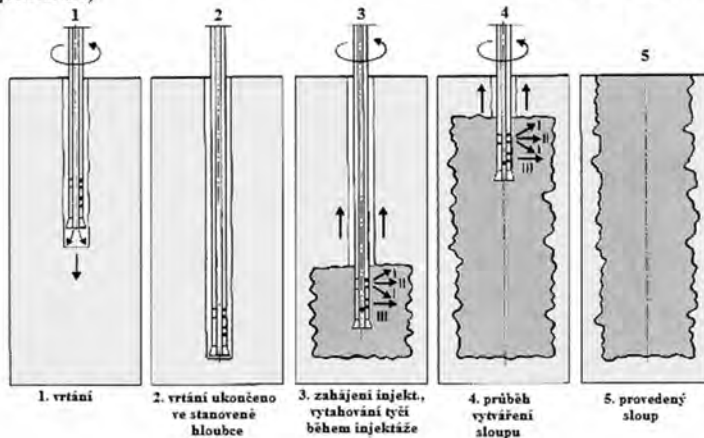
- zvyšování únosnosti stávajících základů pro plánované přetížení rekonstruovaných staveb,
- zastavení deformací podzákladí vlivem nevhodného nebo poddimenzovaného založení,
- pažení stavebních jam,
- zpeňování klenby nad budoucím výrubem tunelů,
- zpevnění klenby a boků budoucího tunelu svislými prvky při malé výšce nadloží,
- pažení šachet,
- zpevnění zeminy před patou prefabrikované podzemní stěny,
- ochrana založení mostů před vymíláním,
- přerušení smykové plochy sesuvů,
- konsolidace stlačitelných zemin,
- kořeny kotev ve složitých geologických poměrech,
- podzemní těsnící stěny ze vzájemně se překrývajících injektážních sloupů.



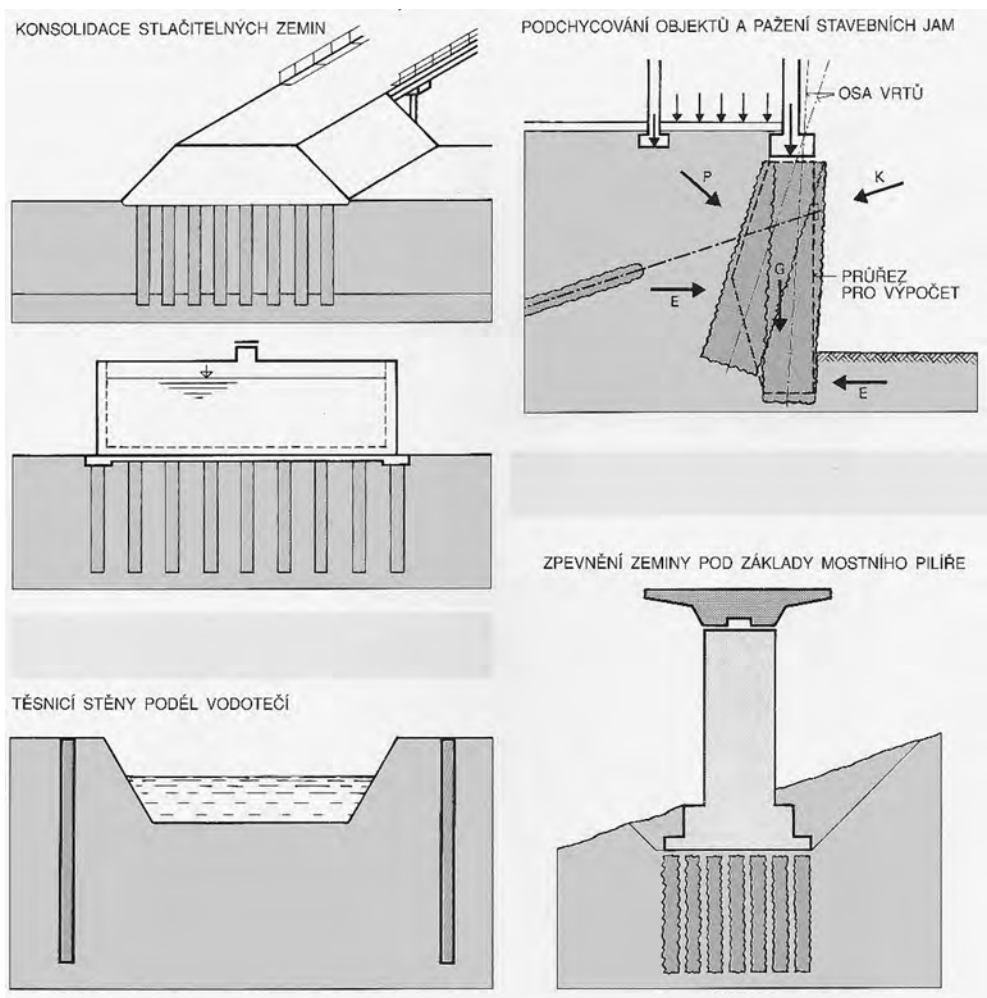
Rodinjet 2 injektáž cementovou směsí - se vzduchem (pracovní fáze) I - vzduch II - směs



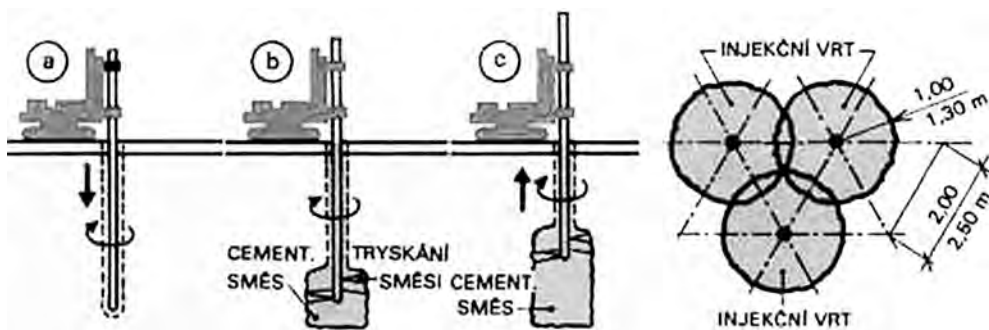
Rodinjet 3 injektáž cementovou směsí - s vodou a vzduchem (pracovní fáze) I - vzduch II - voda III - směs



Obr. 5.107 Metody technologie tryskové injektáže Rodinjet.



Obr. 5.108 Příklady použití tryskové injektáže.

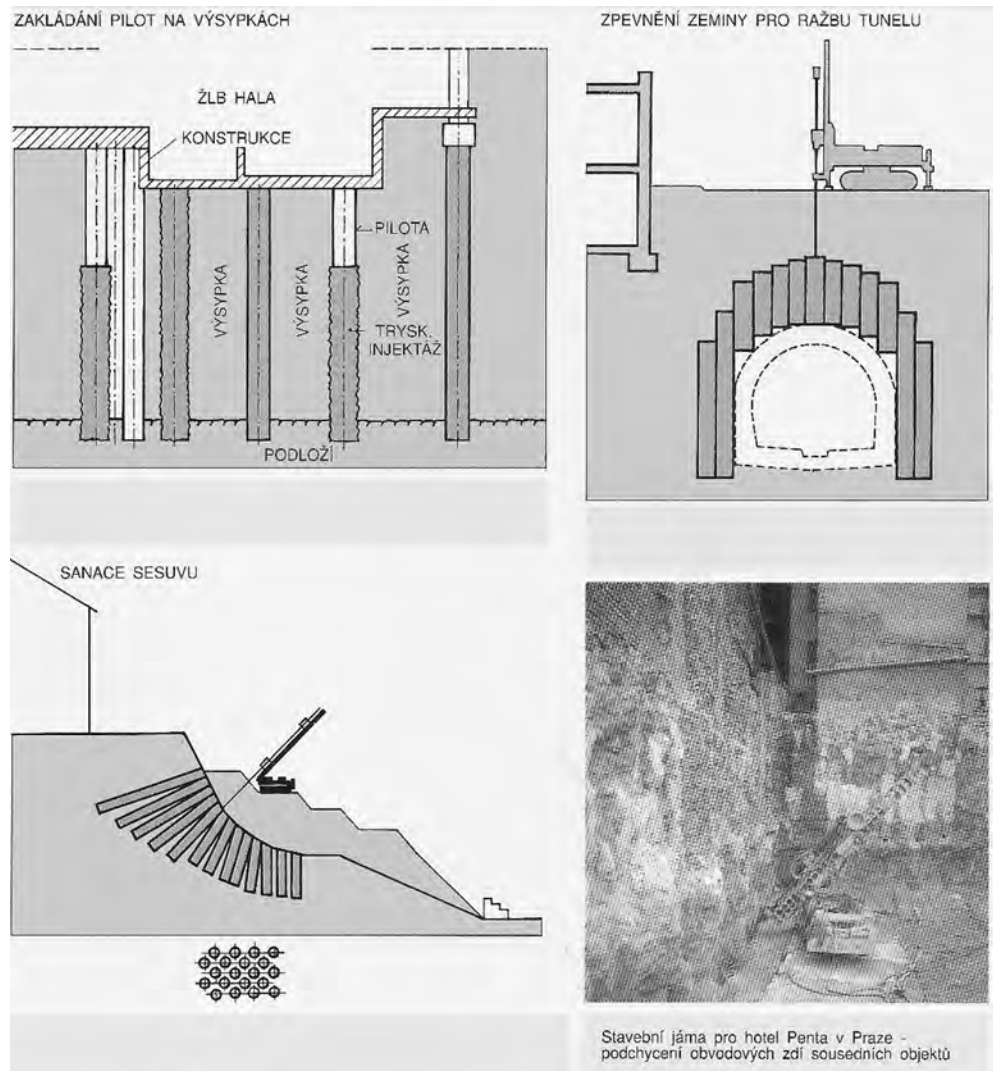


Obr. 5.109 Ukázka provedení metody „monojet“.

Obdobou výše uvedené technologie jsou metody tryskové injektáže nazývané „monojet“ a „doublejet“.

Metoda „monojet“ se provádí tak, že po provedení vrtu se při pomalém pohybu vrtného nástroje vzhůru a jeho pomalém otáčení vhání do trysky nad břitem

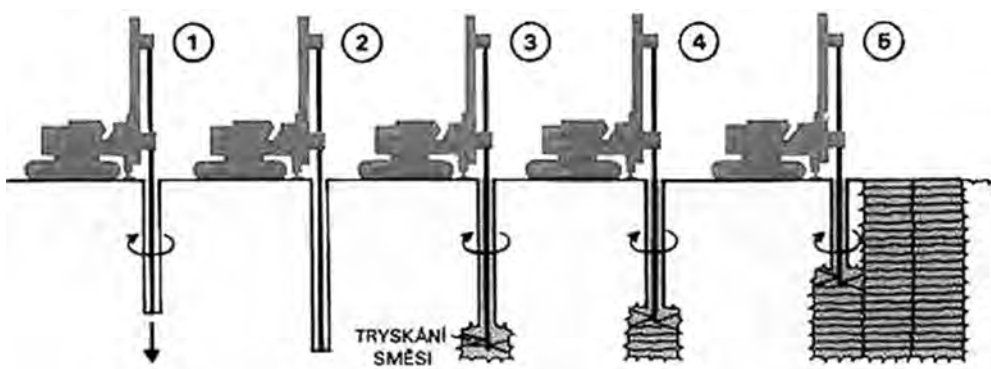
cementová injekční směs pod tlakem 30 - 50 MPa. Vytvoří se tak postupně sloup z tryskové injektáže o průměru 0,4 - 0,8 m, v závislosti na daných podmínkách.



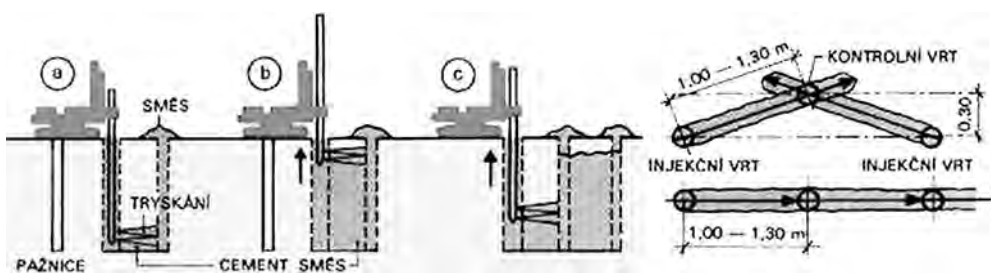
Obr. 4.110 Příklady použití tryskové injektáže.

Při **metodě „doublejet“** se účinnost tryskání zlepšuje koaxiálně vhaněným vzduchem pod tlakem 0,6 - 1,2 MPa. Průměr vytvořených sloupů tak dosahuje 0,7 - 1,6 m. (obr. 5.111)

Obdobným způsobem, **bez otáčení vrtného soutyčí** při vytahování, lze v zemině vytvořit **stěnové prvky** (jednosměrná injektáž), vhodné zejména pro omezení průsaků. (obr. 5.112)



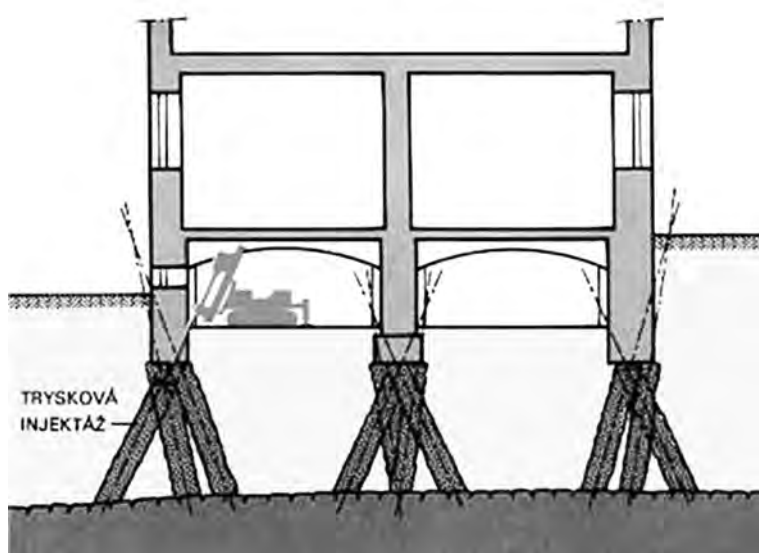
Obr. 5.111 Ukázka provedení metody „doublejet“.



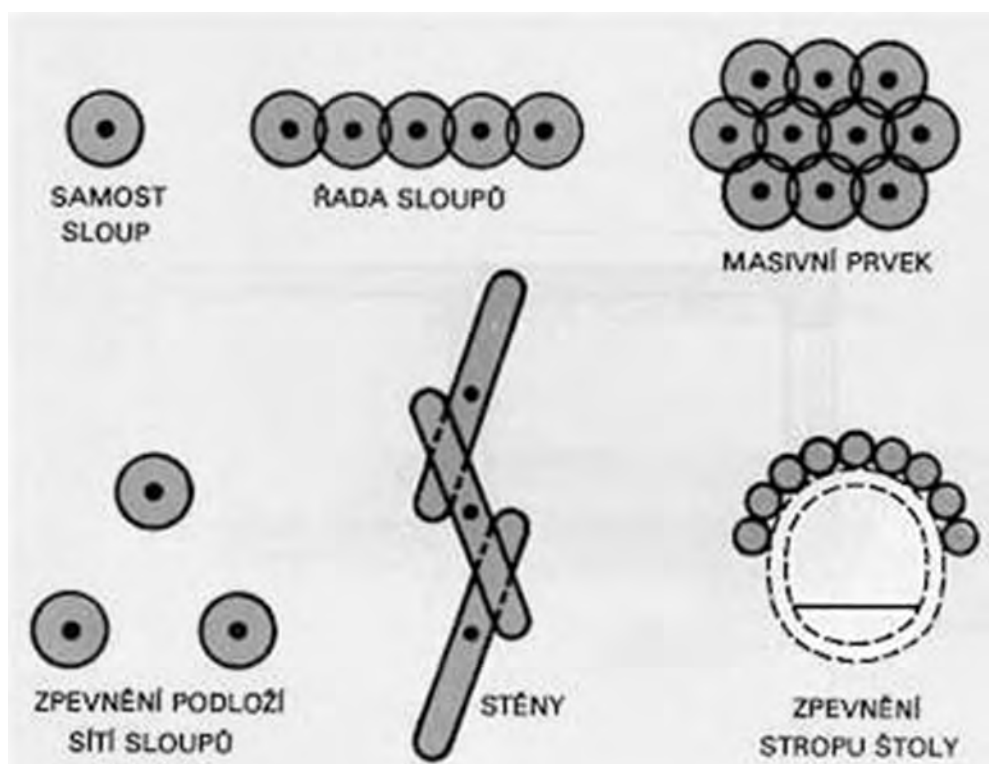
Obr. 5.112 Schéma provedení jednosměrné injektáže.



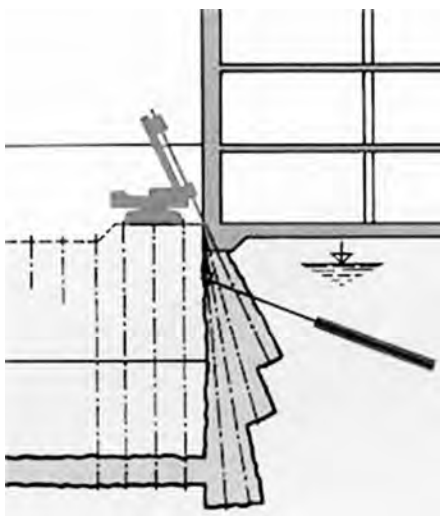
Obr. 5.113 Obnažená těsnící stěna provedená metodou jednosměrné tryskové injektáže.



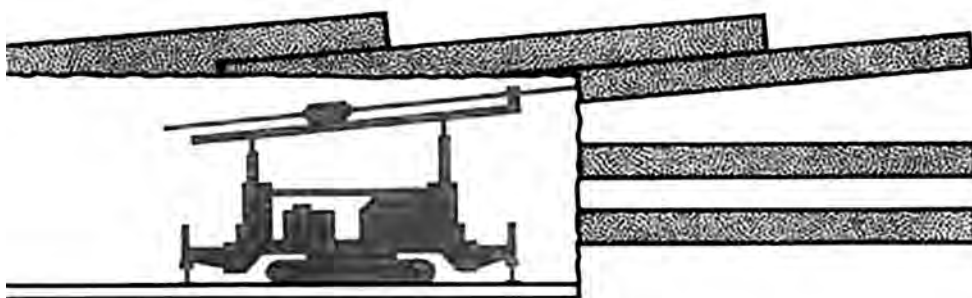
Obr. 5.114 Podchycení základů stavby tryskovou injektáží při její rekonstrukci.



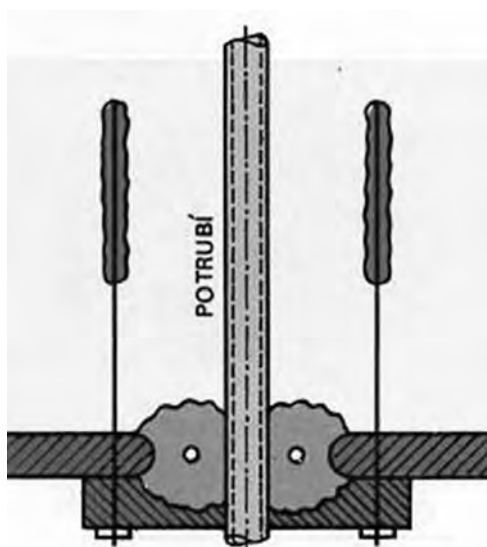
Obr. 5.115 Typické základové prvky vytvořené tryskovou injektáží.



Obr. 5.116 Zajištění stavební jámy a přilehlého objektu tryskovou injektáží.



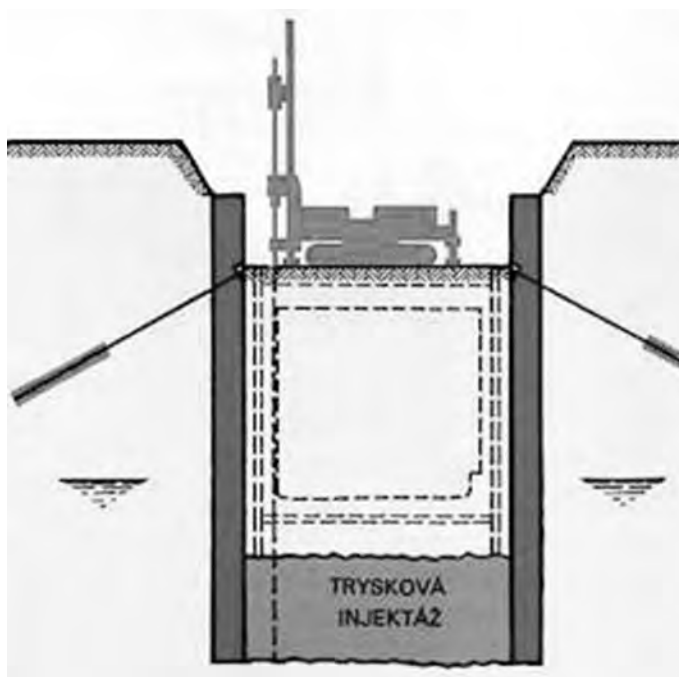
Obr. 5.117 Zabezpečení tuneláže v nestabilních horninách.



Obr. 5.118 Těsnění průstupů inženýrských sítí v podzemní stěně tryskovou injektáží.

Výhody tryskové injektáže je možné specifikovat následovně:

- tryskovou injektáží lze zpevňovat zeminy i středně pevné horniny,
- promísení zeminy se směsí se provádí přímo ve vrtu,
- erozní dosah paprsku tryskové injektáže dosahuje v základové půdě až 2,5 m v závislosti na druhu zeminy, metody a použitého média.
- k podchycení základů stačí vyvrtat maloprůměrový vrt a trysková injektáž se pak provede až pod základy a není tedy nutné zajišťovat jejich vzájemné propojení,
- metoda umožňuje vytvářet prvky nejrůznějších geometrických tvarů,
- po vytvrnutí má těleso tryskové injektáže staticky užité vlastnosti
- rychlost celého procesu - pilíř je vytvrzen již za přibližně 24 hodin.



Obr. 5.119 Zajištění hlubokých výkopů liniových staveb.

5.2 VRTNÉ PRÁCE POUŽÍVANÉ V BEZVÝKOPOVÝCH TECHNOLOGIÍCH

Použití **protáčení, podvrtů nebo mikrotunelování** je v dnešní době součástí téměř všech významnějších projektů liniových staveb. Jejich realizace není, při současném rozvoji strojního vybavení, omezená téměř žádnou překážkou.

Počátky používání metod protlačení a mikrotunelování se datují zhruba od 40. roků minulého století a jsou spojené s **rozvojem hydraulických systémů v strojírenské praxi**. Použití této technologie se z počátku vázalo výhradně na tzv. **klasické protlaky** ocelových rour s ručním rozpojováním horniny na čele protlačované roury. Svoje uplatnění nacházela tato technologie hlavně při křížování realizovaných inženýrských sítí s komunikacemi, zejména jednoduché tunelování malých průměrů, u nichž nebylo překopání komunikace (uložení do rýhy) možné. Mezi **jednoduché tunelovací metody** (simple tunneling methods) náleží systémy **jako ruční tunelování** (hand tunneling), **nemechanický štít** (non-mechanical shield) a **přímé protlačení** (direct pipe jacking). Tyto technologie mají v České republice dlouhou tradici. V 50. letech se začal využívat tzv. „**protláčecí krtek** (earth piercing mole),“ který byl původně vyvinutý pro vojenské účely. Se zdokonalením hydraulických systémů se v 60. letech objevují na stavbách **vrtné soupravy se šnekovým dopravníkem** (auger machines), později **vzduchová nebo hydraulická beranidla**. Použití **bezvýkopových technologií** (trenchless technologies) se v této době stává ve vyspělých zemích běžnou praxí, hlavně v oblastech husté městské zástavby.

5.2.1 ZÁKLADNÍ POJMY

Podzemní vedení jsou součástí technické infrastruktury, tj. inženýrských sítí (sítí technického vybavení), jejichž úkolem je zásobovat obce a města vodou, plynem a elektrickou energií, zabezpečovat přenos informací, odvod odpadních vod a domovních odpadů aj. Do podloží mohou být inženýrské sítě ukládány:

- odděleně v samostatných trasách,
- ve společných trasách,
- ve sdružených trasách (kolektory, technické chodby, technické kanály, suterénní rozvody – podle ČSN 73 75 05 Sdružené trasy městských vedení technického vybavení).

Podzemní vedení jsou **liniové stavby** realizované dvěma základními způsoby (13):

- v otevřených, resp. pažených výkopech, tj. s rozrušením nadloží,
- **bezvýkopovými (bezrýhovými) metodami**, přičemž metoda výstavby závisí na velikosti průřezu podzemního vedení a na geologických podmínkách v trase.

Podle velikosti příčného profilu se rozeznávají podzemní vedení:

- neprůlezných průřezů,
- průlezných průřezů,
- průchozích průřezů.

Za **průlezná** jsou obecně považována podzemní vedení jmenovité světlosti $DN \geq 800$, resp. profily s nejmenší výškou 800 mm a s nejmenší šířkou 600 mm, pokud jejich délka nepřesahuje 50 m. Při délkách nad 50 m se za hranici průleznosti označuje $DN \cong 1\ 000$, resp. pravoúhlý průřez 1 000/600. Za **průchozí** jsou považovány průřezy s nejmenší výškou 1 500 mm a s nejmenší šířkou 600 mm.

Z hlediska ukládání podzemních vedení je rozlišováno **ukládání s ochrannými konstrukcemi nebo ukládání bez nich**. Mezi **ochranné konstrukce** patří:

- **chránička** – zpravidla potrubí o větším průřezu, do něhož se zasouvá potrubí užitkového vedení nebo kabely, výjimečně oba druhy vedení;
- **ochranná trubka** – trubka malého průřezu k zafoukání optokabelů, resp. pro rozvody plynu;
- **technický kanál (kabelovod)** – samostatná, od ostatních staveb oddělená, neprůlezná liniová stavba, do níž jsou kabely zatahovány přes montážní šachty;
- **montážní kanál** – liniový podzemní objekt neprůlezného, průlezného nebo průchozího průřezu, ve kterém jsou uložena vedení téhož druhu (energokanál, horkovodní kanál atd.);
- **kolektor** – linkový průchozí objekt, do něhož jsou ukládána vedení různého druhu;
- **technická chodba** – průchozí prostor v budově, ve kterém jsou uložena vedení technického vybavení a který stavebně souvisí s konstrukcí budovy, ale provozně je od ní oddělen. Zpravidla umožňuje průchozí propojení sousedních, vzájemně přilehlých budov;
- **suterénní rozvod** – průchozí prostor v suterénu objektu vymezený pro ukládání vedení, bezpečně stavebně oddělený od ostatního suterénního prostoru alespoň mříží nebo drátěným pletivem apod. Mezi objekty se souvisejícími rozvody nemusí být průchod pro obsluhu.

5.2.2 ROZDĚLENÍ BEZVÝKOPOVÝCH METOD VÝSTAVBY

Podle ČSN EN 12 889/2001 Bezvýkopové provádění stok a kanalizačních přípojek a jejich zkoušení je možno **bezvýkopové metody** rozdělit na (Klepsatel F., et al, 2007):

- metody s obsluhou na čelbě a bez ní,
- metody řízené a neřízené.

ČSN EN 12 889/2001 je možno použít i pro bezvýkopové technologie obnovy kanalizačních stok a přípojek. Konvenční a jiné tunelářské metody výstavby předmětem této normy nejsou. Podle ČSN EN 12 889/2001 se za **mikrotunelování**

považuje jen jednostupňová metoda zatlačování potrubí, s dálkovým řízením ze stanoviště mimo potrubí. Potrubí je přitom ukládáno bezprostředně za mikrotunelovacím strojem.

Odlišné rozdělení bezvýkopových metod výstavby podzemních vedení je uvedeno ve Slovníku pojmů ve výstavbě (Raclavský J., et al. 2004). Zde se **mikrotunelováním (mikrotuneláží) rozumí souhrn všech metod výstavby podzemních neprůlezných vedení pomocí dálkově ovladatelných strojních zařízení bez přístupu obsluhy do čelby.**

Podle této publikace se metody mikrotunelování dělí na:

- 1. metody neřízeného mikrotunelování** (během zabudovávání potrubí není možné korigovat směr), které se podle pracovního principu dělí na:
 - propichování,
 - vodorovné beranění,
 - vodorovné vrtání,
 - vrtání s použitím vysokotlaké kapaliny;
- 2. metody řízeného mikrotunelování** (využívají progresivní soupravy s dálkovým ovládáním, umožňující přesně zabudovávat podzemní vedení do požadované trasy a v případě potřeby vyrovnat vzniklé směrové a výškové odchylky), které se podle pracovního principu dále dělí na:
 - vrtání s vodícím vrtem,
 - vrtání na plný průřez,
 - mikrotunelování s použitím štítů,
 - vrtání s použitím vysokotlaké kapaliny.

Pro bezvýkopovou výstavbu potrubních vedení **průlezných a průchozích průřezů**, ve kterých může obsluha dočasně nebo trvale pracovat v podzemí a ražení štol se někdy uvádí pojem **minitunelování**. Tyto metody se dělí na:

- vodorovné vrtání (do světlého průměru asi 1 500 mm),
- hydraulické protlačování (světly průměr potrubí je zpravidla větší než 1 000 mm),
- ražení s použitím tunelovacích štítů,
- ražení s použitím plnoprofilových razicích strojů (TBM),
- ražení s dočasnou výstrojí.

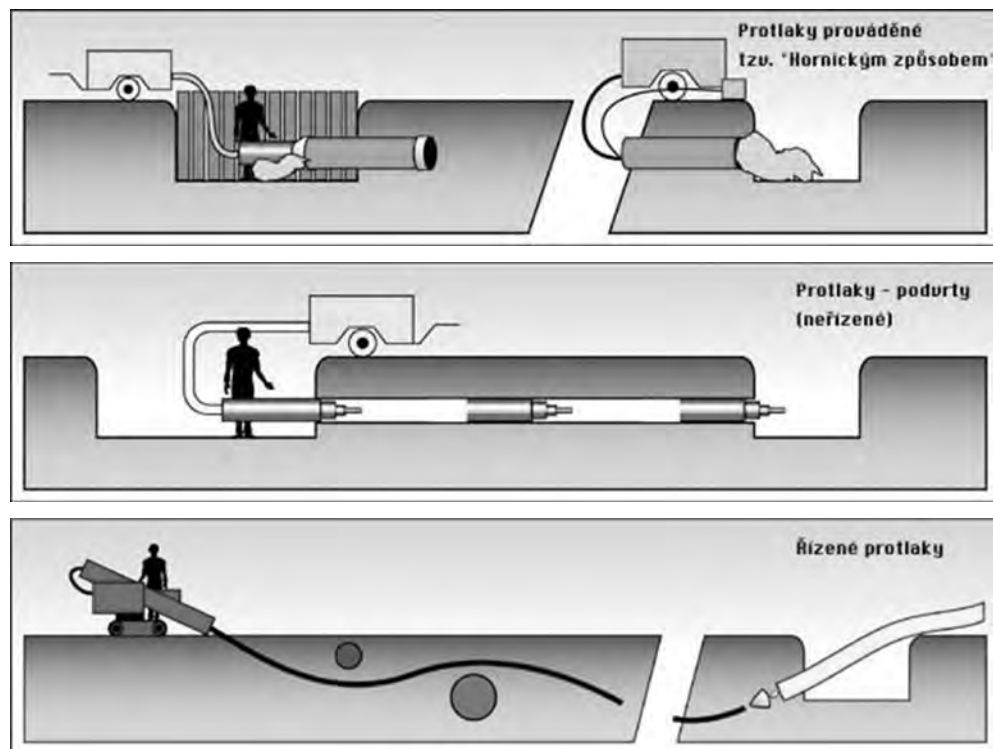
Tyto technologie nejsou obsahem těchto učebních textů.

Mikrotunelování (microtunnelling) je technologií posledního období. Pokrokové strojní zařízení umožňuje obsáhnout široké spektrum nasazení v rozsahu průměru do 350 mm a v délkách do 250 m. V zahraničí však byli touto metodou realizované projekty s průměrem okolo DN 1000.

Mikrotunelování je vhodné pro většinu geotechnických podmínek, umožňuje práci pod hladinou podzemní vody. Tato metoda není vhodná do skalních hornin nebo čistě štěrkových zemin. Zásadní výhodou této metody je **možnost ovládnutí**

směru osy protlaku ve všech směrech. Metoda pracuje na principu rozšiřování a současného zatahování výhradně polyetylénového nebo podobného, svařeného potrubí do předem vyvrtaného a bentonitovou suspenzí vyztuženého pilotního vrtu. Touto metodou se zatahují jak chráničky, tak i samotné potrubí vodovodů nebo plynovodů. Mikrotunelování většinou **nevyžaduje startovací jámu** (může začínat i končit na povrchu) **ani opěrný blok**. Tato technologie je nevhodná pro protlačení, kde je požadovaná přímá osa protlaku, jako např. u kanalizace. Je náročná na investice do strojního vybavení a tomu odpovídá i cena realizovaného díla. Taktéž je při této metodě potřebné provést precizní zmapování podzemních vedení a konstrukcí.

Omezujícím faktorem použití bezvýkopových technologií jsou především **geologické podmínky**. Pro efektivní nasazení jsou nejvhodnější hlinité půdy a jíly bez podílu kamene, komplikací přibývá v prostředí nesoudržných půd, jako jsou hrubé štěrky, písky a kamenité půdy s vysokým podílem kamenné frakce. Vrtání v kompaktní skalní hornině vyžaduje speciální vrtné nářadí (jako např. ponorný motor) nebo aplikace jiné technologie, obvykle používané pro svislé vrtání. V případě zhoršení půdních podmínek, kdy existuje obava z poškození vtahovaného potrubí ostrými kusy horniny nebo překážkami charakteru navážky, lze provést zkušební protažení krátkého kusu potrubí vrtem a poté zkontrolovat stav jeho povrchu. V případě nepřijatelného rozsahu vrypů je nutné použít chráničí potrubí (chráničku) průměru o jeden řád vyššího a vlastní potrubí vodovodu pak do něj vtáhnout nebo daný úsek provést otevřeným výkopem.



Obr. 5.120 Schematické znázornění neřízeného a řízeného mikrotunelování.

5.2.3 PRŮZKUM A PŘÍPRAVA VÝSTAVBY

(Klepsatel F., et al, 2007)

Bezvýkopové metody výstavby podzemních vedení jsou zpravidla dražší než výstavba v otevřených výkopech. Proto jsou u nás zatím používány převážně jen v intravilánech měst a obcí nebo na křižovatkách jejich tras s trasou frekventovaných dopravních magistrál, kde je prioritním zájmem nenarušený provoz dopravy, resp. ochrana životního prostředí před ryze ekonomickými ukazateli.

Výstavba podzemních inženýrských sítí probíhá většinou v **malých hloubkách pod povrchem** – zpravidla do hloubky několika metrů. Specifikem zastavěných území (zejména centrálních částí starých historických měst) jsou geologické podmínky, které jsou v těchto hloubkách velmi složité a proměnlivé. Tato složitost je zapříčiněná mimo jiné i dlouhodobou antropogenní činností a vývojem města v různých historických obdobích.

Problémem **geotechnického průzkumu pro liniové podzemní stavby** v zastavěném území je také to, že jen zřídka je možno vrtný, resp. geofyzikální průzkum **realizovat přímo v trase výstavby**. Brání tomu existující zástavba, požadavky na minimalizaci omezení dopravy na komunikacích i nebezpečí poškození nezaevidovaného, resp. nepřesně zakresleného provozovaného podzemního vedení průzkumným vrtem.

Výhodou naopak je, že mnohá, hlavně větší města mají na základě komplexního vyhodnocení výsledků geotechnických průzkumů, vykonaných na území města pro mnohé realizované stavby, vypracovány **přehledné atlasy základových půd** a v některých případech i urbanistické mapy 1. a 2. podzemní úrovně, které mohou průzkumné práce značně zjednodušit. Někdy je nutné, s ohledem na stísněné podmínky na povrchu, provádět průzkumné práce i ze suterénů budov.

V žádném případě by se však před zahájením jakýchkoliv průzkumných, resp. stavebních prací nemělo zapomenout na podrobnou pasportizaci stavu objektů (zástavby, sítí technického vybavení a jiných podzemních děl) v zóně ohrožení negativními účinky výstavby.

5.2.3.1 PRŮZKUM PRO VÝSTAVBU

1. ÚKOLY PRŮZKUMU

Průzkum pro bezvýkopovou výstavbu podzemních vedení musí dodat co nejspolehlivější informace o:

- **zeminovém, resp. horninovém prostředí v trase výstavby**, v jeho nadloží a podloží včetně pevnostních a přetvárných charakteristik;
- **hydrogeologických podmínkách v trase výstavby**, tj. o hloubce naražené a ustálené hladiny podzemní vody a rozmezí, ve kterém kolísá, propustnosti horninového masivu, místech soustředěných výtoků podzemních vod atd.;

- **možném výskytu překážek v trase**, jejich velikosti a charakteru (bludné balvany, beton a zdivo základů, dřevěné a železobetonové piloty apod.);
- **hloubce a konstrukci základů a podzemních částí okolní zástavby** s ohledem na hloubkovou polohu podzemních vedení, jejichž výstavba se připravuje;
- **přesné poloze provozovaných a neprovozovaných podzemních vedení** a jejich konstrukčním materiálu.

Znalost těchto údajů je nezbytnou podmínkou pro volbu optimální technologie výstavby. Někdy je nutné zaměřit se při průzkumu i na problémy, které jsou pro zastavěnou lokalitu specifické:

- Uniká-li z kabelů jednosměrného proudu, sloužících k napájení trakčních vedení tramvajových a železničních tratí, proud (tzv. bludné proudy), může to způsobit **rychlou korozi kovových potrubí** uložených v jejich blízkosti ve vlhkém zeminovém prostředí. V takovém případě je potřebný důsledný korozní průzkum.
- V blízkosti chemických závodů je třeba věnovat **zvýšenou pozornost jak chemickým vlastnostem podzemních vod a půdy**, tak identifikaci starých skládek průmyslových odpadů, které mohou být příčinou zvýšených agresivních účinků na materiál potrubí.
- V lokalitách se zavezenými starými skládkami domovního odpadu, zasypanými mrtvými rameny řek a starými, neprovozovanými kanalizacemi je třeba počítat s možností **výskytu výbušných směsí bioplynu i různých ostrých, tvrdých úlomků hornin, litiny a střepů skla**, o které se při zatlačování nebo zatahování mohou plastová a sklolaminátová potrubí poškodit.

Z uvedeného je zřejmé, že průzkum pro výstavbu podzemních vedení v malých hloubkách pod povrchem v zastavěném území je často složitější než průzkum pro podzemní výstavbu realizovanou v extravilánu ve větších hloubkách pod povrchem, a musí splňovat i odlišné nároky.

2. METODY PRŮZKUMU

Metody průzkumu zahrnují:

- a. Studium podkladů a obchůzky lokality. Základní metodou průzkumu je studium existujících podkladů.
- b. Vrtný průzkum.
- c. Geofyzikální průzkum.
- d. Doplnkové metody geotechnického průzkumu.

3. VRTNÝ PRŮZKUM

Základní metodou průzkumu podmínek v podzemí, která předchází vlastní výstavbě v extravilánu, je **vrtný průzkum**. Probíhá-li průzkum podzemí pro stavby realizované v nevelkých hloubkách pod povrchem za ztížených

podmínek v zastavěném území a není-li možné provést průzkumné vrty přímo v trase budovaného díla, doporučují se průzkumné vrty alespoň do příčných profilů, pokud možno kolmých na podélnou osu podzemního vedení. To umožní stanovit geologické podmínky v trase interpolací. Při situování jednotlivých vrtů je třeba s jistotou vyloučit možnost navrtání provozovaných podzemních vedení. Průzkumné vrty musejí sahát až do podloží podzemního vedení. V místech hustých souběhů a křížení podzemních vedení jsou někdy k ověření jejich přesné polohy potřebné i **kopané sondy**. Důležité je také prověřit hloubku a stav základů dotčené zástavby – k tomu slouží **průzkumné šachty kopané** např. v suterénech. Z vrtů se odebírají vzorky zemin, resp. hornin pro laboratorní zkoušky, pomocí vrtů je možno též zpřesnit údaje o aktuální hladině podzemní vody a srovnáním se staršími výsledky hydrogeologického průzkumu i její rozkolísanost. To je důležité hlavně **při průzkumu pro minitunelování, kde hladina podzemní vody výrazně ovlivňuje výběr metody výstavby a strojního zařízení**. Rovněž je důležité co nejpřesněji stanovit propustnost horninového masivu, a tím i přítoky podzemní vody do budovaného díla a agresivitu podzemních vod, které ovlivňují volbu materiálu konstrukce podzemního vedení. V každém případě však vrtný průzkum dává **jen bodové informace o geotechnických podmínkách** ve velmi heterogenním podloží, které může efektivně doplnit geofyzikální průzkum. Ke stanovení pevnostních parametrů zemin, jejich ulehlosti, těžitelnosti apod. se někdy používají **penetrační sondy** (statická, resp. dynamická penetrace).

4. GEOFYZIKÁLNÍ METODY PRŮZKUMU

Geofyzikální metody patří mezi tzv. **nepřímé metody průzkumu**, které ke zjišťování lokálních nehomogenit v masivu využívají výsledků měření změn některých jeho fyzikálních vlastností.

- a. **Seizmické metody**. Jsou založeny na zákonitostech šíření pružných vln v horninovém prostředí, vyvolaných silným mechanickým impulsem.
- b. **Geoelektrické odporové metody**. Charakterizují skalní podloží a jeho povrchové útvary na základě měrného elektrického odporu hornin.
- c. **Princip georadarové metody**. Tento princip je stejný jako u radarů k lokalizaci letadel, ponorek a lodí: do podzemí jsou vysílány elektromagnetické vlny vysoké frekvence, které se šíří sféricky. Na rozhraní poloh materiálů s různými fyzikálními vlastnostmi se vlny zčásti lomí, zčásti odrážejí. Části vln, které se odrazí zpět – pokud jsou vysílač a přijímač soustředěny do jednoho přístroje – jsou přístrojem zaregistrovány a odváděny k dalšímu zpracování.

5. DOPLŇKOVÉ METODY GEOTECHNICKÉHO PRŮZKUMU

Do kategorie geofyzikálních měření patří i různé speciální metody, sloužící k **vyhledávání cizích těles – hlavně podzemních potrubních a kabelových vedení** – (funkčních i nefunkčních) v zeminovém masivu. Podle vyhledávaného materiálu se dělí na metody lokalizace kovových a nekovových předmětů a potrubí.

5.2.3.2 PŘÍPRAVA VÝSTAVBY

Již během **přípravy výstavby podzemních vedení bezvýkopovými metodami** je třeba zohlednit především danosti lokality a rozsah požadovaných prací. Tyto faktory totiž v rozhodující míře ovlivňují volbu metody a přípravu výstavby.

1. VÝSTAVBA MALÉHO ROZSAHU

V případě budování pouze krátkých úseků potrubních nebo kabelových vedení se obvykle volí některá z **neřízených metod**. Volbu metody přitom ovlivňují:

- požadovaný průměr zabudovaných trub,
- rozměry pracovní šachty podmíněné technologií (důležité hlavně ve stísněných podmínkách v centrech měst),
- požadavky minimálního narušení dopravy a životního prostředí (zejména hlučnost a pracnost metody),
- geologické a hydrogeologické podmínky v trase.

Při volbě metody výstavby se musí zohlednit také skutečnost, že **při neřízeném mikrotunelování** vznikají někdy odchylky velikosti až několik desítek centimetrů; tomu je třeba přizpůsobit i minimální teoretické vzdálenosti budovaného vedení od souběžných, resp. křížených provozovaných vedení, aby při zabudování nového vedení nedošlo ke kolizi a narušení vedení starého. Z tohoto důvodu se ve složitých geologických podmínkách doporučuje **zatlačit chráničky větších průměrů**, aby bylo možno případné odchylky po zasunutí potrubí užitékového vedení v chráničce vyrovnat.

2. VÝSTAVBA VELKÉHO ROZSAHU

V tomto případě je **bezvýkopová metoda použita jako samostatná metoda výstavby** a její příprava je náročnější. **Moderní říditelné soupravy jsou velmi výkonné, ale finančně velmi náročné** a proto je vlastní jen několik organizací. Jakékoliv prostoje při práci z důvodu špatné přípravy výstavby, resp. kvůli nezjištěným překážkám v důsledku nedostatečného průzkumu a při nevhodných geologických podmínkách v trase, znamenají pro stavební organizaci velké finanční ztráty. Proto se celá stavba musí pečlivě a důkladně připravit:

- Je žádoucí pokud možno v **předstihu vybudovat všechny pracovní šachty**. Ty mají být situovány především do nezpevněných zelených ploch a tak, aby vedení mezi nimi mohla být v přímé trase – jen tak si výstavba vyžádá co nejméně zásahů (přeložek) do provozovaných podzemních vedení a v minimální míře naruší dopravu na povrchu (např. deformacemi pažení).
- Je velmi výhodné, mohou-li být **pracovní šachty později využity jako provozní** (revizní, montážní) a je-li do nich možno zapojit co nejvíce domovních přípojek.

- V centrálních městských oblastech, kde je nedostatek volného místa, je výhodné **plošné rozměry šachet minimalizovat**, a to i za cenu zabudování krátkých trub. Pracovní šachty kruhového průřezu mohou mít světlý průměr do 3,5 m, cílové a mezilehlé (přípojkové) šachty mohou být ještě menší. Naopak v extravilánu, kde je na povrchu dostatek volného prostoru, je možno plošné rozměry, zejména délku pracovních šachet prodloužit (na 6 až 8 m i více), aby bylo možno zatlačovat trouby větších délek a tím výstavbu urychlit.
- Je účelné předzásobit se **rourami na výstavbu celého úseku**, aby nedošlo k prostojům v důsledku váznoucích dodávek, resp. aby nebylo nutné zabudovávat čerstvě vyrobené trouby s nedostatečnou pevností.
- Zejména při výstavbě v centrech měst je nutné **minimalizovat zábor ploch** pro zařízení staveniště a energetickou náročnost výstavby.
- Rozmístění šachet a technologií výstavby nutno volit tak, aby bylo co **nejméně narušováno životní prostředí a doprava na povrchu**.
- Organizace výstavby má být co **nejohleduplnější k obyvatelstvu**. Je vyžadována minimální prašnost a hluchnost (zejména v noci a ve dnech pracovního klidu) a minimalizace i dalších negativních dopadů na obyvatelstvo.
- Je třeba pečlivě zvážit i **situování dočasných deponií vykopané zeminy** a optimalizaci její dopravy, resp. jejího využití.
- Při výstavbě v blízkosti zástavby a pod frekventovanými komunikacemi nutno volit takové metody a pomocná opatření, které **minimalizují negativní důsledky sedání nadloží**.

5.2.4 VÝSTAVBA PODZEMNÍCH VEDENÍ METODAMI MIKROTUNELOVÁNÍ

(Klepsatel F., et al, 2007)

Jak již bylo uvedeno, podle ČSN EN 12 889/2001 Bezvýkopové provádění stok a kanalizačních přípojek a jejich zkoušení, se **bezvýkopové technologie** pro provádění nových stok a kanalizačních přípojek dělí na metody minitunelování (s obsluhou na čelbě) a metody mikrotunelování (bez obsluhy na čelbě).

Podle **možnosti kontroly a úpravy směru** se metody mikrotunelování dělí na:

1. **metody neřízeného mikrotunelování** – při zabudování trub nebo kabelů nelze provádět korekce směru,
2. **metody řízeného mikrotunelování** – jsou při nich využívány progresivní soupravy s dálkovým ovládním, umožňující zabudovat trouby a kabely přesně do požadované trasy a v případě potřeby vyrovnat vzniklé směrové a výškové odchylky.

Dále je možné dělit jednotlivé bezvýkopové technologie pro novou pokládku trub a kabelů z více hledisek, např. podle:

- odběru zeminy,
- profilu trasy,
- říditelnosti,
- pracovního principu.

Volbu metod výstavby podzemních vedení určují tyto faktory:

- požadovaná přesnost ve směrovém a výškovém uspořádání,
- blízkost ostatních sítí technického vybavení,
- průměr trub,
- délka zabudovávaného potrubí,
- geologické a hydrogeologické podmínky v trase,
- nejmenší výška nadloží.

5.2.4.1 METODY NEŘÍZENÉHO MIKROTUNELOVÁNÍ

Metody neřízeného mikrotunelování (tabulka 5.9) se podle ČSN EN 12 889 dělí na:

- metody bez odběru zeminy,
- metody s odběrem zeminy.

Tabulka 5.9 Neřízené metody bez obsluhy na čelbě.

Metoda		Vhodnost pro průměr trub [mm]	Maximální délka zabudovávání [m]
bez odběru zeminy	s propichovacím kladivem (krtkem)	≤ 300	≤ 25 (do 40) ¹⁾
	vodorovné beranění s uzavřeným čelem (hrotem)	≤ 300	≤ 20
	vodorovně zatlačovaná vodicí roura s roztlačovací hlavou	≤ 300	≤ 60
s odběrem zeminy	vodorovné beranění nebo protlak s otevřeným čelem	≤ 1 500 (4 000) ¹⁾	≤ 100
	vodorovné vrtání se současným zatlačováním potrubí	≤ 1 500	≤ 100
	příklepné vrtání	≤ 1 000	–
	vodorovné propichování s rozšiřovací hlavou	≤ 220	≤ 20

¹⁾ V optimálních geologických podmínkách.

Přesnost a směrové vedení jsou u neřízených metod ovlivňovány vlastnostmi horninového prostředí (zvláště vrstevnatostí a změnou zrnitosti) a délkou protlaku. Proto jsou neřízené metody omezeny jen na ukládání podzemních vedení, která **nevyžadují směrovou přesnost**. Aby se zamezilo poškození jiných staveb nebo podzemních sítí technického vybavení, vyžadují tyto metody zvláštní opatření.

Neřízené metody se uplatňují při zabudovávání trub neprůlezných a průlezných profilů na vzdálenost až několika desítek metrů, přičemž o maximální dosažitelné délce rozhoduje požadovaná přesnost provádění. Propichování, tj. zabudovávání trub bez těžby zeminy, je vhodné pro trouby DN ≤ 300, vodorovné beranění a vrtání do DN 1 500, mimořádně i více. Ve většině případů se pro neřízené metody používají ocelové roury. Při pneumatickém propichování se téměř výhradně používají roury z plastů.

V současnosti používané soupravy podle způsobu odstraňování zeminy z trasy zabudovávaného potrubí pracují, kromě rotačního vrtání, buď na principu **propichování**, tj. roztláčení zeminy z trasy anebo **protlačení**, kdy se zemina z trasy potrubí částečně nebo úplně odtěží. Do vzniklé dutiny se v obou případech současně, nebo následně zatlačí nebo zatahuje chránička nebo užitkové vedení.

1. Pneumatické propichování

Při **pneumatickém propichování** se v zeminovém masivu **speciálním pneumatickým propichovacím kladivem dynamicky proráží otvor**, do kterého se současně anebo dodatečně zatahují roury nebo kabely. Pohyb kladiva je závislý na odporu zeminy třením. Zemina se kladivem roztláče do stran a zhušťuje. Je možné provádět průpichy o průměru 45 až 180 mm (tabulka 5.10). S rozšiřovacím pláštěm je možné provádět průpichy až do průměru 300 mm.

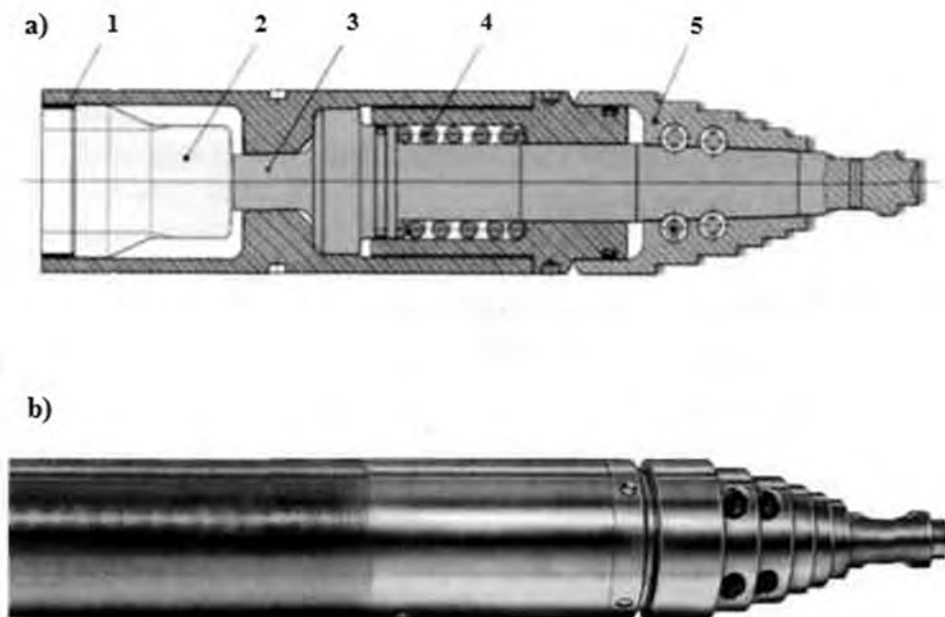
Tabulka 5.10 Technické parametry pneumatických propichovacích kladiv Grundomat (Tracto-Technik, Německo).

Průměr propichovacího kladiva [mm]	Délka [mm]	Hmotnost [kg]	Potřeba vzduchu [m ³ /min]	Počet úderů [min ⁻¹]
45	979	8	0,5	570
55	1103	13,5	0,6	510
65/65 k	1 323/1 029	25/17	0,7	470/640
75/75 k	1 443/1 243	34/28	1	420/520
85/85 k	1 540/1 350	46/40	1,1	390/460
95/95 k	1 732/1 532	64/57	1,2	315/380
110	1 685	96	1,6	280
130	1 750	117	2,6	350
145	1 986	168	3,3	330
160	2 002	198	4,2	330
180	2 150	260	4,5	280



Obr. 5.121 Schematické znázornění propichování zeminy zařízením Grundomat.

Propichovací kladivo se skládá z nárazového pístu s vodícím tělem, obvykle jde o válec s kónickou nebo stupňovou špicí, který prochází zeminou. Novým typem je **pneumatické propichovací kladivo s volným dlátem** (obr. 5.122); píst nejprve tluče na pohyblivou razící dlátovou hlavu a potom na tělo. Propichovací kladivo tak pracuje ve dvou taktech. Pneumatická propichovací kladiva mají také zpětný chod, což je výhodné, je-li třeba v případě velkých směrových odchylek kladivo z nedokončeného vrtu vytáhnout.



Obr. 5.122 Pneumatické propichovací kladivo Grundomat (Tracto-Technick, SRN).

a – schéma propichovacího kladiva s volným dlátem, b – pohled na tělo s dlátem, 1 – tělo kladiva, 2 – píst, 3 – kovadlina, 4 – pružina, 5 – dláto.



Obr. 5.123 Ukázka propichovacích kladiv typu Grundomat.

Jak vyplývá z tabulky 5.10, pohybují se délky propichovacích kladiv různých typů v rozmezí 0,9 až 2,15 m při vnějším průměru 45 až 180 mm. Pneumatickými

propichovacími kladivy lze prorážet v zeminovém masívu otvor průměru až do 250 mm. **Výkon kladiva výrazně ovlivňuje druh zeminy** v trase, nejlepší podmínky jsou v jílovitých a hlinitých zeminách, naopak nejhorší ve zvětralých skalních horninách a nehomogenních navážkách. **Zařízení Grundomat** používá nejčastěji průměry propichovacích kladiv DN 75 mm, 95 mm a 130 mm (obr. 5.123), tzn. do průměru chráničky 125 mm; startovací jámy mají rozměry 1,5 m × 0,6 m a 2 m × 0,6 m.

Nejčastěji jsou zatahovány plastové roury z PE, PE-X nebo PVC, popř. kovové (např. z oceli) nebo kabely všech druhů. Touto metodou lze bezvýkopovými metodami křížit dopravní cesty, provádět výstavbu domovních přípojek, podcházet překážky a podpořit jiné práce.

Pro jednoduchou manipulaci se nejvíce používají pneumatická propichovací kladiva při výstavbě domovních přípojek do vnějšího průměru 300 mm. Maximální délka, které je možné dosáhnout propichováním, je nejvýše 25 m (v optimálních geologických podmínkách až 40 m), propichovací výkon je nejvýše 15 m/hod. Minimální krytí se navrhuje 12 DN, avšak alespoň 1,50 m.

K propichování musí být **základová půda dostatečně stlačitelná**. Začíná se ve **startovací jámě** (obr. 5.121). Propichovací kladivo leží zpravidla na nastavitelném rámu. Prostřednictvím optického zařízení je namířeno na cíl a stroj je výškově a stranově nastaven. Propichovací kladivo razí pomocí pístu poháněného stlačeným vzduchem. K ražení je třeba povrchové plášťové tření. Není-li např. v nesoudržných zeminách dostatečné, potom se musí použít vnější statická podpora.

Podle způsobu zabudování vedení jsou k dispozici dvě varianty propichování:

1. okamžité zabudování trubky nebo kabelu,
2. dodatečné zabudování trubky nebo kabelu.

Okamžité zabudování

Okamžité zabudování vedení v kombinaci s propichováním je možné prostřednictvím:

- a. zatahování,
- b. zasouvání.

Při **zatahování** je roura nebo kabel uchycen upínacím kuželem na propichovací kladivo. Roury se při zatahování vzájemně spojují ocelovým lanem, které je protaženo skrz ně a na konci uchyceno do opěrné desky. Trubní vedení nebo kabel jsou zatahovány současně s propichovacím kladivem.

V druhém případě jsou trouby **zasouvány** přes tažné zařízení prostřednictvím lana uchyceného na konci zasouvané roury a současně k pevnému bodu např. v šachtě.

Okamžitým zabudováním rour (nezbytné v nesoudržných zeminách, kde by mohlo dojít k zavalení vytvořeného průpichu) se dosáhne lepší směrové přesnosti.

Dodatečné zabudování

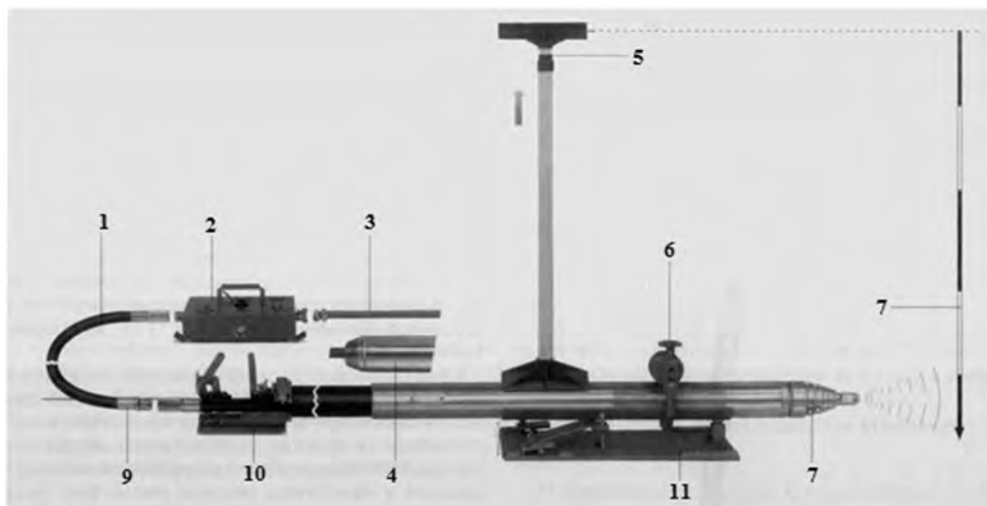
Tuto stavební metodu lze realizovat dvojím způsobem:

- a. **nezapaženým průpichem** s dodatečným ručním zabudováním vedení (zasunutím nebo zatažením),
- b. **nezapažený pilotní průpich s následným rozšířením rozšiřovací hlavou** a okamžitým zabudováním trub.

První postup je možný v zeminách, které po dobu, než dojde k zatažení trub, udrží tvar vrtu, neboť v první pracovní fázi je proveden nepažený vrt ze startovací do cílové jámy. Po vytažení propichovacího kladiva se ve druhé fázi ručně zasouvají nebo zatahují do provedeného vrtu trubky o menším průměru. Pro zasunutí nebo zatažení existují na trhu potřebná pomocná zařízení.

Druhý postup probíhá ve dvou fázích. V první fázi se provede nepažený pilotní průpich. Ve druhé fázi se na propichovací kladivo nasadí rozšiřující pouzdro a provede se rozšiřující průpich původní trasou. Ihned za propichovacím kladivem se zatahuje nebo zasunuje trubka. Výhody této varianty jsou:

- možnost výstavby různých průměrů vrtů jedním propichovacím kladivem,
- zjištění trasy potrubí zaměřením pilotního průpichu,
- možnost provlečení tažného lana v první fázi za propichovacím kladivem.



Obr. 5.124 Pneumatické propichovací zařízení (Tracto-Technik, Německo).

- 1 – tlaková hadice (s řídicí hadicí), 2 – řízení s nádrží na olej,
- 3 – tlaková hadice ke kompresoru, 4 – kónus pro zpětný chod,
- 5 – optické zaměřovací zařízení, 6 – naváděcí kladka, 7 – propichovací kladivo,
- 8 – nivelační lať, 9 – rychlospojka, 10 – upínací deska, 11 – nastavitelný rám.

Propichovací zařízení se skládá z propichovacího kladiva o délce 900 až 2 150 mm a vnějším průměru 45 až 180 mm. Dále k výbavě patří nastavitelný rám, optické zaměřovací zařízení, vzduchový kompresor, tlakové hadice, řízení pro chod

tam/zpět a počet úderů, nádrž na olej a ohříváč stlačeného vzduchu pro použití v zimě (obr. 5.124).

Na trhu jsou v současné době nabízeny různé typy propichovacích kladiv s různým provedením hlavy kladiva, která se nasazují podle druhu zeminy v trase. Pro pohon propichovacího kladiva se používá **stacionární nebo mobilní stavební kompresor** s provozním tlakem 0,6 až 0,7 MPa s výkonem 0,8 až 6 m³/min. Vzduch je do propichovacího kladiva dopravován od kompresoru flexibilní tlakovou hadicí.

Při teplotách ≤ 5 °C hrozí vzduchem poháněnému náradí zamrznutí. Při pohybu pístu uvnitř těla je vzduch stlačen a následně expanduje. Při tomto procesu je propichovací kladivo ochlazeno asi na -30 °C. Z tohoto důvodu se vřazuje mezi kompresor a propichovací kladivo **nádrž na plně syntetický olej**, který maže píst. Pro zabránění promrzání vnější části pláště kladiva se v ohříváči ohřívá stlačený vzduch na teplotu asi 120 °C.

Propichovací kladivo se používá především v **suchých nebo přirozeně vlhkých homogenních a stlačitelných zeminách**. Výkon propichování je závislý na druhu zeminy, zhutnění a použitém typu propichovacího kladiva. Průměrně se dosahuje 10 až 15 m/hod.

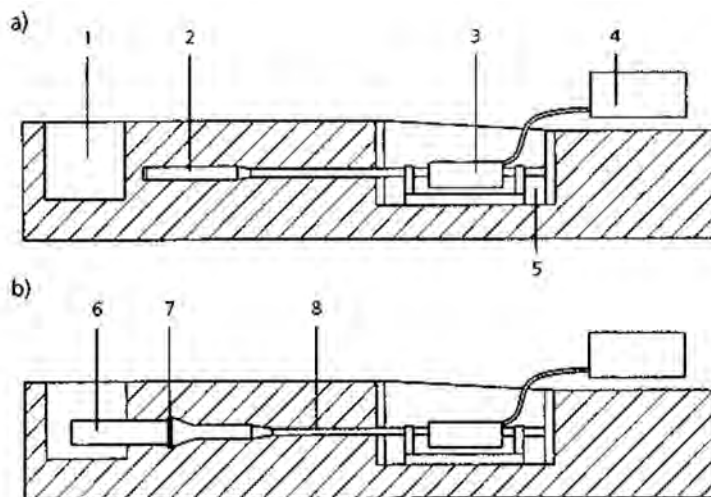
Hlavní předností pneumatického propichování je možnost nasazení z pracovních jam malých rozměrů (o šířce 600 mm a délce o 500 mm delší než je použité kladivo), jednoduchost zařízení, nenáročná obsluha, cenová dostupnost, rychlý pracovní postup, jednoduchá přeprava ze stavby na stavbu a schopnost prorazit i zdivo základů. Při nedosažení potřebného směru je možno kladivo vrátit a propichování zopakovat.

Nevýhodou je, že v nehomogenní zemině nelze zaručit přesnost vrtu (směr je dán nastavitelným rámem s vodíci prvky). Dále nelze propichovací kladivo směrově řídit v průběhu propichování. Z tohoto důvodu doplnili někteří výrobci propichovací kladivo vysílacím zařízením, pomocí něhož lze z povrchu určit místo, hloubku a směr propichování. V případě nedodržení směru je nutné propichovací kladivo zpětným chodem vytáhnout a udělit mu nový směr.

2. Vodorovně zatlačovaná vodící roura s rozšiřovací (roztlačovací) hlavou – hydraulické propichování

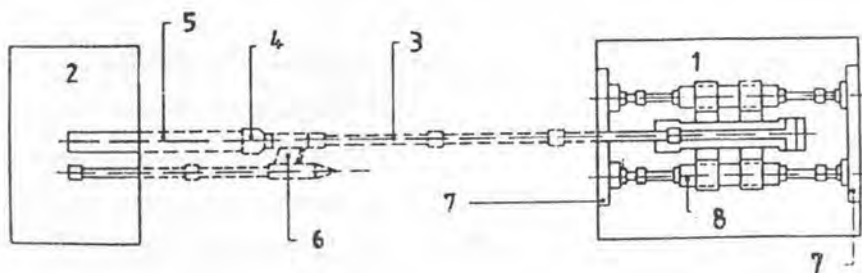
Při použití této metody je **zemina roztlačována zatlačováním tuhé vodící (pilotní) roury** a soutyčí. Vlastní potrubí je ukládáno zatahováním nebo zatlačováním za roztlačovací hlavou (obr. 5.125).

Metoda je použitelná pro ocelové a PE roury do jmenovité světlosti DN 300. Při propichování dochází k roztlačování zeminy působením statické síly. Propichovací hlava je uzavřená a navazuje buď na soutyčí, nebo na vlastní potrubí. Na roznos reakce od zatlačovací síly slouží tuhá opěrná konstrukce, osazená na zadní straně pracovní jámy. **Propichovací souprava** se skládá z tlačné stanice, tvořené obvykle dvěma dvojitými přímočarými hydromotory, hydraulického agregátu, sady lehce spojovatelných tlačných tyčí s propichovacími a rozšiřovacími hlavami, dvou rozpěrných desek a zaměřovacího zařízení. Přímo zatláčet lze jen ocelové potrubí, resp. chráničky.



Obr. 5.125 Princip metody s vodorovnou zatlačovanou vodicí rourou a s rozšiřovací hlavou.

- a – zatlačování vodicí roury, b – rozšiřování vrtu se současným zatahováním roury,
 1 – cílová jáma, 2 – tuhá vodicí (pilotní) roura, 3 – tlačný rám, 4 – hydraulické čerpadlo, 5 – startovací jáma, 6 – roura, 7 – rozšiřovací hlava, 8 – soutyčí.



Obr. 5.126 Hydraulické propichování lehkou soupravou.

- 1 – pracovní šachta, 2 – cílová šachta, 3 – soutyčí, 4 – rozšiřovací hlava,
 5 – zatahované potrubí, 6 – propichovací hlava, 7 – opěrná deska, 8 – hydromotor.

Po smontování a rozeprání propichovací soupravy v pracovní jámě se do zeminového masivu **zatlačuje propichovací hlava přichycená na soutyčí**, které se postupně nadstavuje. Délka jednotlivých tlačných tyčí je u některých souprav jen 1,0 m, takže soupravy mohou být nasazeny v pracovních jámách o délce menší než 2,0 m. To je výhodné zejména při práci ve stísněných městských podmínkách. Po dosažení cílové jámy se na soutyčí připevní rozšiřovací hlava, kterou se **vodicí otvor rozšiřuje za současného zatahování užitkového vedení nebo chráničky**. Roury, jejichž spoje nepřenesou tahové namáhání, mohou být do otvoru zasouvány. Pokud je třeba do zeminového masivu uložit více kabelů nebo souběžných trub, lze napojit na rozšiřovací hlavu další propichovací hlavu a současně se zatahováním potrubí prorážet souběžný otvor.

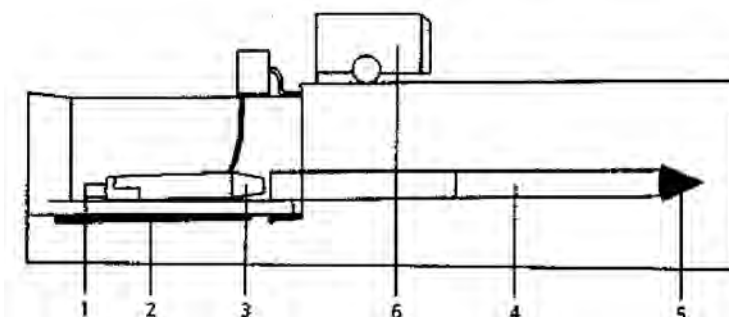
Propichovací soupravy lze úspěšně užít v homogenních zeminách, které neobsahují valouny větší než 60 mm, a to i pod hladinou podzemní vody. Do poloskalních a zvětřalých skalních hornin se nehodí. Nejlépe pracují při propichování otvorů o délce 15 až 20 m, ačkoliv v příznivých geologických podmínkách jsou realizovatelné průpichy o délce až 60 m. Limitující je požadovaná přesnost zatlačování. Rychlost se pohybuje podle geologických podmínek v trase a výkonu použitého čerpacího agregátu v rozmezí 1 až 8 m/hod. Propichovacími soupravami lze zabudovávat chráničky a potrubí z ocele, PVC, PE i kameniny průměru 70 až 200 mm a kabely.

Při práci je třeba dodržovat určitou minimální výšku nadloží, aby nedošlo k jeho zdvínání, resp. potrhání. Tato výška je závislá na průměru průpichu. **Problémem je dodržování požadovaného směru.** Pozornost je třeba věnovat zejména směrovému vedení vodící roury, protože později vzniklé odchylky již nelze odstranit. Aby se zmenšil odpor proti zatlačování v soudržných hlinitých a jílovitých zeminách, zemina se provlhuje tryskou umístěnou v propichovací hlavě. V sypkých zeminách se používá vibrátor.

3. Vodorovné beranění s uzavřeným čelem vodící roury - propichování vodorovným beraněním

Vodorovné beranění s uzavřeným čelem (hrotem) vodící protlačovací roury je metoda, při které se zaráží ocelová trubní výpažnice (chránička) pomocí energie beranidla (obr. 5.127). Zemina se uzavřeným čelem vodící trouby roztlačuje. Beranidlo je poháněno stlačeným vzduchem.

S uzavřeným hrotem vodící trouby se zarážejí trubky do průměru 300 mm. Maximální délka, které je možné dosáhnout pomocí této metody, je 20 m a je závislá na požadované přesnosti, ovlivňované geologickým prostředím. Rychlost beranění je ≤ 1 až 10 m/hod a závisí na typu beranidla, průměru potrubí a geologických podmínkách v trase. U vodorovného beranění s uzavřeným hrotem vodící trouby se navrhuje minimální krytí 12 DN, avšak minimálně 1,50 m.



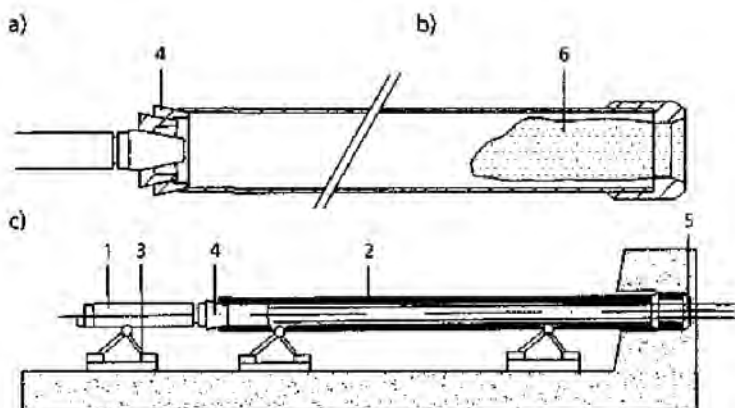
Obr. 5.127 Schéma metody vodorovného beranění s uzavřeným hrotem vodící roury.

- 1 - beranidlo, 2 - nastavitelný rám, 3 - přechodový kužel, 4 - ocelová trubní výpažnice (chránička), 5 - propichovací kuželový hrot, 6 - kompresor.

Metoda se používá pro přímé průpichy ve zhutnitelných zeminách i s výskytem podzemní vody. Výhodou zařízení je jednoduchost, jednoduchá obsluha a univerzálnost - beranit lze ve všech typech zemin a poloskalních hornin.

4. Vodorovné beranění s otevřeným čelem

Vodorovné beranění nebo protlak s otevřeným čelem je neřízená metoda, při které se otevřené ocelové potrubí chráničky zatlačuje beraněním (obr. 5.128 a 5.129) či tlačným agregátem.



Obr. 5.128 Schéma vodorovného beranění s otevřeným čelem.

a - detail kuželového adaptéru, b - detail řezné hlavy, c - celkové uspořádání,
 1 - pneumatické beranidlo, 2 - ocelová roura, 3 - nastavitelný rám (podpěry),
 4 - přechodový kuželový adaptér, 5 - řezná hlava, 6 - zemina.



Obr. 4.129 Zařízení pro vodorovné beranění s otevřeným čelem (Tracto-Technik, Německo).

1 - pneumatické beranidlo, 2 - přechodový kuželový adaptér, 3 - naváděcí rám
 s pneumatickým zvedacím zařízením, 4 - přitahovací lano, 5 - přívodní vysokotlaká
 hadice ke kompresoru, 6 - olejové mazací zařízení, 7 - uzavírací ventil.

Tím se roztlačuje z trasy potrubí jen menší část zeminy, větší část se do ní zatlačuje. Dosahuje se tak **zmenšení odporu zeminy proti vnikání potrubí a zmenšuje se nebezpečí nadzvednutí podloží**. Metoda je vhodná k zabudování silnostěnných ocelových chrániček do DN 1500. V optimálních geologických

podmínkách je použitelná také pro větší průměry, výjimečně až do DN 4000. Pak je třeba zvážit použití jiných metod (např. hydraulické protlačování, štítování), neboť silnostěnné ocelové trouby jsou velmi drahé.

Beranidlo poháněné vzduchem o přetlaku 0,6 až 0,7 MPa má válcovitý tvar s předním, resp. zadním kónusem pro připojení kuželového adaptéru, úderového segmentu nebo vyprazdňovacího kuželu, resp. adaptéru, které přenášejí síly mezi rourou a strojem (tabulka 5.11). Při použití vyprazdňovacího kuželu, resp. adaptéru se může dvěma otvory současně vysouvat a uvolňovat posouvající se zeminové jádro. Nasazením úderového segmentu se zabraňuje vnějšímu zalemování trubek, takže je možno svařit jednotlivé délky trub na tupý svar. U spirálovitě svařovaných trub musí být převýšený svar zabroušen na hloubku osazení segmentu, aby se zamezilo bodovému tlakovému zatížení.

Tabulka 5.11 Technické parametry beranidel Grundoram pro ocelové roury DN 50 až 2000 (Tracto-Technik, Německo).

Typ	Průměr stroje [mm]	Délka [mm]	Hmotnost [kg]	Potřeba vzduchu [m ³ /min]	Počet úderů [min ⁻¹]	Od DN roury [mm]
DAVID	95/112	1 460	59	1,2	345	50
MINI-ATLAS	125/140	946/250	60	1,7	580	50
ATLAS	130/145	1 453	95	2,7	320	50
TITAN	145/160	1 545	137	4,0	310	100
MINI-OLYMP	180/230	1 080/450	175	3,5	500	100/200
OLYMP	180/195	1 690	230	4,5	280	100
HERKULES	216/235	1 913	368	6,5	340	120
MINI-GIGANT	270/330	1 230/450	460	10,0	430	200/300
GIGANT	270/330	2 010	615	12,0	310	200
KOLOSS	350/400	2 341	1 180	20,0	220	280
GOLIATH	450/510	2 852	2 465	35,0	180	380
TAURUS	600/670	3 645	4 800	50,0	180	380
APOLLO	800/900	4 400	11 500	100,0	180	600

Na čelo beraněné roury se nasazuje **ocelová otevřená řezná patka**, která rouru vyztužuje a vytváří nadvýlom zmenšující tření roury o zeminu. Beranidlo zaráží roury do zeminy údery na kuželovou zátku zasunutou do konce roury. Beraněné roury jsou naváděny do zeminy v požadované výšce a sklonu a vlastní beranidlo je přitahováno systémem lan a kladek k rourám.

Z beraněných trub se zemina odstraňuje:

- a. kontinuálně,
- b. cyklicky (záběr 3 až 6 m).

Při **kontinuální těžbě** jsou po obvodu zátky šterbiny, přes které je možné zeminu vyplavovat.

Při **cyklické práci** je zemina z potrubí odstraňována proudem tlakové vody, odsáta prostřednictvím sacího bagru, šnekovým dopravníkem, odstraněna ručně nebo pomocí minibagru. Ve všech případech se musí přerušit beranění roury a odstranit úderový segment.

Do jmenovité světlosti DN 500 je v souladu s odpovídajícím bezpečnostním opatřením přípustné vyprazdňovat výhradně **stlačeným vzduchem**. U většího průměru trub se vyprazdňuje ručně, pomocí speciálního nářadí. Je však nutno dodržovat návod výrobce na obsluhu.

Po zaberanění celé ocelové roury se provádí dočištění vnitřní části trouby:

- tlakovým vzduchem,
- tlakovou vodou,
- hydraulicky poháněným čisticím zařízením.

Při odstraňování zeminy pomocí tlakového vzduchu se ocelová roura v cílové šachtě uzavře uzavírací zátkou v kombinaci s bezpečnostní tyčí a ostříkuje se tlakovým vzduchem max. 0,7 MPa.

V zeminách, které kladou proti beranění potrubí velký odpor, je možné nejdříve předrazit v zemině vodící otvor pneumatickým propichovacím kladivem a potom beranit vlastní potrubí. Minimální krytí se navrhuje na 2 DN, alespoň však 1,0 m. Rychlost beranění se pohybuje v rozmezí 5 až 20 m/hod. Metoda je použitelná v zeminách a v lehce rozpojitelých poloskalních horninách, bez přítomnosti podzemní vody.

Beraní se pouze ocelové roury, a to s větší tloušťkou stěny než je tloušťka stěn u ostatních metod protlačování (tabulka 5.12). Z tohoto důvodu je metoda vodorovného beranění použitelná při výstavbě stokových sítí jen pro pokládku chrániček.

Tabulka 5.12 Doporučená minimální tloušťka stěny ocelové roury v závislosti na jejím průměru při vodorovném beranění (Stein, 2003).

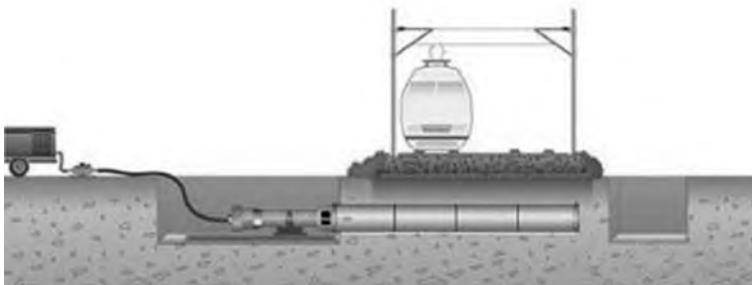
Průměr roury [mm]	Minimální tloušťka stěny roury ¹⁾ [mm]
< 350	6
350 – 800	9
800 – 1 200	12
≥ 1 200	16

¹⁾ Při protlačování přes 50 m se uvedené hodnoty pro tloušťku stěny zvyšují o 25%.

Strojní zařízení se skládá z kladiva s úderným kuzelem nebo segmentem, v případě větších profilů z horizontálního beranidla, které je poháněno vzduchem. Dále ho tvoří naváděcí rám (může být spojen se vzduchovým zvedacím vakem a popruhy), naváděcí zařízení, stavební vzduchový kompresor, tlakové vzduchové hadice, nádoba na olej, zařízení pro ohřev vzduchu v zimě, nástroj pro odstraňování zeminy z ocelové trouby, zvedák pro montáž, provoz a demontáž a svářecí přístroj.

Pro pohon propichovacího kladiva nebo beranidla je nutný **stacionární nebo mobilní stavební kompresor** s výkonem 0,8 až 6 m³/min. Vzduch je dopravován od kompresoru do kladiva nebo beranidla flexibilní tlakovou hadicí.

V závislosti na průměru ocelové roury se používají různá kladiva a beranidla o průměru 95 až 600 mm a délce 1,50 až 3,65 m. Ve speciálních případech, v místech, kde je nedostatek místa a malé startovací jámy, se mimo jámu zasune do trouby 1,00 až 1,20 m dlouhé beranidlo a společně s rourou se spustí do jámy a nasměruje.



Obr. 5.130 Beranění ocelových trubek zařízením Grundoram Gigant a Grundoram Olymp - průměr chráničky v rozsahu 200 – 800 mm; startovací jáma 9 m × 2 m.

Pro snížení odporu proti zarážení, který je dán třením jak na vnějším povrchu chráničky, tak na její vnitřní stěně (plášťové tření může např. v ulehých nesoudržných horninách dosáhnout hodnot 10 až 50 kPa), může být ocelový břit trouby osazen **vnější nebo vnitřní řeznou patkou**. Provedení řezné patky je řešeno individuálně každým výrobcem. Tloušťka vnitřní a vnější řezné patky odpovídá zpravidla tloušťce stěny zatlačované trouby.

Podstatné snížení plášťového tření umožňuje mazací **bentonitová injektáž**. Bentonitová mazací suspenze se přivádí do čela roury do speciální mazací hlavy, a to prostřednictvím navařených trubek.

Při vodorovném beranění se zabudovávají ocelové roury (podélně nebo spirálově navařené) nebo ocelové roury s různým typem **vnější ochrany**, využívané jako **ochranné roury a trubní kanály** v zeminách mimo jemnozrnné písky, rašeliny a skalní horniny. Ocelové roury s cementovou vrstvou nemohou být beraněny, neboť dynamický účinek od beranidla tuto vrstvu zničí. V silně bobtnavých zeminách je použití vodorovného beranění s otevřenou přídí možné omezeně.

V závislosti na hydrogeologických podmínkách, podle hladiny podzemní vody a druhu zeminy, mohou být použita pomocná a dodatečná opatření, např. snižování hladiny podzemní vody. Přesto může docházet k nekontrolovaným vtokům zeminy a podzemní vody do příděl.

Při beranění lze v závislosti na druhu zeminy a průměru roury dosáhnout délky až 100 m, v homogenních zeminách i více. **Optimální pro otevřené beranění** jsou roury jmenovitě světlosti DN 800 až 1000, menší průměry se u silných beranidel lehce vychylují.

Rychlost beranění dosahuje zpočátku nejvyšších hodnot (5 až 20 m/hod) a v průběhu beranění klesá v závislosti na vnějších faktorech.

5. Metody vodorovného vrtání

Metody vodorovného vrtání patří mezi metody s odběrem zeminy. Vodorovné vrtání se rozděluje podle pracovního principu (tabulka 5.13) na:

- vrtání s dodatečným zatahováním trub,
- vodorovné vrtání se současným zatlačováním trub.

Tabulka 5.13 Přehled metod neřízeného vodorovného vrtání (Stein, 2003).

Metoda	Průměr roury, popř. vyvrtaného otvoru [mm]	Délka vrtu [m]	Rychlost vrtání [m/hod]	Minimální krytí [m]	Možnost nasazení
s dodatečným zatahováním trub	90 - 220	≤ 20	1 - 15	1,0	přímé vrty, homogenní, soudržné zeminy, bez podzemní vody
se současným zatlačováním trub	≤ 1500	≤ 100	1 - 12	2 DN, min. 0,80	přímé vrty, zeminy a poloskalní horniny, bez podzemní vody

a. Vodorovné vrtání s dodatečným zatahováním trub

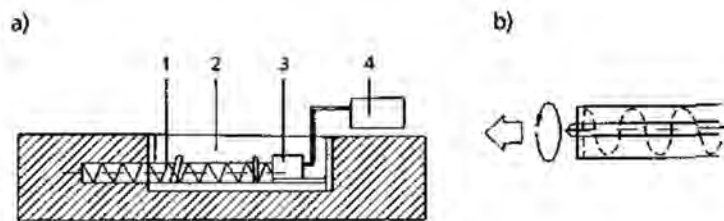
Při této metodě je **zemina uvolňována rotující hlavou a plynule odstraňována šnekovým dopravníkem**. Po dokončení vrtu a vytažení šnekového vrtného soutyčí jsou následně trouby zataženy nebo zatlačeny do vrtu.

K vybavení soupravy náleží **vrtná souprava s posunem na rámu**, vrtná hlava, šnekové vrtací soutyčí a hydraulická pohonná stanice s dieselovým nebo benzinovým agregátem. Tato metoda se používá v homogenních stabilních zeminách bez podzemní vody pro nevypažené vrtání v rozsahu průměru 90 až 220 mm.

Smyková pevnost zeminy musí zajistit, aby nedocházelo ke zborcení vrtu. **V nestabilních zeminách je nasazení této metody neefektivní**. Maximální délka vrtu dosahuje 20 m. Směrová přesnost je ovlivněna velikostí a provedením vrtné hlavy a velikostí maximálního těženého zrna. Nadloží by mělo být minimálně 1,0 m. Rychlost vrtání je závislá na průměru vrtu, druhu zeminy a pohybuje se mezi 1 až 15 m/hod. Metoda se v současnosti používá velmi zřídka.

b. Vodorovné vrtání se současným zatlačováním trub

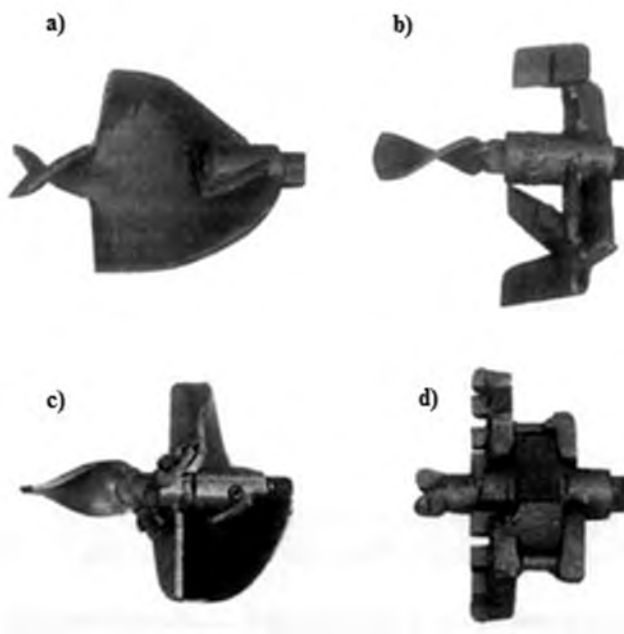
Při této metodě **je zemina uvolňována rotující vrtnou hlavou a plynule odstraňována šnekovým dopravníkem. Současně a nezávisle na šnekovém dopravníku jsou protlačovány roury** (obr. 5.131). Metoda je vhodná do soudržných a nesoudržných zemin bez přítomnosti podzemní vody.



Obr. 5.131 Vodorovné vrtání se současným zatlačováním trub.

a – schéma metody, b – detail vrtné hlavy, 1 – ražba vrtnou hlavou a šnekovým dopravníkem, 2 – startovací jáma, 3 – tlačný a vrtný agregát, 4 – hydraulické čerpadlo.

Metoda neumožňuje během protlačování měnit a korigovat směr. Přesnost realizace závisí na přesnosti zapíchnutí první roury a přesnosti navaření dalších trub na první vodicí rouru. Je proto nutné zabezpečit v pracovní jámě **spolehlivé směrové vedení zatlačovaných trub**. Toho se dosáhne zpravidla jejich uložením na rektifikovatelné podložce naváděcího rámu a přidržováním trub ve vodicím portálu. Někteří výrobci dodávají vrtné soupravy s omezenou možností řízení.



Obr. 5.132 Konstrukční řešení vrtných hlav s dláty.

a – spirálová vrtná hlava do písku, b – do štěrku, c – do jílovitých zemin, d – do poloskalních a skalních hornin.

Volba typu soupravy k vodorovnému vrtání je závislá na požadované délce a průměru vrtu, které ovlivňují požadavky na výkon pohonného motoru. Konstrukční uspořádání souprav má být takové, aby umožňovalo protlačovat v určitém rozmezí roury různých průměrů.

Vrtná souprava sestává z tlačné stanice, kterou tvoří základní a prodlužovací rám, a dále z opěrné desky, vrtného a tlačného hydromotoru, vrtné hlavy, šnekového dopravníku, vysokotlakých hydraulických hadic a hydraulického agregátu.

Volba typu vrtné hlavy je ovlivněna geologickými podmínkami v trase. Vrtné hlavy (obr. 5.132) se dělí na:

- a. vrtné hlavy do zemin a poloskalních hornin,
- b. vrtné hlavy do skalních hornin.

Při použití do **skalních hornin** musí být pro dosažení optimálního výkonu vrtná hlava osazena valivými dláty, jejichž počet se volí v závislosti na průměru roury.

Další součástí vybavení vrtné soupravy je **zařízení pro rychlé zpětné vytažení šneků a vrtné hlavy**. Toto zařízení je poháněno hydraulickým agregátem. Dosahuje tažné síly až 40 kN a rychlosti vytahování 11 m/min.

Vodorovné vrtání se současným zatlačováním trub se používá ve všech druzích zemin a v lehčích typech skalních hornin. Metodou je možné zabudovávat ocelové, železobetonové, polymerbetonové, kameninové a plastové trouby průměrů DN 150 až 1500 a délek zpravidla do 60 m. Nejvýkonnějšími soupravami lze realizovat úseky o délce více jak 100 m, ale jen v homogenních zeminách bez výskytu překážek v trase, které by mohly způsobit vychýlení trub z požadovaného směru. Hranice použitelnosti těchto metod vyplývají z dosažitelné délky protlaku, průměrů ztláčených rour, geologických a hydrogeologických podmínek na trase a požadované přesnosti ztláčení. Metody byly vyvinuté **pro výstavbu krátkých úseků potrubních a kabelových vedení** pod silničními a železničními komunikacemi a jinými překážkami a v této oblasti se i plně osvědčují.

Čistá průměrná rychlost vodorovného vrtání je 1 až 10 m/hod. Celková rychlost je podstatně nižší, protože vlastní vrtání zabere zpravidla jen 15 až 25 % pracovního času – zbytek připadá na ztrátové časy (přemísťování soupravy v pracovní jámě, osazování a sváření trub atd.). Metoda je použitelná jen při výstavbě přímých úseků trubních vedení. Výška nadloží musí být minimálně 1,0 m.

Je žádoucí, aby v případě potřeby **bylo možné vrtnou hlavu z potrubí vytáhnout a vyměnit za jinou**, např. mění-li se geologické podmínky v trase. V neulehlých zeminách se doporučuje vrtat bez přerušení, aby se co nejvíc omezilo sedání nadloží a vtláčování zeminy do čela roury. Při vrtání pod hladinou podzemní vody je třeba přijmout další doplňující opatření.

Vodorovné vrtání je ve vyspělých státech **nejrozšířenější neřízenou metodou** zabudovávání ocelových chrániček a trub neprůlezných a průlezných profilů.

Soupravy pro vodorovné vrtání lze rozdělit do dvou skupin:

1. **Lehké, jednoduché soupravy stavebnicové konstrukce**, určené pro realizaci krátkých úseků (délky do 20 až 30 m) pod silničními a železničními komunikacemi v nenáročných geologických podmínkách. Vrtné zařízení má energeticky málo náročný pohon, takže jeho provoz je

velmi hospodárný, ale souprava nedokáže překonat případnou překážku v trase.

- 2. Robustní, výkonné soupravy** s vrtnou hlavou poháněnou elektromotorem síly několika desítek kW, které při volbě vhodného typu vrtné hlavy dovedou spolehlivě pracovat i v obtížných geologických podmínkách, kdy se v trase vrtu nachází i větší valouny a stavební odpad. Soupravy jsou schopné realizovat dlouhé vrty, ale jsou konstrukčně a energeticky mnohem náročnější.

Rotačně příklepné vrtání

Při **rotačně příklepném vrtání proniká vrtná hlava s nárazovým kladivem do zeminy** spolu s chráničkou nebo bez ní. Uvolněná zemina se odstraňuje mechanicky, hydraulicky nebo pneumaticky. Těto charakteristice odpovídá široké spektrum různých technologií s různým strojním zařízením, např.:

- rotačně příklepné vrtání s výnosem materiálu pomocí kapaliny bez pažnice,
- rotačně příklepné vrtání s výnosem materiálu vzduchem bez pažnice.

Rotačně příklepné vrtání se běžně používá **jen se současným zatlačováním ocelové roury**. V současné době se používají dva typy zařízení, a to s **centricky a excentricky pracující vrtnou hlavou**. Vrtná hlava je osazená noži z tvrdokovu nebo dláty.

Zařízení se skládá z tlačné stanice, kterou tvoří základní a prodlužovací rám, opěrné desky, tlačné mezikusy, vrtné a tlačné hydromotory a ovládací panel. Další součástí je nárazové kladivo s vrtnou hlavou, vrtné tyče, popř. vynášecí šneky, hydraulický agregát s hadicemi, vzduchový kompresor s tlakovými hadicemi, zvedací zařízení pro montáž, provoz a demontáž (např. bagr) a svářecí agregát.

Tato metoda se používá v zeminách bez podzemní vody. Je **vhodná do nehomogenních zemin** s častým výskytem valounů, balvanů a jiných překážek s jednoosou pevností v tlaku do 200 MPa.

6. Použitelnost metod neřízeného mikrotunelování

Hlavní **výhodou neřízených metod mikrotunelování** je konstrukční jednoduchost příslušných zařízení, a tím i nízké pořizovací náklady. Soupravy jsou nenáročné na obsluhu, mohou být rychle přemístěny ze stavby na stavbu, smontovány a demontovány. Jsou nenáročné i na spotřebu elektrické energie, resp. spotřebu vody. Jejich použitelnost je však omezena.

Hranice použitelnosti těchto metod vyplývají z dosažitelné délky protlaku, průměrů zatlačovaných trub, geologických a hydrogeologických podmínek v trase a požadované přesnosti zatlačování. Metody byly vyvinuty pro výstavbu krátkých úseků trubních a kabelových vedení pod silničními a železničními komunikacemi a jinými překážkami a v této oblasti se i plně osvědčují. Nebezpečím při jejich nasazení je však **vytlačování nadloží**. S výhodou se používají při výstavbě kabelových vedení a domovních přípojek trubních vedení. Vyhovující přesnosti se

však dosahuje **jen na krátkých vzdálenostech** – max. do 35 m. Pouze při práci v **homogenních zeminách bez výskytu pevných překážek** jsou dosažitelné při požadované pevnosti i větší délky. Zařízení nelze nasadit do skalních hornin a nestlačitelných zemin. Pneumatická propichovací kladiva se nehodí k práci pod hladinou podzemní vody.

Soupravy pracující na principu protlačování lze použít ve všech druzích zemin a pro roury jmenovité světlosti DN 150 až 1500 (v případě kratších úseků i při větších průměrech). Výstavba je proti propichování nákladnější, pracnější a zpravidla pomalejší. Protože **soupravy nemají zařízení pro trvalou kontrolu a korekci směru**, dosažená přesnost protlačování závisí především na zkušenosti a svědomitosti pracovníků. Metody protlačování jsou uplatňovány především v homogenních zeminách bez výskytu překážek. Soupravy vyžadují zpravidla větší rozměry pracovních jam než při propichování a pevné opěrné stěny na roznesení relativně velkých reakcí od protlačovací síly do zeminového masivu. V případě propustných zemin pod hladinou podzemní vody jsou tyto metody použitelné jen s uplatněním pomocných opatření. Protlačovat je možné zásadně jen přímé úseky.

5.2.4.2 METODY ŘÍZENÉHO MIKROTUNELOVÁNÍ

Při těchto metodách je **podzemní vedení zatačováno nebo zatahováno do zeminového masivu s možností úprav směru po dobu zabudovávání**, proto se tyto metody hodí především pro výstavbu dlouhých úseků nebo úseků s předepsanou přesností položení, jako např. v případě stok o předepsaném sklonu. Podle pracovního principu rozdělil Stein (2003) řízené metody bez obsluhy na čelbě na:

- a. metody s roztlačováním zeminy:
 - metoda s řízeným propichovacím kladivem,
 - metody vodorovného vrtání s nárazovým kladivem,
 - metoda pilotního vrtu s roztlačováním zeminy,
- b. metody s odběrem zeminy:
 - protlak s vodící rourou (vrtání s vodícím vrtem),
 - mikrotunelování:
 - se šnekovým dopravníkem,
 - s hydraulickým odstraňováním zeminy,
 - s podtlakovým odstraňováním zeminy,
 - s jiným mechanickým odstraňováním zeminy,
 - směrové vrtání (popis metody je uveden samostatně v kapitole 5.2.4.6).

1. Použitelnost metod

Po poznání **hranic použitelnosti neřízených metod**, hlavně co do délky a přesnosti směrového vedení, začaly být od poloviny 70. let minulého století

rozvíjeny řízené metody. **Řízené mikrotunelovací soupravy** byly nejprve vyvíjeny v polovině 70. let v Japonsku a později, od roku 1982, v Německu. Vývoj byl směřován především do oblasti výstavby kanalizace.

V současné době je na trhu velký počet komplexně vybavených řízených souprav, které se podle konstrukce a způsobu řízení velmi odlišují. Vývoj šel dvěma směry: cestou zdokonalení a vývoje neřízených souprav a vývoje nových strojních zařízení.

2. Způsoby řízení

Vlastností řízených metod je, že **roury a kabely kopírují trasu vrtné hlavy**, příklepového kladiva nebo řezného štítu. Všechny odchylky od požadovaného směru, k nimž během vrtání, propichování, resp. protlačování došlo, zůstanou proto v trase trubního nebo kabelového vedení trvale zakonzervovány. Při protlačování ocelových chrániček nemusejí být větší odchylky nedostatkem, protože mohou být vyrovnány při ukládání trub užitkového vedení do chráničky. Pokud jsou však protlačovány přímo roury užitkového vedení (např. kanalizační trouby o volné hladině), je potřebné dodržet požadované sklony uložení trub a zabránit zvlnění úseků. Maximální horizontální a vertikální odchylky jsou uvedeny v projektové dokumentaci.

Pro **zabezpečení řízené metody** musí být k dispozici toto vybavení:

- a. zařízení pro vytyčení trasy a vyhodnocení polohy čela potrubí,
- b. strojní vybavení, které umožňuje korigovat zjištěné odchylky.

Pro vytyčení trasy a vyhodnocení polohy se používají tato geodetická zařízení:

- optická a laserová měřicí zařízení (pro vertikální a horizontální odchylky),
- gyroskopy (měření horizontální odchylky),
- hadicové vodováhy (měření relativní výšky),
- inklinometry, mechanická kyvadla (měření sklonu),
- přístroje pro měření vzdálenosti,
- satelitní navigace.

K měření vertikálních a horizontálních odchylek se v praxi nejčastěji používají optické teodolity, směrové lasery a totální stanice. Laserové přístroje se osazují do pracovních šachet a jimi vysílané laserové paprsky jsou nasměřovány na cílový terč situovaný v zadní části řízené vrtné hlavy, resp. štítu. V celém zatlačovaném trubním úseku musí být proto prostor bez překážek pro laserový paprsek. Tento prostor se volí buď v horní části protlačovaných trub, v duté části pilotního vrtu nebo v duté hřídeli šnekového dopravníku. Velkou pozornost je třeba věnovat uložení přístrojů v pracovní šachtě, aby výsledky měření nebyly ovlivněny deformacemi a vibracemi při práci a jejich přesnému osazení.

3. Varianty řízených metod

Při bezvýkopové pokládce trubního vedení řízenými metodami se používají následující postupy:

- a. jednofázový postup výstavby,
- b. dvoufázový postup výstavby,
- c. třífázový postup výstavby.

a) Jednofázový postup výstavby

Při **jednofázovém postupu výstavby** je zatlačené nebo zatažené trubní vedení bezprostředně za vrtnou hlavou, za protlačovacím strojem nebo štítem. Podle požadované délky protlačování se rozeznávají:

- **výstavba krátkých úseků** – maximálně do 100 m, při kterých se uplatňují metody řízeného propichování a mikrotunelování s odstraňováním zeminy šnekovým dopravníkem;
- **výstavba dlouhých úseků** – delších než 100 m, při kterých se uplatňuje především metoda mikrotunelování s hydraulickým odstraňováním zeminy.

Tato varianta mikrotunelování se vyznačuje velkou rychlostí výstavby a malou pracností, protože se do zeminového masivu **zabudovávají roury užitkového vedení přímo**. Nevýhodou je, že pokud vrtná hlava nebo štít narazí na překážku, nemohou být vytaženy zpět. Překážku je nutné odstranit výkopem z povrchu. Vnější průměr protlačovací roury musí být stejný nebo menší než vrtná hlava nebo plášť štítu. Přípustná maximální protlačovací síla je dána únosností trubního materiálu, spoje, průměrem a tloušťkou stěny trouby.

b) Dvoufázový postup výstavby

Dvoufázový postup výstavby je charakteristický tím, že **v první fázi** se protlačuje úsek dočasnou chráničkou z ocelových trub. **Ve druhé fázi** se zabuduje trubní vedení zatlačováním nebo zatažením při současném vytažení nebo vytlačení dočasné chráničky do cílové šachty pomocí adaptéru, na kterém jsou připevněny trouby. Vnější průměr trub musí být stejný nebo menší než použitá dočasná chránička.

Hlavní **výhodou dvoufázového postupu výstavby** je možnost přesného vyhodnocení protlačovací síly pro zatlačení samotného trubního vedení, neboť se už nemusí počítat s odporem na řezné hraně proti vniknutí a odporem způsobeným vlivem nepředvídaných překážek a dalších okolností. Další výhody jsou:

- v případě, že vrtná hlava narazí na překážku, je možné ji společně s dočasnou ocelovou chráničkou vytáhnout zpět do pracovní šachty;
- protože se používají dočasné chráničky s upravenými spoji a rychlospojkami se spojují také šnekové dopravníky umístěné v nich, jejich montáž je rychlá a jednoduchá;

- při zabudovávání trubního vedení z nekovových materiálů je možné současně zatahovat vyhledávací kabel, který slouží následně k identifikaci polohy.

Nevýhodou dvoufázového postupu výstavby je větší pracnost a prodloužení doby výstavby než u jednofázového postupu. Výhodou je možnost zabudovávání trub s nižší únosností v axiálním tlaku bez nebezpečí jejich poškození po dobu zabudovávání.

U protlaků s vodící rourou se používají dvoufázové a třífázové postupy výstavby. U dvoufázového postupu výstavby se v první fázi protlačuje pilotní vodící roura a ve druhé fázi se provede rozšíření pilotního vrtu rozšiřovací hlavou při současném zatlačování trub a vytahování nebo vytlačování pilotního vrtného soutyčí s vodící rourou.

c) Třífázový postup výstavby

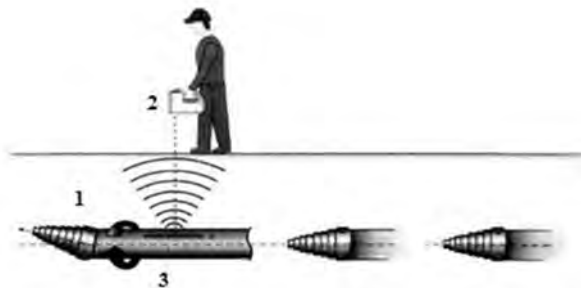
U třífázového postupu výstavby se v první fázi protlačí vodící roura. **Ve druhé fázi** se provede rozšíření pilotního vrtu rozšiřovací hlavou při současném zatlačování dočasné ocelové chráničky a vytažení nebo vytlačení pilotního vrtného soutyčí s vodící rourou. **Ve třetí fázi** se zatlačí nebo zatáhnou roury, při současném vytažení nebo vytlačení dočasné chráničky s pomocí přechodového adaptéru. Vnější průměr roury musí být stejný nebo menší než dočasná chránička.

4. Metody s roztlačováním zeminy

Při těchto metodách se zemina z trasy vrtu roztlačuje do okolí. Metody se podle pracovního principu rozdělují na:

- a. metoda s řízeným propichovacím kladivem,
- b. vodorovné vrtání s nárazovým kladivem.

a) Metoda s řízeným propichovacím kladivem



Obr. 5.133 Princip řízení propichovacího kladiva (Tracto-Technik, Německo).

1 – natáčecí hlava, 2 – přijímač, 3 – vysílač.

Metoda s řízeným propichovacím kladivem principiálně odpovídá metodě popsané v kapitole 5.2.4.1. Řízení je zajišťováno pomocí **propichovacího kladiva se zkoseným čelem**. V kladivu je umístěn vysílač, který předává na povrch obsluze

informace o poloze, hloubce, sklonu a natočení kladiva. Změna směru propichování se provádí natočením kladiva prostřednictvím otáčení tlakové hadice otočným zařízením na povrchu (obr. 5.133).

Touto metodou je možné zatáhnout PE trubky o průměru do DN 63 a do délky 70 m. Minimální poloměr oblouku, který lze realizovat, je 27 m.

b) Vodorovné vrtní s nárazovým kladivem

Tato metoda představuje **kombinaci otáčivého a nárazového propichování**. Zahrnuje tyto pracovní kroky:

- vrtání pilotního vrtu,
- rozšiřování vrtu rozšiřovací hlavou,
- zatahování trubního vedení.

Tak jako při pilotním vrtání, tak i při rozšiřování vrtu dochází k roztlačování zeminy, a to ve třech fázích:

- **1. fáze - vrtání pilotního vrtu.** Po vytyčení trasy a nivelity pro pokládané vedení se provede nejdříve pilotní vrt. K tomuto účelu se ustaví vrtné zařízení ve startovací jámě nebo na povrchu pod sklonem 5 až 15°. Po dosažení požadované hloubky se vrtná hlava nasměruje do předepsaného směru a sklonu. Kladivo je poháněno tlakovým vzduchem, který je veden dutým vrtným soutyčím.
- **2. fáze - rozšiřování vrtu.** Tato fáze je charakterizována jedno- nebo vícenásobným zpětným zatahováním rozšiřovacího kladiva až do průměru 250 mm. Rozšiřovací kladivo je taženo soutyčím. V případě, že první rozšíření odpovídá průměru vtahované trouby, je roura volně uchycena přes adaptér na rozšiřovací kladivo. V případě vícenásobného rozšiřování se na rozšiřovací kladivo připojuje tažné soutyčí.
- **3. fáze - zatahování trub.** Při posledním rozšíření se za rozšiřovací kladivo připojí zatahované roury, které se zatáhnou do startovací jámy.

Vrtné zařízení se skládá z vodícího rámu, popř. vrtného stroje na podvozku, řídicího a navigačního systému, vrtných trubek s upraveným kladivem, rozšiřovacího kladiva, pohonného agregátu, vzduchového kompresoru s provozním tlakem 0,7 až 1,2 MPa s výkonem min. 2,8 m³/min, tlakovými hadicemi, vodní nádrže s čerpadlem a hadicemi.

Podle velikosti vrtného zařízení nebo rámu se používají vrtné trubky o délkách 0,5; 1,0; 2,0 nebo 3,0 m. V suchých zeminách lze pro snížení tření přidávat do stlačeného vzduchu malé množství vody (až 4,7 l/min).

Vrtní s nárazovým kladivem je vhodné do suchých nebo vlhkých stlačitelných nesoudržných zemin. Metodou lze provádět vrty do průměru 250 mm. Maximální délka vrtu je do 100 m. Zatahuje se jedno nebo více vedení jmenovité světlosti až do DN 180. Při použití standardních vrtných trubek o délce 2 m a průměru 44 mm je možné vrtat v oblouku o poloměru ≥ 20 m. Magnetický navigační systém umožňuje řídit vrtání až do hloubky 5,0 m. Přesnost pokládky

je závislá na hloubce a dosahuje odchyly ve vertikálním směru 20 až 30 mm a v horizontálním směru 50 mm. K obsluze zařízení stačí dva pracovníci. Rozměr jámy u vrtného rámu při použití trubek o délce 1,0 m je 1,65 × 1,0 m. Při použití trubek o délce 0,5 m je rozměr jámy 1,12 × 1,0 m

5. Protlak s vodící rourou

Protlak s vodící rourou (vrtání s vodícím vrtem) je více stupňová metoda. **V první fázi** je přesně protlačena říditelná tuhá vodící (pilotní) roura. **V následujících etapách** se tento vodící vrt rozšiřuje a za ním jsou protlačovány roury roztlačováním nebo odstraňováním zeminy (obr. 5.134). Minimální krytí by mělo být minimálně shodné s DN, a to alespoň 1,0 m.

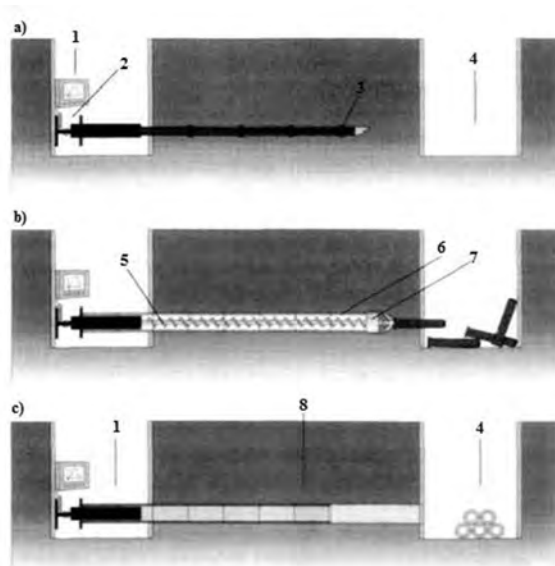
Při protlaku s vodící rourou se používají dva způsoby pokládky trub:

- a. zatlačování nebo vsunutí trub po rozšíření pilotního vrtu,
- b. zatažení trub po rozšíření pilotního vrtu.

Při zatlačování nebo vsunutí trub po rozšíření pilotního vrtu se při dvoufázovém postupu roury zatlačují nebo zasouvají současně s rozšiřováním pomocí tlačné stanice. **Při třífázovém postupu** se pomocí tlačné stanice zasouvají trouby za současného vysouvání ocelové pažnice. Ve výjimečných případech je tato fáze kombinovaná s rozšiřováním vrtu, tzn., že za současného vysouvání ocelové pažnice jsou roury zatlačovány do vrtu.

Pod pojmem zatažení trub po rozšíření pilotního vrtu se rozumí, že v první fázi se provede pilotní vrt a ve druhé fázi se zatahují roury současně s rozšiřováním vrtného otvoru.

- **Protlak s vodící rourou s dvoufázovým protlačováním s následným zatlačením nebo zasunutím trub.** V současné době je prováděn pro DN 150 až 1000. Délka protlačování se pohybuje do 100 m, přičemž se jedná o přímé protlačování. Metodu lze aplikovat ve zhutnitelných zeminách bez výskytu podzemní vody.
- **Protlak s vodící rourou s třífázovým protlačováním s následným zatlačením nebo zasunutím trub.** V současné době je prováděn pro DN 150 až 300 (ve výjimečných případech do DN 1000) a délky do 80 m v přímé trase. Metodu lze aplikovat v neulehlých zeminách a také pod hladinou podzemní vody s max. 3 m hydrostatickým tlakem. V tomto případě je však nutné další technické vybavení.
- **Protlak s vodící rourou s dvoufázovým protlačováním a s následným tažením trub** je v současné době prováděn do DN 700. Délka protlačování se pohybuje do 150 m, přičemž se jedná o přímé protlačování. Metodu lze užít ve zhutnitelných zeminách.



Obr. 5.134 Protlak s vodící rourou.

a – protlačování vodící (pilotní) roury, b – rozšiřování vrtu, c – zatlačování trub,
 1 – startovací šachta, 2 – tlačná stanice, 3 – vodící (pilotní) roura, 4 – cílová šachta,
 5 – šnekový dopravník, 6 – chránička, 7 – rozšiřovací hlava, 8 – roura produktovodu.

6. Mikrotunelování

Pod pojmem výstavba mikrotunelováním (13) se rozumí pracovní postup protlačování trub s vnějším průměrem menším než 1 200 mm, bez posádky, dálkově řízený, u kterého z důvodů strojní techniky a bezpečnosti pracovníků není možná nebo je zakázána přítomnost osob na čele vrtné hlavy během ražby, ale také při odstraňování poruch během přestávky.

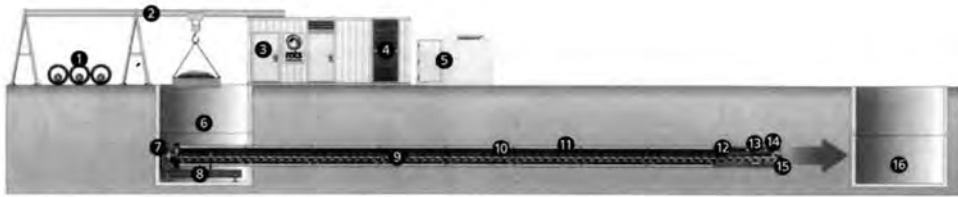
Mikrotunelování se dělí podle systému odstraňování zeminy na:

- a. mikrotunelování se šnekovým dopravníkem;
- b. mikrotunelování s hydraulickou dopravou zeminy.

Někteří výrobci zkouší i další způsoby odstraňování zeminy z čela mikrotunelovacího stroje, a to např. podtlakovou dopravou nebo jiným mechanickým odstraňováním.

a) Mikrotunelování se šnekovým dopravníkem

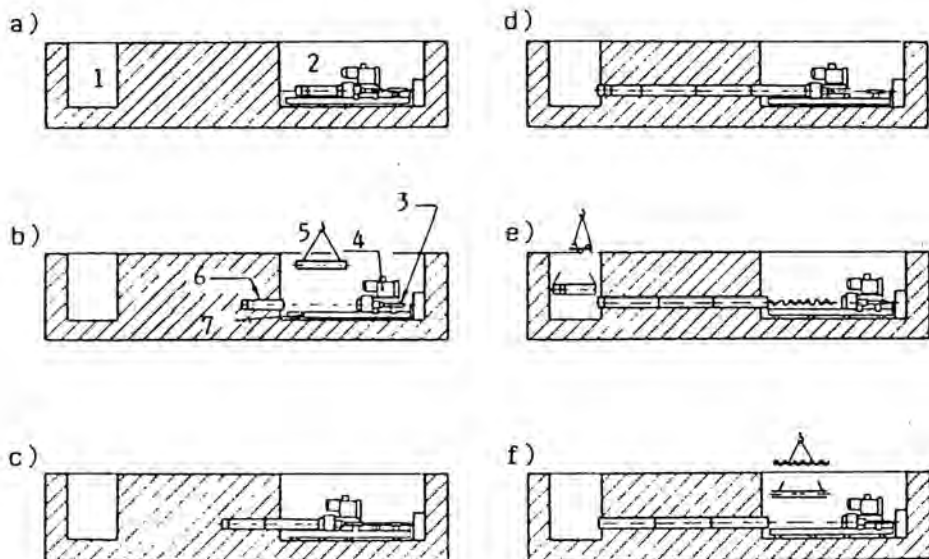
Při této metodě se do zeminového masivu **jednofázově zatlačí chránička nebo užitkové vedení za současného rozpojování zeminy v čele vrtnou hlavou a za kontinuální dopravy vytěžené zeminy šnekovým dopravníkem** (obr. 5.135). Příslušné soupravy jsou dalším vývojovým stupněm zařízení popsanych v předchozí kapitole – vylepšením je automatická korekce směru a možnost zabudovávat roury z různých materiálů.



Obr. 5.135 Schéma mikrotunelování se šnekovým dopravníkem.

- 1 - roury, 2 - jeřábová dráha, 3 - kontejner s řídicí jednotkou, 4 - hydraulický agregát,
 5 - zdroj (generátor), 6 - startovací šachta, 7 - laser, 8 - tlačná stanice,
 9 - šnekový dopravník, 10 - laserový paprsek, 11 - zatlačované roury, 12 - cílová deska,
 13 - přímočarý hydromotor, 14 - mikrotunelovací štít, 15 - vrtná hlava, 16 - cílová šachta.

Řízení je zabezpečeno tak, že poměrně dlouhý ocelový plášť mikrotunelovacího stroje je členěn na **dvě kloubově spojené části** – přední s vrtnou hlavou a zadní (návěs) s příslušenstvím, jejichž podélné osy je možné navzájem vychýlit pomocí přímočarých hydromotorů.



Obr. 5.136 Pracovní postup při jednofázovém vrtání.

- a - vyhloubení pracovní a cílové šachty a usazení soupravy, b - zatlačení vrtací hlavy s návěsem, usazení první roury, c - postupné zatlačení dalších rour, d - postupné zatlačení dalších rour, e - demontáž vrtací hlavy a návěsu v cílové šachtě, f - demontáž vrtné soupravy,
 1 - cílová šachta, 2 - pracovní šachta, 3 - zatláčecí souprava,
 4 - pohonný agregát, 5 - roura, 6 - vrtací hlava s návěsem, 7 - vodící lafeta.

Přímé zatlačení trub užitkového vedení je umožněno tím, že šnekový dopravník dopravuje vytěženou zeminu v **transportním potrubí**, takže nemůže poškodit užitkové vedení. Transportní potrubí musí mít takový průměr, aby

v zatlačované troubě zůstal volný prostor pro laserový paprsek. Obvykle bývá DN 250 až 300.

V současnosti je na trhu množství zařízení tohoto typu, lišících se jen konstrukčním uspořádáním. V Evropě jsou nejznámější zařízení firem Dr. Soltau, Westfalia a Witte (Německo), jakož i výrobky japonských firem.

Pohon šnekového dopravníku a vrtné hlavy je zajištěn **společným agregátem z pracovní šachty**. Vytěžená zemina se dopravuje do zásobníku umístěného v pracovní šachtě, který je cyklicky vyprazdňován.



Obr. 5.137 Schéma horizontálního vrtání vrtacím zařízením Perforator PBA 20 do průměru chráničky 300 mm; chráničky z ocelových trubek, PVC, Pe; startovací jáma 2,5 m × 2 m. Vrtání ve skalních horninách pomocí vrtacího kladiva - do průměru chráničky 160 mm.



Obr. 5.138 Vrtná souprava Perforator PBA 2.

Metoda se používá pro pokládku trub z různých materiálů jmenovité světlosti DN 250 až 1000, při délce vrtání do 150 m, v soudržných i nesoudržných zeminách. Metodu mikrotunelování se šnekovým dopravníkem je možné uplatnit pod hladinou podzemní vody za použití pomocných prostředků (těsnění, přetlak vzduchu, resp. vody) nebo nasazení speciálních souprav.

Délka vrtu je omezena průměrem vrtného profilu (tabulka 5.14) a vlastnostmi zemin v trase. Délka vrtu je taktéž dána abrazivní odolností vrtné hlavy, protože u metod mikrotunelování nelze vyměnit vrtné nástroje během vrtání. Krytí nad protlačovaným profilem má být přinejmenším stejné jako DN, ale minimálně 1,0 m.

Pro každý profil zabudovávaných trub je potřebný mikrotunelovací stroj, který je určen pro daný profil. Transportní systém pro vytěženou zeminu může být společný, použitelný pro nejmenší průměry trub. Výhodnější je však zvolit při zabudování trub větších průměrů výkonnější transportní systém, umožňující např.

zvětšení maximálního průměru zrn dopravované zeminy. Soupravy tohoto typu jsou použitelné ve všech druzích zemin. Při nasazení v nepříznivých geologických podmínkách, v měkce plastických hlínách, bahně, písku pod hladinou podzemní vody, je možné stabilitu čela zabezpečit vháněním tlakové vody, stlačeného vzduchu anebo bentonitové suspenze do prostoru před vrtnou hlavou přes duté soutyčí šnekového dopravníku. Do těchto podmínek jsou vhodné plošné vrtné hlavy s vyměnitelnými dláty a otvory na vpuštění vytěžené zeminy do transportního prostoru.



Obr. 5.139 Vrtná souprava Perforator PBA 20 v provozním nasazení.

Tabulka 5.14 Maximální délka vrtu v závislosti na jmenovité světlosti protlačované trouby (Soltau, Německo).

DN protlačované trouby [mm]	Délka vrtu [m]
250	< 80
300	< 100
400	< 120
500	< 150
600	< 150
700	< 150
800	< 150

Při obvyklém pracovním postupu **pracuje vrtná hlava pod ochranou pláště**. Při práci v tvrdých zeminách je vysouvána před plášť.

Výrobci **mikrotunelovací soupravy obvykle kontejnerizují**. Celé ovládací zařízení soupravy je umístěno v kontejneru, který se osazuje nad pracovní šachtu a překrývá ji. Z kontejneru se vysouvá jeřáb, který slouží při odtěžení vytěžené zeminy z pracovní šachty a obsluhuje i skládku trub. Výhodou takto upravených souprav je lehká montáž a demontáž a rychlé uvedení do provozu při přemístění na nové pracoviště. Kontejner zároveň chrání pracovníky před klimatickými vlivy.

Při mikrotunelování se šnekovým dopravníkem je možno volit také **dvoufázový pracovní postup**. V úvahu přicházejí dvě varianty:

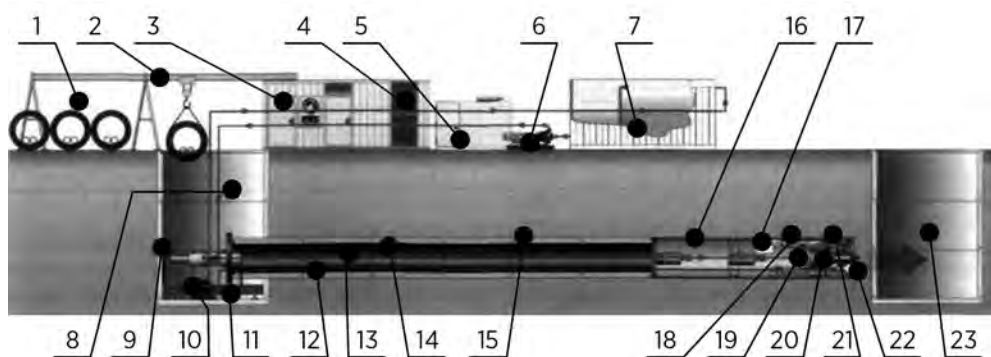
- **1. varianta** – za mikrotunelovacím strojem je protlačována nejprve ocelová chránička, přes kterou je rozpojená zemina transportována do pracovní šachty šnekovým dopravníkem v transportním potrubí. Chránička se potom vytlačí ze zeminového masivu rourami užitkového vedení pomocí přechodného mezičlánku.
- **2. varianta** – za mikrotunelovacím strojem je protlačována pomocná ocelová chránička. Po protlačení úseku se z ní vytáhne transportní potrubí se šnekovým dopravníkem a zasunou se trouby užitkového vedení. Potrubí se rozeprě do stěny šachty a chránička se z vrtu vytáhne.

Hlavní výhody tohoto dvoufázového postupu:

- roury pomocné chráničky jsou pevnější, umožňují rychlejší montáž a je v nich trvale zabudované i transportní potrubí se šnekovým dopravníkem, takže se postup prací urychlí;
- vlastní užitkové potrubí může být dimenzované na přenášení menších axiálních sil, je tedy hospodárnější;
- jde o nejbezpečnější způsob zabudování trub z plastů bez nebezpečí poškození jejich stěn během výstavby.

b) Mikrotunelování s hydraulickou dopravou zeminy

Při této metodě se **vytěžená zemina dopravuje hydraulickým systémem** (obr. 5.140 a 5.141).

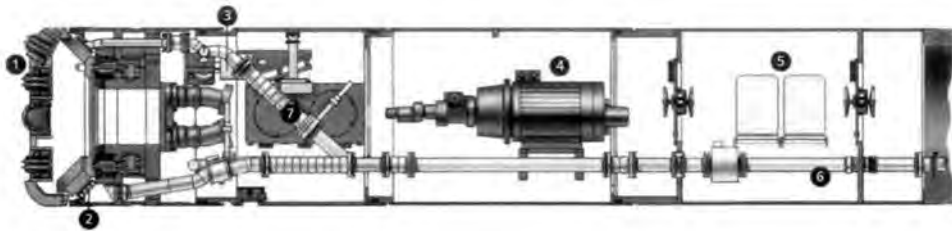


Obr. 5.140 Schéma mikrotunelování s hydraulickou dopravou zemín.

- 1 – roury, 2 – jeřábová dráha, 3 – kontejner s řídicí jednotkou, 4 – hydraulický agregát, 5 – zdroj – generátor, 6 – čerpadlo, 7 – usazovací nádrž, 8 – startovací šachta, 9 – laser, 10 – dopravní čerpadlo, 11 – tlačná stanice, 12 – potrubí pro odvod vrtného výplachu se zeminou, 13 – přívodní potrubí pro vrtný výplach, 14 – laserový paprsek, 15 – zatlačované roury, 16 – zadní část mikrotunelovacího štítu, 17 – cílová deska, 18 – řídicí přímočaré hydromotory, 19 – pohon vrtné hlavy, 20 – uložení vrtné hlavy, 21 – mikrotunelovací štít, 22 – vrtná hlava, 23 – cílová šachta.

V mikrotunelovacím stroji jsou umístěny všechny pohonné mechanismy (pohon a vysouvání vrtné hlavy, trafo, čerpací agregát atd.), takže v ovládacím středisku **na povrchu je situována pouze řídicí jednotka**. Mikrotunelovacími soupravami je možné zabudovávat do zeminového masivu roury DN 200 až 1200 z různých materiálů. Doporučená délka protlačovaného úseku je závislá na DN protlačovaných trub a pohybuje se do 150 m (tabulka 5.15). Trasa může být vedena v přímé linii nebo v obloucích. V případě, že je protlačován úsek v oblouku, musí být použit řídicí a navigační systém pro ražbu v oblouku.

Mikrotunelovací soupravy s hydraulickou dopravou zeminy je možné užít v zeminách a ve skalních horninách nad i pod hladinou podzemní vody. Jejich předností je rychlá montáž a demontáž a vysoký razící výkon 10 až 20 m/den. Pokládka trub mikrotunelováním eliminuje vznik poklesové kotliny, a to díky okamžitému a plynulému podepření výrubového prostoru pláštěm mikrotunelovacího stroje a vytvoření definitivního ostění (protlačovací trouby), které ihned přebírá horninové tlaky. Soupravy jsou robustní konstrukce, málo citlivé na poškození.



Obr. 5.141 Schéma mikrotunelovací hlavy s hydraulickou dopravou zeminy (Herrenknecht, Německo).

1 – plnoprofilová vrtná hlava, 2 – drtič, 3 – řídicí přímočaré hydromotory, 4 – pohonná jednotka, 5 – vzduchový uzávěr, 6 – transportní potrubí, 7 – cílová deska pro laser.

Při pokládce mikrotunelováním je doporučeno **minimální nadloží** představující 2 až 3 násobek průměru mikrotunelovacího stroje, přičemž by nemělo být menší než 1,8 m. Maximální hydrostatický tlak pod hladinou podzemní vody, při kterém je možné razit, je až 30 m. V zeminách je mikrotunelování omezeno schopností rozdrtit v drtiči nebo dopravit maximální průměr zrna vyskytujícího se v trase.

Pracovní postup je stejný jako při výstavbě mikrotunelováním se šnekovým dopravníkem. Nejdříve je vyhloubí startovací a cílová šachta a po protlačení trub se vybudují revizní šachty. Tvar a rozměry startovací a cílové šachty jsou dány použitým typem mikrotunelovací soupravy a délkou protlačovaných trub (tabulka 5.16).

Dno startovací šachty pro roury jmenovité světlosti DN 1200 je asi 1,2 m pod osou roury. Po osazení mikrotunelovacího stroje do startovací šachty se provede

Tabulka 5.15 Základní technické parametry mikrotunelovacích souprav AVN 250-700 s hydraulickou dopravou zeminy (Herrenknecht, Německo).

Technické parametry	Jednotka	AVN 250 XC		AVN 300 XC		AVN 400 XC		AVN 500 XC		AVN 600 XC		AVN 700 XC	
		standard	prodl.	standard	prodl.	standard	prodl.	standard	prodl.	standard	prodl.	standard	prodl.
1. Mikrotunelovací stroje													
vnější průměr stroje	[mm]	368	410	410	565	565	665	665	780	780	875	875	975
vnější průměr stroje	[mm]	360	400	400	550	550	650	650	760	760	860	860	960
vnější průměr stroje	[mm]	250	300	300	400	400	500	500	600	600	700	700	800
Pohon													
kroučící moment	[kN.m]	5,9		9,4		13,4		22,2		33,5		40,1	
otáčky min. - max.	[ot./min.]	0 – 44		0 – 27		0 – 19		0 – 15		0 – 13		0 – 11	
výkon	[kW]	45		45		45		45		45		55	
Řízení													
řídící přímočaré hydromotory	počet	3		3		3		3		3		3	
Ovládání													
počítačový záznam	[-]	ano		ano		ano		ano		ano		ano	
automatické řízení	[-]	možné		možné		možné		možné		možné		možné	
2. Technické parametry													
délka protlačování (doporučená)	[m]	80		100		100		120		140		140	
vodotěsnost	[m v.s.]	30		30		30		30		30		30	
teleskopické a zvedací zařízení	[-]	–		–		–		–		možné		možné	
průměr transportního potrubí	[mm]	55		55		80		100		100		100	
vysokotlaký vodní systém	[-]	ano		ano		ano		ano		ano		ano	

ražba daného úseku. V razičí hlavě je poloha trub stále sledována a směr v případě potřeby korigován nastavením úhlu kloubově uložené vrtné hlavy. V případě, že se protlačuje pod hladinou podzemní vody, je potřebné do startovací šachty osadit kruhovou šachtovou ucpávku pro utěsnění zápichového otvoru.

Výkon mikrotunelovací strojů umožňuje protlačovat roury v délkách, které několikanásobně překračují vzdálenost revizních šachet na inženýrských sítích. S ohledem na pracovní demontáž, přemísťování a montáž mikrotunelovacích strojů je vhodné rozčlenit trasu mikrotunelování na co nejdelší úseky a po protlačení trub provést dodatečné zabudování revizních šachet.

Tabulka 5.16 Rozměry startovací šachty pro mikrotunelovací stroje AVN (Herrenknecht, Německo).

Mikrotunelovací stroj	Typ	AVN 250 XC	AVN 300 XC	AVN 400 XC	AVN 500 XC	AVN 600 XC	AVN 700 XC
Startovací kruhová šachta	délka roury [mm]	průměr šachty [m]					
	1 000	2	2	2,5	3	3	3
	2 000	3	3	3	3	3	3,5
Cílová šachta	L_{AS} [mm]	1 400	1 450	1 450	2 150	2 100	2 500
Kruhová	průměr šachty [mm]	1,5	1,6	1,6	2,3	2,4	2,5
Pravouhlá	$d \times s$ [m]	1,5 × 1,0	1,6 × 1,0	1,6 × 1,0	2,3 × 1,2	2,4 × 1,4	2,5 × 1,5



Obr. 5.142 Ukázka plnoprofilové vrtné hlavy – mikrotunelovacího štítu.

Největší délka protlačovaného úseku je dána **abrazivní odolností pracovních nástrojů** (pevných nebo rotačních valivých dlát), protože není možné vyměnit tyto nástroje během ražby. Dále je ovlivněna **maximální dosažitelnou protlačovací silou** mikrotunelovací soupravy a **maximální povolenou protlačovací silou**, která může působit na trouby. V případě, že je výpočtem doloženo překročení maximální protlačovací síly, je nutné použít **mezitlačné stanice**, a tím rozdělit tlačnou sílu na úseky. Nevýhodou uplatnění mezitlačných stanic je zpomalení postupu při protlačování.

Mikrotunelovací stroj je členěný podélně na **dvě samostatné, kloubově spojené části**:

- a. **přední** – řídicí plnoprofilová vrtná hlava. Technologie se vyvinula miniaturizací plně mechanizovaných hydroštitů pro výstavbu komunálních štol. Proti horizontálnímu šnekovému vrtání se liší ve dvou zásadách:
 - pohon vrtací hlavy a hydromotorů řízení je umístěný přímo v řezném štitu,
 - dopravu rozpojené zeminy zabezpečuje tekutina (tlaková voda, resp. bentonitová suspenze), která se využívá i na zajištění výrubu na čele.
- b. **zadní** – návěs.

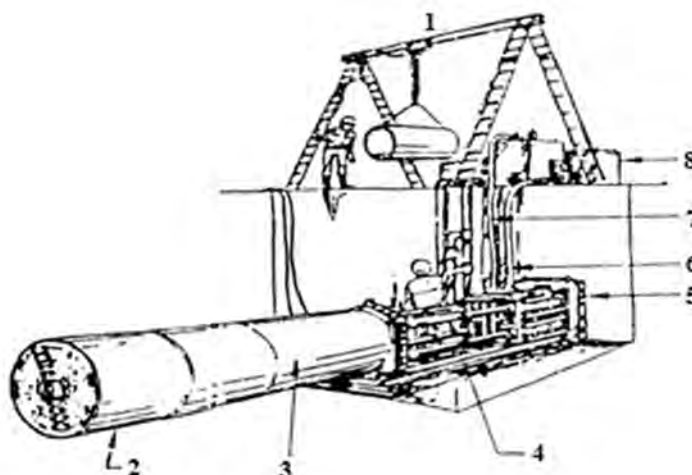


Obr. 5.143 Provozní realizace mikrotunelování s hydraulickou dopravou zeminy.

K **ovládání mikrotunelovacího stroje** slouží zpravidla tři až čtyři **přímočaré hydromotory**. Problém stabilizace čela výrubu, rozpojování zeminy, cirkulace pažící suspenze a dopravy vytěžené zeminy se řeší komplexně v závislosti na vlastnostech zeminového masivu a hloubce uložení trub pod hladinou podzemní vody tak, aby nemohlo dojít k sednutí, resp. vytlačení nadloží. Velikost přetlaku pažící suspenze je kontrolovatelná a regulovatelná po celou dobu celého průběhu zatlačování. Tlak pažící suspenze se reguluje např. otvíráním, resp. přiškrcováním vpouštěcích otvorů do pracovní komory nebo vypouštěcích otvorů do transportního potrubí. Ovládání je automatické nebo manuální. Tlak pažící suspenze v pracovní komoře má být udržován o 10 až 20% vyšší, než je tlak podzemní vody v dané hloubce.

Základní části mikrotunelovací soupravy jsou:

- mikrotunelovací stroj,
- ovládací kontejner,
- řídicí systém pro ražbu v přímém směru nebo v oblouku,
- zatlačovací / opěrný rám,
- hydraulický transportní systém pro vytěženou zeminu,
- odlučovací a sedimentační zařízení pro separaci vytěžené zeminy od transportní bentonitové suspenze,
- přívodní a zpětné potrubí,
- mazací systém,
- při práci pod hladinou podzemní vody kruhová šachtová ucpávka zápichového otvoru.



Obr. 5.144 Schéma uspořádání soupravy základních částí mikrotunelovací soupravy.

1 – pracovní šachta, 2 – vrtná hlava - řezný štít, 3 – zatlačovaná roura, 4 – hlavní tlačná stanice, 5 – opěra, 6 – přívod kapaliny, 7 – odvod kapaliny, 8 – separační nádrž.

5.2.4.3 MECHANIZACE ČINNOSTÍ SOUVISEJÍCÍCH S ŘÍZENÝM MIKROTUNELOVÁNÍM

U metod řízeného mikrotunelování je pro úspěšnou realizaci prací, kromě volby nejvhodnějšího typu soupravy s ohledem na průměr vrtu, jeho délku a geologické podmínky v trase, potřebné zvolit i nejvhodnější doplňující a pomocná zařízení:

1. zařízení pro horizontální dopravu zeminy,
2. zařízení pro vertikální dopravu zeminy.

1. Horizontální doprava zeminy

Čas potřebný k transportu zeminy z vrtné hlavy na povrch zabírá výrazný podíl pracovního cyklu. Zrychlení a zefektivnění dopravy může proto postup při pokládce trub značně urychlit.

Řešení **horizontální dopravy zeminy** je třeba vidět komplexně; zahrnuje tyto dílčí problémy:

- řešení vlastní (kontinuální) dopravy,
- volba vhodného transportního systému pro různé typy zemin a hydrogeologické podmínky v trase,
- možnost rychlého spojení a rozpojení jednotlivých částí, tj. minimalizace prostojů,
- členění transportního systému na samostatné celky, jejich napojení a rozpojení v závislosti na délce protlačování,
- univerzální zařízení.

Pro horizontální dopravu vytěžené zeminy z protlačované trasy jsou k dispozici dva hlavní transportní systémy – **šneková a hydraulická doprava (hydrodoprava) vytěžené zeminy**.

a) Šneková doprava vytěžené zeminy

Tento způsob dopravy se navrhuje při mikrotunelování nejčastěji, hlavně při kratším protlačování. Šnekový dopravník má zpravidla společný pohon s vrtnou hlavou. S ohledem na požadavek výkonu na vrtné hlavě se proto šnekové dopravníky navrhují na přenášení krouticího momentu 5 až 50 kNm a přitlaku 70 až 350 kN, v závislosti na technických parametrech dané soupravy.

Transport zeminy šnekovým dopravníkem může být řešen:

- celým vnitřním profilem protlačovaných trub,
- speciálním transportním potrubím.

Transport zeminy celým vnitřním profilem protlačovaných trub se volí v případě **jednoduchých souprav u neřízených metod**. Výhodou tohoto řešení je, že šnekový dopravník má dostatečně velký průměr a zdvih, takže má velkou dopravní kapacitu a je schopný transportovat i relativně velká zrna s maximálním rozměrem asi $\frac{1}{4}$ vnitřního průměru protlačovaných trub.

Transport zeminy speciálním ocelovým transportním potrubím je nezbytnou **podmínkou řízeného mikrotunelování**. Jen tak je totiž možné v příčném profilu protlačovaných trub, resp. chráničky získat **prostor pro bezkolizní kontrolu směru a rozvody pro ovládání vrtné hlavy**, resp. štitu.

Nevýhodou je, že transportní potrubí má podstatně menší jmenovitou světlost než vlastní protlačované trouby – zpravidla do DN 300, čímž je limitována i jeho dopravní kapacita a maximální průměr dopravovaného zrna.

Stavební **délka sekcí šnekových dopravníků** je obvykle 500, 1 000 a 2 000 mm, ale vyrábějí se i dopravníky delší. Nejčastěji se používají plnostěnné šnekové dopravníky,

jen do lepidých zemin se někdy navrhují pásové šneky. Průměr dopravníku má být o 10 až 20 mm menší, než je průměr transportního potrubí, resp. protlačovaných trub.

Šneková doprava je vhodná hlavně pro dopravu nesoudržných zemin. Soudržné zeminy, zejména měkké konzistence, mají tendenci transportní potrubí ucpávat. Při transportu zemin s obsahem zrn velmi tvrdých zemin, která dopravník obrušují, se doporučuje používat bentonitovou mazací suspenzi nebo přivádět do dopravníkového prostoru za vrtnou hlavou tlakovou vodu. Maximální průměr transportovaných zrn nemá přesáhnout $1/10$ průměru šnekového dopravníku (d), při ojediněném výskytu $1/4 d$. Hlavní výhodou šnekové dopravy je možnost přímého ukládání zeminy bez potřeby sedimentačních a separačních zařízení. Šneková doprava však v zásadě může být uplatněna jen nad hladinou podzemní vody.

b) Hydraulická doprava vytěžené zeminy

Hydraulická doprava zeminy (hydrodoprava) je založena na principu, že proudící kapaliny dokáží transportovat pevné materiály, jestliže výslednice všech sil působících na pevné částice působí ve směru transportu. **Transportní kapalina** proudí potrubím zpravidla v uzavřeném systému, do kterého je možné přidat transportní zeminu v libovolném místě.

Hydrodoprava se používá hlavně při metodě **mikrotunelování s hydraulickou dopravou zeminy**. Transportní kapalina slouží k **pažení čela vrtné hlavy**, rozplavování zeminy, její horizontální a vertikální dopravě a ukládání do sedimentačních nebo separačních zařízení. Tam se zemina od transportní kapaliny odděluje.

Zemina mechanicky uvolněná z plochy čela je těžší než **pažící suspenze**, padá ke dnu, odkud se odčerpává spolu s pažící suspenzí do transportního potrubí. Zahuštěná pažící suspenze se čerpá z komory potrubím do usazovacího nebo separačního zařízení a zároveň se do mísicí komory přivádí vyčištěná transportní kapalina, takže **cirkulační systém je uzavřený**. S ohledem na požadovaný pažící účinek je kapalina udržována pod určitým přetlakem, což je důležité zejména při práci pod hladinou podzemní vody.

Důležitou součástí návrhu hydrodopravy je **volba transportní kapaliny**, přičemž se lze rozhodnout mezi vodou a bentonitovou suspenzí. Při práci v nesoudržných hrubozrnných zeminách nad hladinou podzemní vody nebo v malé hloubce pod hladinou podzemní vody uniká velké množství vody do zeminového masivu. Tomu je možné zabránit příměsí bentonitu a protiztrátových prostředků, který vodu zahustí a zmenší její vsakovací schopnost a tím i úniky. **Voda** úplně postačuje jako pažící a transportní médium a pro protlačování v málo propustných jemnozrnných zeminách. V propustných zeminách a při práci pod hladinou podzemní vody je nutné používat **bentonitové suspenze**.

Hydrodoprava je navrhována výpočtem, přičemž na požadované dopravované množství, zrnitost zeminy a maximální transportní vzdálenost je dimenzováno čerpadlo a průměr transportního potrubí. Důležité je určit **kritickou rychlost proudění**, aby nedošlo k sedimentaci transportované zeminy.

Zkušenosti z mnohých staveb ukazují, že při jmenovité světlosti transportního potrubí DN 125 až 200 a rychlosti proudění transportní kapaliny 2,8 až 4,0 m/s má

zemina tvořit jen 15 až 20 % objemu kapaliny. Při lepivých zeminách se doporučuje transportní rychlost ≥ 4 m/s. Zrna průměru do 80 mm jsou bez problémů odplavována. Při dimenzování je potřeba zohlednit ztráty rychlosti proudění třením o stěny potrubí na přímých úsecích, ve směrových obloucích a na výstupní větvi, kde jsou zhoršené transportní podmínky v důsledku působení gravitace.

Hospodárnost hydrodopravy ovlivňuje i **uspořádání sedimentačních nádrží, resp. separačních zařízení**. Sedimentační odlučování je mechanické, založené na zmenšení rychlosti proudění suspenze, čímž dochází k usazování nejprve hrubších, potom i jemnějších částic. Je výhodné především při transportu hrubozrnných zemin, které sedimentují rychleji.

Pokud transportovaná zemina obsahuje i větší množství jemných částic, mechanické usazování by mohlo trvat velmi dlouho. Je proto nutné volit **dvoufázový systém odlučování**: větší částice (průměr zrna větší než 3 mm) se oddělují **gravitačně**. Zbytek výplachu se potom přivádí do **odstředivých odlučovačů – hydrocyklonů**, kde je možné při jednofázovém postupu spolehlivě oddělit od vody zeminu se zrny menšími než 0,1 mm, při dvoufázovém postupu i zrna menší než 0,03 mm. Separace zeminy s použitím hydrocyklonů je rychlejší, ale finančně i energeticky náročnější než gravitační.

Hydrodoprava je výhodná pro transport zeminy při **mikrotunelování zejména pod hladinou podzemní vody**, kde lze využít i pažící účinek transportní kapaliny. Zařízení je složitější než pro šnekovou dopravu, je vhodné především pro zabudování potrubí větších délek. Použitelnost hydrodopravy je limitována maximálním zrnem zeminy. Výhodou je velký výkon a nevýhodou větší náročnost při provozu a nutnost úpravy vytěžené zeminy na skládce.

2. Vertikální doprava vytěžené zeminy

Při hydrodopravě je problém horizontální a vertikální dopravy řešen komplexně. U ostatních způsobů řešení horizontální dopravy je potřeba se zabývat samostatně vertikální dopravou; jde o **cyklickou dopravu, tj. dopravu zásobníku zvedacím zařízením na povrch**. V zájmu zvyšování výkonu při protlačování se i při řešení vertikálního transportu usiluje o přechod na kontinuální dopravu.

Vertikální doprava zvedacím zařízením. Bedna (korba) na zeminu, uložená na dně pracovní šachty pod vyústěním šnekového dopravníku, se po naplnění vytahuje na povrch:

- mobilním zvedacím zařízením (autojeřábem),
- mostovým jeřábem s pojízdným vijákem,
- portálovým jeřábem.

Při mikrotunelování, i s ohledem na relativní malou hmotnost zabudovaných chrániček a trub, se nejvhodnějším jeví **mostový jeřáb s pojízdným vijákem** s nosností maximálně několik tun, který může spolehlivě obsloužit celé pracoviště okolo pracovní šachty a v ní.

Sladění **kontinuální**, velmi výkonné horizontální dopravy výkopku s cyklickou vertikální dopravou je problematické a přináší s sebou vždy ztrátové časy.

5.2.4.4 Trubní materiály pro bezvýkopovou výstavbu mikrotunelováním

Pro metody mikrotunelování se používají protlačovací roury z těchto materiálů:

- železobetonové (DN \geq 150),
- kameninové (DN \geq 150),
- polymerbetonové (DN \geq 250),
- čedičové (DN 100 až 600),
- sklolaminátové (DN 160 až 1280),
- ocelové (bezešvé do DN 1200),
- litinové do DN 1200),
- PVC a PE (do 600),
- dvouvrstvé (tzv. sendvičové) – tj. ze dvou materiálů.

Protlačovací roury musí splňovat následující kritéria:

- roury musí kromě zatížení od zeminy a dopravy přenést axiální zatížení od protlačování;
- povrch spojů musí být nepatrně pod povrchem vnějšího průměru trouby, aby nedocházelo ke zvýšenému tření o zeminu;
- spoj musí vykazovat vodotěsnost i po zatlačení;
- spoj roury musí dovolovat výchylku, aby bylo možné řídit směr protlačování.

Podle ČSN EN 12 889 musí být před zahájením pokládky trub mezi projektantem a zhotovitelem projednány a schváleny následující technické parametry, které je možno převzít z příslušných norem výrobků nebo od výrobce trub:

- vnitřní průměr trub,
- vnější průměr trub,
- délka trub,
- tolerance a rozměry,
- příslušné zatlačovací a zatahovací síly,
- druh a způsob provádění spojů,
- flexibilita v podélném směru (přípustné poloměry ohybu nebo úhlového vychýlení trubního spoje).

Roury pro bezvýkopové zabudování se vyrábí v délkách 1 až 6 m. Nejobvyklejší je délka 2 až 3 m. Mezi čela trub se vkládá dřevotřískový prstenec pro rovnoměrné roznesení protlačovací síly.

Standardní **železobetonové roury** se vyrábí s úpravami na obou koncích, které jsou tvarovány pro nasazení pryžových těsnění a nasazení sklolaminátových nebo nerezových manžet, jež společně s pryžovým těsněním tvoří vodotěsné a pružné spoje trub. Spoje je možné řešit s polodrážkou s pryžovým těsněním, roznášecí dřevotřískové prstence jsou pak dva. Standardně se v ČR vyrábějí železobetonové protlačovací trouby DN 40 až 1 200 (tabulka 5.17). Roury lze osadit kameninovou nebo čedičovou výstelkou pro 120°, 180° a 360° průtočného průřezu trub, v zahraničí se lze setkat s výstelkou z PVC, s kynetou z pálených cihel nebo s dračím profilem.

Dále jsou na našem trhu dostupné protlačovací **kameninové roury** jmenovité světlosti DN 150 až 1000 (tabulka 5.18) a kameninové roury se železobetonovým pláštěm (maximální DN 1400) pro protlačovací síly do 7 000 kN.

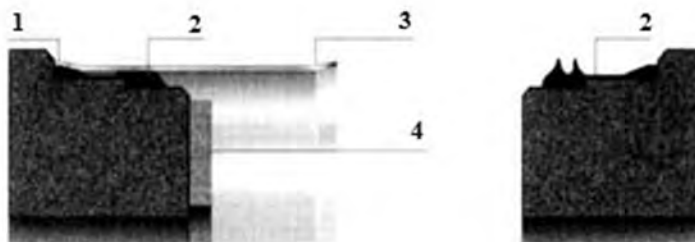
Kruhové **protlačovací roury z polymerbetonu** se vyrábějí v rozmezí DN 250 až 1 200 (tabulka 5. 19) nebo s dračím profilem v rozmezí DN 800 až 1 200. Výhodou jsou až trojnásobně větší pevnosti než u betonu, tloušťka stěn je tak menší. Spoje jsou řešeny pomocí manžet, obdobně jako u betonových trub (obr. 5.145). Výrobce dodává i prefabrikované šachty pro mikrotunelování.

Tabulka 5.17 Železobetonové trouby pro protlačování TZT – Q (Prefa Brno, ČR).

Označení	DN [mm]	Vnější průměr [mm]	Délka trouby [mm]	Tloušťka stěny T [mm]	Hmotnost [kg]	Maximální protlačovací síla [kN]	Vrcholové zatížení [kN/m]
TZT – Q 40-65/199	400	650	1 990	125	1 030	1 090	275
TZT – Q 40-75/199	400	752	1 990	176	1 570	1 708	550
TZT – Q 50-75/199	500	752	1 990	126	1 225	1 255	190
TZT – Q 60-86/199	600	860	1 990	130	1 470	1 529	180
TZT – Q 80-106/199	800	1 060	1 990	130	1 810	2 282	165
TZT – Q 100-128/199	1 000	1 280	1 990	140	2 440	2 578	115
TZT – Q 120-150/199	1 200	1 500	1 990	150	3 170	3 185	122

Tabulka 5.18 Kameninové trouby pro protlačování CreaDig (Keramo Steinzeug, Německo).

DN	Max. protlačovací síla F_1/F_2	Hmotnost [kg]
150	174 / 218	36
200	282 / 353	60
250	705 / 881	105
300	707 / 884	125
400	1 315 / 1 644	240
500	1 571 / 1 964	295
600	1 609 / 2 011	350
700	1 675 / 2 094	380
800	1 982 / 2 478	460
1 000	2 070 / 2 588	584



Obr. 5.145 Spoj roury pro mikrotunelování trouby Polycrete pro protlačování (Meyer Rohr + Schat, Německo).

1 – utěsnění mezery, 2 – těsnicí profil, 3 – ocelová manžeta, 4 – roznášecí dřevotřískový prstenec.

Tabulka 5.19 Polymerbetonové trouby Polycrete pro protlačování (Meyer Rohr + Schat, Německo).

DN [mm]	Vnější průměr [mm]	Tloušťka stěny [mm]	Délka [m]	Maximální protlačovací síla		Hmotnost roury [kg/m]
				[t]	[kN]	
250	360	55	1 a 2	54	530	117
300	400	50	1 a 2	51	505	122
400	550	75	1 a 2	150	1 490	249
500	660	80	2	190	1 900	324
600	760	80	2	225	2 240	380
700	860	80	2	245	2 400	435
800	960	80	2	275	2 720	490
900	1 100	100	2	455	4 490	700
1 000	1 184	92	2 a 3	420	4 140	720
1 000	1 280	140	3	765	7 510	1 135
1 200	1 482	141	3	580	5 700	1 345

Sklolaminátové protlačovací roury se vyrábějí s většími průměry 250 až 1 280 mm (tabulka 5.20). Spoj trub je řešen pomocí manžety.

Bezhrdlové protlačovací roury z čediče se dodávají s ocelovou manžetou s pryžovým těsněním o jmenovité světlosti DN 100 až 600 v délce 1m. Někteří výrobci výše uvedených typů trub dodávají jako příslušenství také tlačné mezistanice. Pro malé průměry se vyrábějí speciální protlačovací trouby z PVC a PE.

Pro zatahování se používají ocelové, litinové a polyetylenové roury. V současné době je trend používat opláštěné vícevrstvé polyetylenové roury, aby se zabránilo poškození nosné části roury během zatahování. Použitím např. polyetylenových trub Wavin TS při ukládání metodou řízeného vrtání se snižuje pravděpodobnost vzniku poruchy z důvodů mechanického poškození (a následného pozvolného růstu trhlin v důsledku poškození vnějšího povrchu) nebo bodových tlaků. Wavin TS je **třívrstvá trubka**, u níž je vnější a vnitřní vrstva z nového typu polyetylenu XSC50 vysoké odolnosti vůči pozvolnému vzniku a šíření trhlin. Střední vrstva je ze standardního polyetylenu třídy PE 100.

Tabulka 5.20 Přehled technických parametrů sklolaminátových protlačovacích trub (Hobas, ČR).

Vnější průměr	32 000 N/m ²		64 000 N/m ²		128 000 N/m ²		320 000 N/m ²		640 000 N/m ²		1 000 000 N/m ²	
	S5	protl. síla	S5	protl. síla	S5	protl. síla	S5	protl. síla	S5	protl. síla	S5	protl. síla
[mm]	[-]	[kN]	[-]	[kN]	[-]	[kN]	[-]	[kN]	[-]	[kN]	[-]	[kN]
501	–	–	20	435	26	655	35	974	43	1 247	48	1 413
550	–	–	22	566	28	809	38	1 199	47	1 537	53	1 755
650	21	613	26	857	33	1 191	44	1 700	54	2 146	62	2 491
752	24	800	30	1 138	39	1 634	51	2 276	62	2 843	72	3 342
860	27	1 140	35	1 655	43	2 161	58	3 080	72	3 905	–	–
960	31	1 497	39	2 071	48	2 706	64	3 801	80	4 854	–	–
1 099	35	1 717	44	2 457	56	3 748	73	5 079	–	–	–	–
1 280	41	2 968	52	4 022	64	5 149	–	–	–	–	–	–

U konstrukce trub Wavin TS je **mezi jednotlivými vrstvami molekulární vazba** (podobně jako ve svařovaném spoji), a proto nelze jednotlivé vrstvy od sebe mechanicky oddělit. Díky tomu představuje roura litou konstrukci s pevností vůči vnitřnímu tlaku stejnou, jakou má standardní roura celá zhotovená polyetylénu třídy PE 100. Tloušťka vnější a vnitřní vrstvy je shodná a činí 25% nominální tloušťky stěny. Roury s menším průměrem jsou celé vytlačované z materiálu XSC 50.

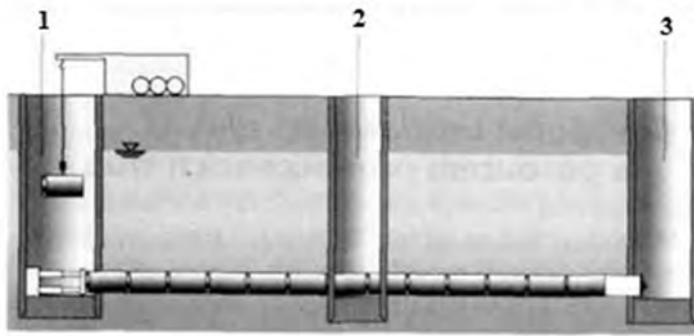
U opláštěných trubek, které nemají spojení vrstev založeno na molekulární vazbě, může dojít ke svlékání nebo pohybu vrstev. Při kontaktu roury s kameny, kořeny a jinými překážkami vzniká bodové namáhání, které nepoškodí rouru hned, ale během několika málo let, protože porucha začíná na vnitřní straně roury. K ochraně roury proti bodovému namáhání je tedy důležitá ochranná vrstva.

5.2.4.4 PRACOVNÍ ŠACHTY A JÁMY

Šachta je svislé nebo ukloněné hornické a stavební dílo pravoúhlého nebo kruhového profilu, jehož délka (hloubka) je výrazně větší než rozměry příčného profilu. Pokud hloubka výrazně nepřevládá nad plošnými rozměry, jedná se o **jámy**. Funkce šachet a jam se omezuje **primárně** na fázi výstavby, ve které **slouží jako pracoviště. Sekundárně** je možné šachty využívat za provozu vedení jako **vstupní nebo revizní šachty** na stokové síti, armaturní šachty atd.

Podle použití je účelné odlišit šachty u bezvýkopových technologií trubních vedení (obr. 5.146) na:

- startovací (pracovní) šachtu,
- cílovou šachtu,
- průjezdnou šachtu (mezišachtu).



Obr. 5.146 Pokládka trubního vedení mikrotunelováním.

1 – startovací šachta, 2 – průjezdná šachta (mezišachta) – 3 – cílová šachta.

Startovací šachta nebo jáma je určena k umístění zařízení pro provádění bezvýkopové technologie a začíná z ní úsek trasy vrtu nebo protlaku. V šachtě nebo jámě probíhá:

- montáž tlačné stanice,
- přesné osazení razicího stroje s vodící hlavou, resp. řezného štítu,
- instalace pevných částí měřicího a řídicího systému,
- osazování jednotlivých trub, resp. chrániček,
- odtěžování zeminy,
- odvodňování stavebního díla.

Cílová šachta nebo jáma se nachází na konci úseku trasy vrtu nebo protlaku, kde končí ražba. Zde probíhá:

- demontáž razicího stroje s příslušenstvím,
- při výstavbě s využitím vodící roury někdy také odtěžení vytěžené zeminy a demontáž pomocných/dočasných chrániček, resp. zatahování trub užitkového vedení.

Průjezdnou šachtu (mezišachtu) je možné použít v případě dlouhých protlačovaných tras. Může sloužit pro plánovanou výměnu vrtných nástrojů nebo další údržbu na protlačovacím/štíťovacím stroji.

V případě, že startovací šachta a mezišachta budou použity k výstavbě domovních přípojek, je nutno nadimenzovat ostění resp. pažení šachty na předpokládané tlačné síly.

Šachty představují při bezvýkopové výstavbě podzemních vedení jediné stavby, které musejí být budovány **otevřeným výkopem**. Proto musejí být navrženy tak, aby byl minimalizován dopad na životní prostředí a na dopravu, a při jejich projektování je třeba zvážit tyto aspekty:

1. umístění šachet nebo jam,
2. počet šachet nebo jam,

3. tvar a rozměry šachet nebo jam,
4. volbu systému pažení a technologie výstavby.

1. Volba místa a počtu šachet nebo jam

Volba místa a počtu šachet nebo jam je ovlivněna **návrhem trasy trubního vedení**. Z tohoto důvodu se doporučuje při plánování realizace trubního systému bezvýkopovou technologií zohlednit možnosti technologie pro ražbu krátkých nebo dlouhých úseků, vedení trasy, využití startovacích a cílových šachet nebo jam pro ražbu více trubních úseků apod.

Šachty nebo jámy by měly být navrhovány do míst s malou dopravní intenzitou (např. odstavné plochy, parkoviště a chodníky) a s dostatkem plochy pro potřebnou nadzemní část bezvýkopové technologie.

2. Tvar a rozměry pracovních šachet a jam

Délka (průměr) startovací šachty nebo jámy musí odpovídat **druhu pažení i typu protlačovacího/mikrotunelovacího stroje**, tedy:

- tloušťce opěrné konstrukce,
- délce výsunu hlavní tlačné stanice a při šnekové dopravě prostoru pro těžní bednu,
- délce razicího stroje, popř. délce výsuvného modulu nebo délce protlačovací trouby,
- potřebnému pracovnímu prostoru pro spojování trub,
- rozměru konstrukce těsnicího prstence.

V případě šachet hlubších než 5 m je potřebný volný prostor pro přístup prostřednictvím **lezného oddělení**. Délka (průměr) cílové šachty se navrhuje podle **maximální délky pilotní roury** a délky těsnicího prstence otvoru. Délka (průměr) průjezdné šachty odpovídá rozměrům protlačovací trouby a vystrojení vstupního a výstupního těsnicího prstence otvoru.

Šířka šachty závisí v první řadě na **šířce hlavní tlačné stanice**. Navržená šířka šachty musí poskytovat manipulační a ochranný prostor pro pracovníky dle vyhlášky SÚIP a ČBÚ a prostor pro zabudování definitivního objektu v šachtě.

3. Pažení šachet a jam

Pažení šachet a jam se provádí pomocí těchto metod v závislosti na stabilitě stěn:

- klasické hloubené šachty a jámy:
 - nepažené jámy,
 - šachty a jámy s provizorním pažením,
 - šachty a jámy se ztraceným pažením;

- spouštěné šachty:
 - uzavřené (kesony),
 - otevřené (studny);
- vrtané šachty.

Nepažené pracovní jámy. Pro bezvýkopovou výstavbu na nezastavěném území, kde je na povrchu dostatek místa, lze pro protlačování využívat i nepažené stavební jámy. Nepažené pracovní jámy se zpravidla využívají jen při technologiích, pro které postačují výkopy minimálních rozměrů a malé hloubky, např. při pneumatickém propichování, vodorovném beranění a vrtání. Častěji je nutné pracovní šachty nebo jámy pažit.

Výstavba ve svahové jámě je v nezastavěném terénu nejlevnější a technicky nejméně náročná. S ohledem na rozsah zemních prací je tím výhodnější, čím **blíže k povrchu je nivelita protlačovaných trub**. Nepažené pracovní jámy nebo šachty jsou ekonomické do hloubky 2,5 až 3,0 m. Hlubší jámy nebo šachty se jako nepažené nedělají, jelikož s hloubkou rychle narůstá plocha záboru a kubatura výkopku a zhoršují se podmínky pro montáž, demontáž a práci protlačovací soupravy.

Pažené pracovní šachty a jámy. U pracovních šachet, resp. jam lze rozlišit dva základní typy pažení:

- a. pažení použitelné opakovaně,
- b. pažení, které částečně nebo úplně zůstává v zeminovém masivu.

Použití obou typů pažení je možné nad i pod hladinou podzemní vody.

a) Pažení použitelné opakovaně

Opakovaně použitelné je takové pažení, které se po ukončení výstavby z pracovní, resp. cílové šachty nebo jámy demontuje a **lze ho znovu použít**. Za opakovaně použitelná je možno považovat v zásadě všechny druhy pažení uplatňované při zakládání staveb. S ohledem na rozměry a hloubky pracovní šachty a nutnost přenést relativně velké reakce od protlačovací síly se nejčastěji používá:

- jednoduché pažení,
- standardizované pažení,
- segmentové pažení.

Jednoduché pažení. V praxi se uplatňuje nejčastěji u jam. Podle hloubky a rozměrů pracovní jámy a druhu zeminy se používá:

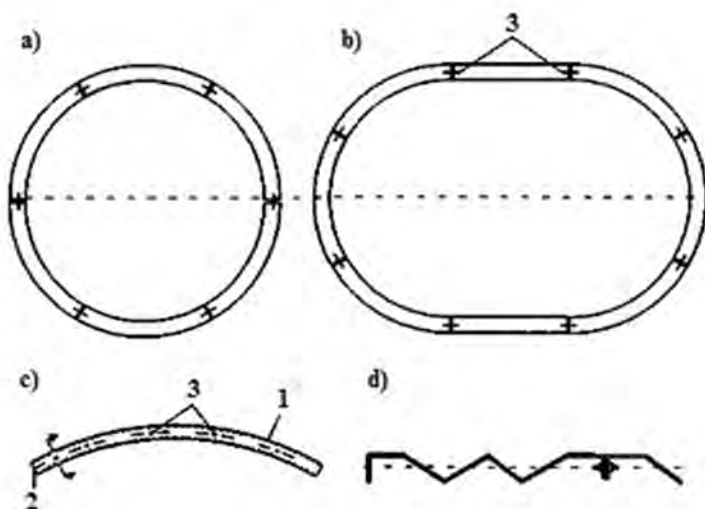
- příložné pažení z desek, ocelových pažin Union, resp. silničních panelů, rozepřené vodorovnými rozpěrnými rámy,
- zátažné nebo záporové pažení,
- pažení štětovými stěnami.

Při protlačování pod hladinou podzemní vody musí být dno pracovní šachty nadimenzováno na vztlak (bývá masivní, železobetonové). Před vyřezáním

zápichového otvoru do čelní štětové stěny se doporučuje zeminový masiv v místě zápichu proinjektovat.

Standardizované pažení. Je vhodné pro pracovní šachty jednoduchých tvarů půdorysu (kruh, obdélník) a typizovaných rozměrů. Pažení se skládá z prefabrikovaných prvků velkých rozměrů, nejčastěji ocelových, které lze jednoduše smontovat a demontovat.

Segmentové pažení. V zahraničí často používaným typem pažení šachet je segmentové pažení z tzv. **liner plates – vlnitých plechů** ohýbaných do tvaru dílců s přírubami, které jsou spojovány do požadovaného tvaru a velikosti sešroubováním (obr. 5.147). Dílce jsou velmi lehké, materiálově nenáročné a manipulace s nimi je rychlá.



Obr. 5.147 Výstroj šachet z ohýbaných plechů.

a – kruhová šachta, b – šachta se zaoblenými čely, c – segment pažení, d – příčný řez segmentem, 1 – vlnitý plech, 2 – příruba, 3 – otvory pro spojovací šroub.

Hodí se pro **šachty kruhového nebo zaobleného půdorysu menších rozměrů** – průměru asi do 4,0m. Prostor za segmenty, který má i v důsledku zvlněného povrchu jejich pláště nestejnou tloušťku, se zpravidla zaplňuje cementovou maltou. Demontáž segmentů se dělá ještě před zasypáním šachty, přičemž je někdy potřeba použít pomocnou rozpěrnou konstrukci.

b) Pažení částečně nebo úplně zůstávající v zeminovém masivu

V případě, že se startovací, resp. cílovou šachtu podaří situovat tak, aby byla využitelná i po ukončení protlačování, jeví se výhodnější taková konstrukce jejího pažení, která může sloužit – částečně nebo úplně – jako **součást definitivní výstroje šachty**. Šachty jsou montovány ze železobetonových nebo plastbetonových skruží jmenovité světlosti DN 2000 až 3600, ale pravoúhlých prostorových dílců. Vzhledem k tomu, že pro provoz hotového díla postačují zpravidla šachty menších půdorysných rozměrů, než jaké musí mít pracovní šachta při protlačování,

je hospodárné – i za cenu zvětšení počtu typů profilů – minimalizovat rozměry cílových, resp. mezilehlých šachet.

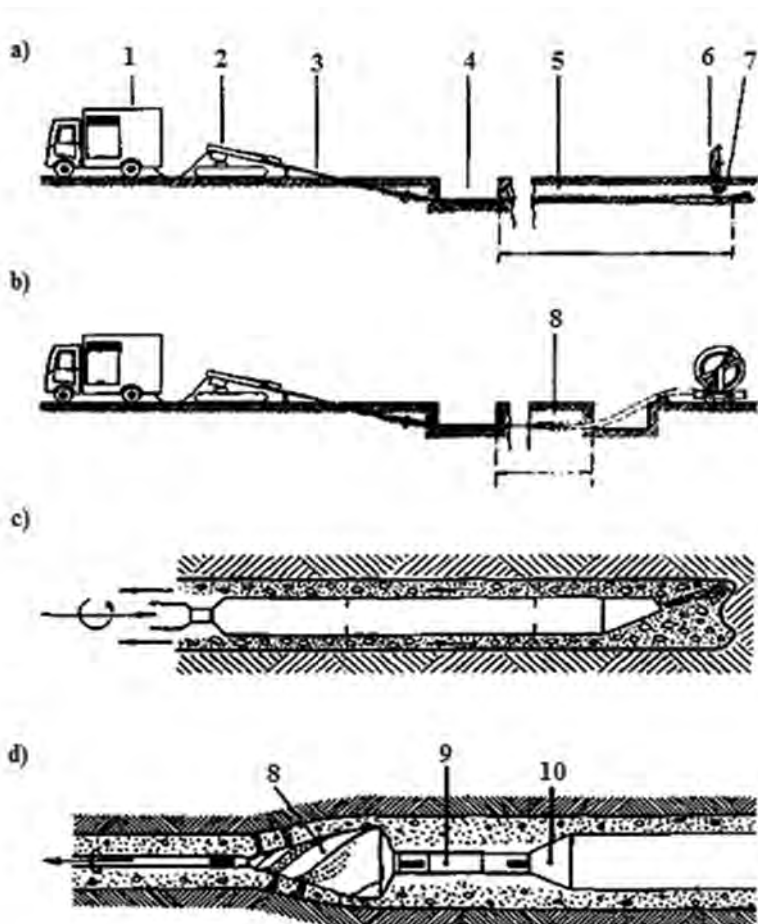
5.2.4.5 SMĚROVÉ VRTÁNÍ

Vývoj strojů pro **směrové vrtání** – známé též pod názvem **Horizontal Directional Drilling (HDD)** probíhá od konce 80. let minulého století. **Řízené vysokotlaké vrtání vrtnou kapalinou, tzv. softboring** pochází z USA, kde se při jeho návrhu vyšlo ze strojů pro vertikální vrtání, používaných při dobývání ropy. V počátcích byl vývoj zaměřen na malé vrtné soupravy o tažné síle do 50 kN, které byly schopny zatahovat roury o jmenovité světlosti do DN 250 na délku 180 m. V současnosti jsou na trhu vrtné stroje o tažné síle až 4 000 kN, které pokládají roury jmenovité světlosti DN 1600 na délku až 2 000 m. Vrtné soupravy jsou podle typu a provedení použitelné do hloubky až několika desítek metrů. Výhoda vrtných souprav je v mobilnosti celého zařízení. **Vysokotlaké vrtání vrtnou kapalinou je vhodné do zemin**, především do hlín, jílu, spraší, písků a štěrkopísků. V případě výskytu skalních hornin je nutné použít jiné technologie pro řízené vrtání a rozšiřování např. vrtání pomocí technologie ponorných motorů, vrtání pomocí hydraulického příklepu a další.

Rozpojování zeminy je prováděné jejím **rozplavováním proudem tlakové vody** s přetlakem 1 až 35 MPa, který stříká na plochu čela vrtu z otočných, dálkově ovládaných trysek průměru 1 mm. Tryska se otáčí rychlostí 60 ot/min tak, aby proud vody pokryl celou plochu čela vrtu. Podpírání plochy čela výrubu je pneumatické, na čele je vytvořený určitý přetlak, který je využíván také pro odplavování rozpojené zeminy skrz vodící rouru do cílové šachty. Přesnost vrtání je zajištěná již při zřizování vodícího vrtu. Kolébkou těchto technologií je jednak USA, kde byl vyvinut systém Flow Mole a jednak také Japonsko, kde bylo vyvinuto zařízení typu AH-J.

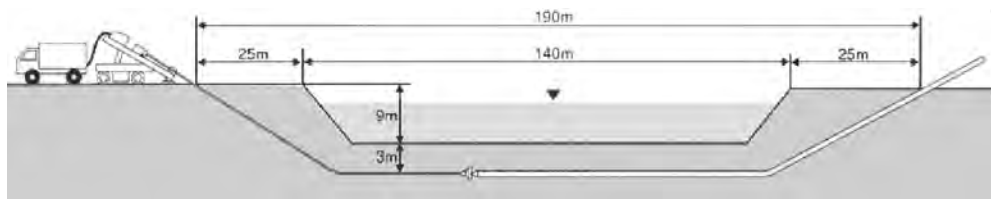
Systém Flow Mole byl vyvinutý pro ukládání kabelů a potrubí vnějšího průměru do 150 mm. Zařízení pracuje dvojfázově. Vrtání probíhá za účinné podpory paprsků směsi vody a bentonitu a zemina se čele vrtu se rozrušuje bentonitovou suspenzí, která také proniká i do zeminového masívu a tak stěny vrtu „vyztužuje“. Směrové vedení výplachové hlavy je kontrolováno elektromagneticky z povrchu terénu. Během vrtání pilotního vrtu je soustavně prováděna kontrola směru a hloubky vrtného nástroje, což je umožněno vyhodnocováním rádiového signálu vysílače uloženého ve vrtném nástroji. V případě potřeby směrové, resp. výškové korekce je možné okamžitě provést potřebná opatření. Vrtat lze také v směrovém, resp. výškovém oblouku, což umožňuje obejít překážku v trase. Dosažitelná přesnost lokalizace vrtného nástroje je v ideálních podmínkách v hloubkách do 5 metrů 25 mm.

Metoda řízeného vysokotlakého vrtání vrtnou kapalinou je **metodou dvoufázovou** (obr. 5.148). **V první fázi je realizován vodící vrt** pomocí speciální vrtné hlavy s tryskami, umístěné na ohybné vrtné koloně. **V druhé fázi** je vrtná hlava vyměněna za rozšiřovací hlavu a tažné zařízení. Rozšiřovací hlava při zpětném zatahování rozšiřuje vodící vrt. Vrtná kapalina dodávaná do vrtu paží okolní zeminu a snižuje tření mezi zeminou a zatahovací troubou. Tím dochází současně k ochraně povrchu zatahovaného produktovodu.



Obr. 5.148 Řízené vysokotlaké vrtání vrtnou kapalinou.

- a – schéma provádění vrtu, b – rozšiřování vrtu se současným zatahováním roury,
- c – princip rozpojování zeminy vrtnou hlavou a účinkem vysokotlakého paprsku,
- d) princip rozšiřování vrtu: 1 – zdroj energie a vrtné kapaliny, 2 – vrtný stroj,
- 3 – zápichový otvor, 4 – pracovní jáma, 5 – vrtné soutyčí (trubky),
- 6 – určování polohy, 7 – vrtná hlava, 8 – rozšiřovací hlava, 9 – kloubová spojka,
- 10 – adaptér pro uchycení zatahované roury.



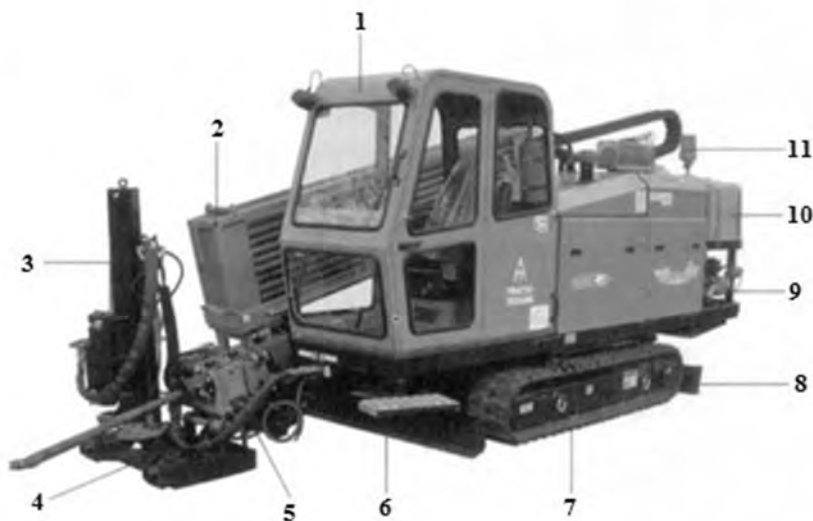
Obr. 5.149 Znáznornění hlavních rozměrových parametrů systému Flow Mole.

1. Složení vrtné soupravy

Zařízení FlowMole tvoří **speciální vrtná souprava pro horizontální vrty**, která dokáže směrově naváděným, vodícím vrtem, podejít danou překážku. **Vrtací zařízení je mobilní**, na pásovém podvozku. Vrt lze začít šikmo a přímo na nezpevněném povrchu nebo z mělké šachty po proražení zpevněných povrchových vrstev vozovky. **Vrtání je říditelné**, minimální poloměr při změně směru je daný přípustným ohybem vrtného soutyčí. Uvádí se minimální poloměr 9 m. Po dosažení cílové šachty, která může sloužit i jako pracovní šachta pro další úsek vrtu, se výplachová hlava demontuje, na vrtací soutyčí se připevní do rozšiřovací hlavy potrubí užitkového vedení, resp. kabelu a zatáhne se do suspenzí vyztuženého vrtu. **Celé zařízení včetně míchačky a zásobníku bentonitové suspenze, skladu vrtných trubek a náhradních dílů je kontejnerizované.**

Vrtná souprava pro řízené vysokotlaké vrtání vrtnou kapalinou se skládá z:

- vrtného stroje (obr. 5.150),
- vrtných trubek (soutyčí),
- vrtných a rozšiřovacích nástrojů,
- míchací jednotky pro přípravu vrtné kapaliny,
- čerpadla pro vrtnou kapalinu,
- výplachového okruhu,
- naváděcího a řídicího zařízení,
- zařízení pro recyklaci vrtné kapaliny (v případě dlouhých vrtů).



Obr. 5.150 Vrtná souprava pro řízené vysokotlaké vrtání vrtnou kapalinou (Tracto-Technik, Německo).

- 1 – kabina, 2 – zásobník na vrtné trubky, 3 – zařízení pro ukotvení stroje,
- 4 – opěrná deska, 5 – upínací a uvolňovací mechanismus, 6 – přední opěrná radlice,
- 7 – gumové pásy, 8 – zadní opěrná radlice, 9 – čerpadlo na vrtnou kapalinu,
- 10 – vysokotlaký čistící systém se zásobníkem na vodu, 11 – zařízení pro přiklep.

2. Vrtné stroje

Podle DCCA (1998) se rozdělují **vrtné stroje na malé (mini), střední (midi) a velké (maxi)** a jsou charakterizovány těmito parametry:

- tažnou/tlačnou silou na vrtnou a rozšiřovací hlavu,
- obvodovou rychlostí,
- krouticím momentem,
- výkonem pohonné jednotky.

Velikost tažné síly a krouticího momentu na vrtném stroji je uvedena podle velikosti stroje v tabulce 5.21. Využití velikosti krouticího momentu je závislé na kvalitě vrtných trubek a použitých vrtných a rozšiřovacích nástrojů.

Tabulka 5.21 Doporučené rozdělení vrtných strojů podle DCCA (1998).

Parametr	Jednotka	Malý (mini)	Střední (midi)	Velký (maxi)
Tažná/tlačná síla	[kN]	do 177	178 – 445	445 – 4 000
Krouticí moment	[kNm]	do 16	17 – 89	90 – 150
Maximální délka vrtu	[m]	≤ 400	≤ 600	≤ 2 000
Průměr vrtu D_{vrt}	[mm]	≤ 400	100 – 600	≤ 1 800

Vrty jsou malými soupravami realizovatelné ve všech soudržných sedimentech bez obsahu hrubého štěrku, kamenů a balvanů. Pro vrtání v poloskalním a skalním prostředí se používají vrtné hlavy s ponornými motory (motory poháněné vrtnou kapalinou, umístěné na vrtné hlavě a pohánějící rotační vrtná dláta). Přenos tažné, resp. tlačné síly a krouticího momentu na vrtné trubky je realizován **saněmi, které jsou uloženy na lafetě**. K přenosu tažné, resp. tlačné síly dochází prostřednictvím řetězu, ocelového lana nebo pomocí **přímočarých hydromotorů**. Výhoda řetězu spočívá v bezpečnosti a robustnosti, naopak jeho nevýhoda je ve velké hmotnosti. Nevýhodou ocelových lan je riziko přetržení, a tím ohrožení blízko stojící obsluhy.

Některá vrtná zařízení jsou projektována pro **vrtání na sucho** bez použití vody nebo vrtných kapalin. Jsou jednodušší na provádění, vytvářejí méně nepořádku a nevyžadují tolik zařízení, ale mohou mít omezení na rozměrové parametry a na geologické podmínky, které může stroj zdolávat.

Nárazové vrtání může kombinovat osovou sílu a rotaci. To může být dosaženo buď s **ponorným kladivem, nebo vytvářením příklepu vrtným strojem na povrchu** a jeho přenosem přes vrtnou kolonu. V každém případě to může zlepšit výkonnost vrtného stroje v obtížně vrtatelných podmínkách.

Existují dvě základní kategorie vrtných souprav - startující z povrchu a startující z jímky. **Soupravy startující z povrchu** jsou často montovány na podvozku a mohou se pohybovat na lokalitě a operovat vlastním pohonem.

Zatímco tyto nevyžadují startovací nebo přijímací jímku, jsou výkopy nicméně požadovány, aby vytvořily spojení na každém konci potrubí.

Soupravy startující z jímky vyžadují výkopy na každém konci vrtu, ale mohou být prováděny v omezeném prostoru. Některé z více kompaktnějších strojů mohou pracovat z výkopů jen o málo větších než je potřeba pro vytvoření spojení pro instalované potrubí. Délka jednotlivých vrtných trubek je omezena rozměry výkopů a to může ovlivňovat rychlost provedení a náklady na vrtné trubky.

Soupravy startující z jímky jsou ustaveny do pozice v jímce s použitím zadní a čelní stěny jámy k poskytnutí reakce na tlačné a tažné síly. Soupravy startující z povrchu používají nějakou z forem vzpěr k jejich ukotvení do země. Na kultivovanějších strojích může tento **vzpěrový systém** být hydraulicky ovládaný.

Některé soupravy pro startování z povrchu jsou kontejnerového provedení a mají na ložné ploše míchací nádrže a čerpadla pro výplachové kapaliny, spolu s příslušným pohonem, ventily a řídicím systémem. V jiné variantně mohou být provozovány také separátní míchací a čerpadlové jednotky. Kapalina je čerpána skrz **duté vrtné trubky k vrtnému nástroji a vrací se mezikružím** mezi stěnou vrtu a vrtnými trubkami. Kapalina spolu s vynášenou drtí může být čerpána do filtrační jednotky pro separaci drtě a čerpána zpět do vrtu.

Vrtné soupravy, zvláště ty startující z povrchu, mohou zahrnovat **vestavěný automatický systém podávání vrtných trubek**, který obsahuje vrtné trubky uložené v „karuselu“ a tyto jsou automaticky přidávány nebo odebírány z vrtné kolony podle toho, jestli vrtání pokračuje vpřed nebo probíhá proces zatahování vrtné kolony s přibíráním (obr. 5.151). To může být provozováno ve spojení s **automatickým šroubovacím zařízením vrtných trubek**. Automatická manipulace s vrtnými trubkami se stává stále více běžnou, dokonce i u malých strojů, protože urychluje sestavování vrtné kolony, zvyšuje bezpečnost a snižuje požadavky na pracovní sílu.



Obr. 5.151 Vrtná souprava pro usměrněné horizontální vrtání s automatickým systémem podávání vrtných trubek.

Kapacita strojů pro usměrněné vrtání se značně mění podle typu zeminy, přes kterou vrt prochází. Všeobecně homogenní jíly jsou nejpříznivější zeminou, zatímco písek může představovat problémy, zvláště jestli je pod hladinou vody nebo není samonosný. Šterky mohou být také procházeny, ale na úkor zvýšeného opotřebení vrtací hlavy. Standardní stroje, bez příklepné činnosti, jsou obecně nevhodné pro procházení hornin nebo tvrdých proplátek a vrtací hlava se buď zastaví, nebo uhne ze směru vrtání, když se takové překážky vyskytnou.

Ponorné motory, poháněné výplachovou kapalinou mohou být použity k pohonu vrtných nástrojů a tato technologie může být použita **ve spojení s některými více výkonnými stroji**. Jiný způsob zvýšení výkonu ve tvrdých formacích je **použití příklepu ve spojení se čelním tlakem a rotací**. Příklep může být také přenášen vrtnou kolonou ponorným kladivem vestavěným do vrtné soupravy nebo v některých případech vzduchovým kladivem nad vrtným nástrojem. Příklep umožní zlepšit průnik a směrové řízení v kamenitých zeminách nebo v měkkých horninách, ale je uvažován především pro vrtání v pevných horninách nebo v souvislých masívech nebo ve velmi tvrdých materiálech, jako je beton.

Zatímco většina souprav pro řízené vrtání používá vrtné kapaliny k mazání vrtací hlavy, k transportu vrtné drtě do odkalovací jímky a stabilizaci vrtu, některé systémy jsou projektovány pro **vrtání na sucho** bez použití vody nebo vrtných kapalin. Jsou dostupné jak verze startující z jámky, tak verze startující z povrchu. Soupravy pro vrtání na sucho mají tendenci být kompaktnější a jednodušší než většina souprav pro vrtání s proplachem, ale mohou mít omezení na rozměrové parametry a na geologické podmínky, které může stroj zvládat.

Vrtné soupravy pro vrtání na sucho používají obvykle **vysoko frekvenční vzduchová kladiva** na vrtací hlavě k vytváření pilotního vrtu. Z tohoto hlediska je tato koncepce je podobná protlačecímu zařízení na konci vrtných trubek, které také slouží jako přepravní kanál stlačeného vzduchu k pneumatickému kladivu. Jako u proplachových systémů, je vrtný nástroj na čele kladiva zaostřen, což umožňuje, aby průběh vrtu byl řízen zastavením rotace ve zvláštní orientaci.

U malých průměrů trubek může být instalace kabelu, kuželovitý rozšiřovač s tvrdokovovými zuby přímo spojené s vrtnými trubkami. Rozšiřovač je opatřený vzduchovými tryskami, vzduch proudí skrz vrtné trubky a vysoká rychlost vzduchu umožní čistit vrt v průběhu zpětného rozšiřování. S rozšiřovačem se rotuje a je tažen zpět do rozšířeného vrtu s trubkami připojenými na zádi rotujícím spojením k danému typu tažné hlavy.

U velkých průměrů je používáno rozšiřovací kladivo se vzduchovým pohonem, opět s kolonou vrtných trubek připojených k zádi zařízení prostřednictvím rotačního spojení. Příklepný účinek přibíracího kladiva je hlavní faktor při rozšiřování vrtu a rotace není potřebná v průběhu přibírky.

3. Vrtné trubky

Vrtné trubky plní při řízeném vrtání tyto funkce:

- přenos tlačné a tažné síly na vrtné nástroje,
- přenos kroučícího momentu,
- vedení vrtné kapaliny od vrtného stroje k vrtné a rozšiřovací hlavě.

Materiál používaný k výrobě vrtných trubek umožňuje realizovat oblouk už od průměru 8 m. Při vrtání je možné provádět více změn směru vrtání.

V ideálním provedení by měly být vrtné trubky bez výstupků, celé hladké. Ocel použitá na vrtné trubky je speciálně navržena **pro vysoké namáhání**. Trubky musí přenést vysoké síly a kroučící moment. V případě pomocného příklepu od vrtného

stroje musí přenést **dynamické síly** i při vychýlení z osy vrtu. Schopnost vrtných trubek procházet okolo překážek je dána průměrem, tloušťkou stěny a modulem pružnosti materiálu trubek. Pro malé vrty jsou určeny trubky o průměru asi 25 mm, pro velké vrty o průměru do 170 mm. Podle průměru vrtných trubek se rádius oblouku pohybuje v rozmezí 8 až 250 m.

4. Vrtná hlava pro pilotní vrt

Vrtná hlava se používá k vrtání pilotního vrtu a je napojena na vrtnou kolonu. Vrtání v zeminách probíhá tryskovým působením usměrněného vysokotlakého paprsku vrtné kapaliny a částečně i mechanickým odvrtáváním.

Vrtná hlava je obvykle **konusová**, aby konstantní rotace vrtné kolony vytvářela přímý vrt, zatím co udržování hlavy v jedné poloze způsobuje odklon průběhu vrtu. **Sonda nebo vysílač** mohou být vestavěny do hlavy nebo těsně připojeny k ní a jím vysílané signály jsou zachycovány a přenášeny přijímačem na povrchu, takže umožňují, aby směr, hloubka a další parametry byly monitorovány. Jsou také používány **kabelové naváděcí systémy** s kabelem vedeným ve vrtných trubkách, zvláště v případech, kde průběh vrtu nemůže být zřetelně indikován na povrchu, nebo kde hloubka vrtání je příliš velká pro přesnou lokalizaci metodami přenosu radiových vln.

Vrtné hlavy se rozdělují podle délky, průměru, počtu a druhu vložek trysky a podle umístění zkosené řídicí plochy. Průměr vrtné hlavy je dán průměrem vrtných trubek a pohybuje se v rozmezí 40 až 160 mm. Počet vložek trysek je minimálně 3. Průměr vložky trysky je 1 až 10 mm a jejich odklon od osy vrtné hlavy je 1 až 20°.

V případě vrtání ve zhoršených geologických podmínkách se používají **speciální vrtné hlavy**:

- a. s valivými dláty a tryskami,
- b. s vrtnou korunkou osazenou tvrdokovem.

Pro zlepšení řízení jsou vrtné hlavy dodávány v různých modifikacích (podle vlastností prostředí). V případě zemin s příměsí kamenů se používá **příklepové vrtné kladivo** zabudované ve vrtné hlavě a poháněné vrtnou kapalinou nebo vzduchem.

5. Rozšiřovací hlava pro rozšíření vrtu

Rozšiřování vrtu se provádí pomocí rozšiřovací hlavy. Podle provedení rozdělujeme Fengler (1998) rozšiřovací hlavy na:

- a. **kuželové rozšiřovací hlavy** (Cone Compaction Backreamer) určené do zemin a poloskalních hornin (obr. 5.152);
- b. **barelové rozšiřovací hlavy** (Barrel Reamer) určené pro oboustranné tažení, kterého nelze využít u ostatních rozšiřovacích hlav. Tělo rozšiřovací hlavy má tvar válce a na koncích je ukončeno kuzelem nebo polokoulí. Na obou stranách je rozšiřovací hlava osazena dláty a tryskami;
- c. **frézové hlavy** (Fly Cutter), konstrukčně vylehčené, vhodné pro rozšiřování vrtu v zeminách až do průměru 1 400 mm;

- d. **valivé rozšiřovací hlavy** (Hole Opener, Roller Hole Opener) určené pro tvrdší horniny a pracující na principu drčení horniny (pomocí valivých dlát) ve směru tahu vrtné soupravy.



Obr. 5.152 Kuzelová rozšiřovací hlava (Cone Compaction Backreamer) určená do zemin.

Podobně jako vrtné hlavy i rozšiřovací hlavy pracují na principu tryskového působení vysokotlakého řezného paprsku vrtné kapaliny a mechanického odvrátávání. Rychlost rotace vrtné hlavy, velikost přtlaku vrtné hlavy, tlaku a množství vrtné kapaliny se volí podle vrtaného prostředí.

6. Příslušenství

Příprava vrtné kapaliny se provádí v **míchacích jednotkách**. Míchací jednotky musejí zabezpečit dostatečné množství vrtné kapaliny a navrhují se pro:

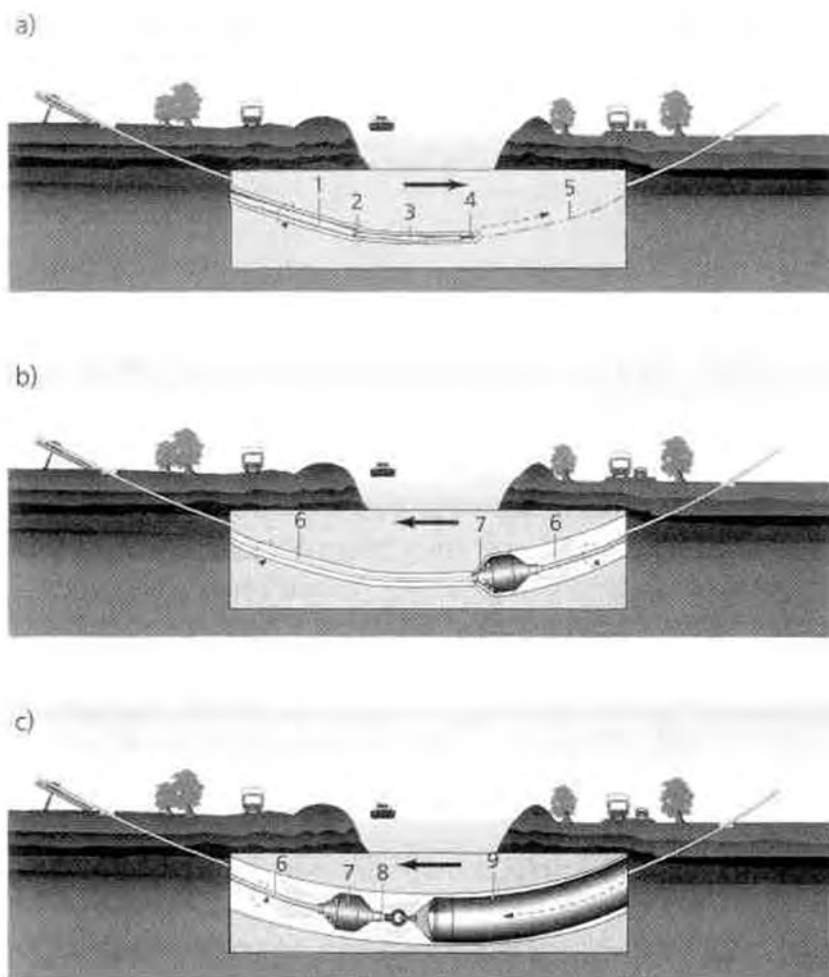
- malé vrtné soupravy pro průtok Q do 10 m³/hod, objem $V = 0,1$ až 0,5 m³,
- velká zařízení pro průtok Q do 50 m³/hod a více, objem $V = 50$ m³ a více.

Míchací jednotky jsou ovládány manuálně, poloautomaticky nebo plně automaticky.

Ačkoliv je pozornost zaměřena především na hlavní části systému, existuje množství **přídavných a pomocných zařízení**, která hrají důležitou úlohu v úspěchu projektu naváděcího nebo usměrněného vrtání.

Jsou dostupné **různé typy vlečných hlav pro polyetylenové trubky**, včetně **tlakově těsných hlav** zaměřených specificky na usměrněné vrtání. Jedna funkce tažných hlav při usměrněném vrtání je zabránit vstupu vrtné kapaliny nebo vrtné drtě do ochranné trubky (chráničky), což může být důležitým požadavkem pro trubky pro pitnou vodu, které musí být sterilní.

Rotační spoje jsou podstatným komponentem v průběhu přibíracích operací a operací vlečení ochranných trubek a měly by být konstruovány k zabránění vstupu výplachu a drtě do ložisek. Jsou dostupné typy s kapacitami v tahu od méně než 50 kN do více než 2 000 kN. Další důležitá pomocná zařízení může zahrnovat zařízení pro tepelné spojování polyetylenových trubek, válečky pro snadnější transport a manipulaci s trubkami a kabelové navijáky.



Obr. 5.153 Pracovní postup provádění řízeného horizontálního vrtání.

- a - vrtání pilotního vrtu, b - postupné rozšiřování pilotního vrtu, c - zatahování trub,
 1 - rozšiřující trubka, 2 - řezná korunka, 3 - navigační zařízení, 4 - vrtná hlava,
 5 - trasa vrtu, 6 - vrtná kolona, 7 - rozšiřovací hlava,
 8 - kloubová spojka, 9 - zatahované roury.

7. Pracovní postup při řízeném horizontálním vrtání technologií Flow Mole

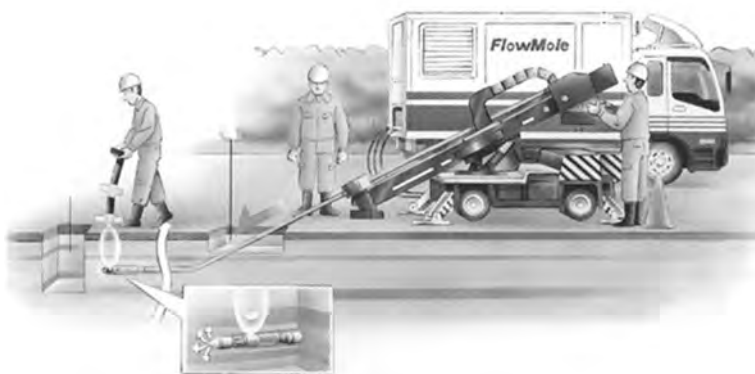
- a. Přípravné práce:** provedení výkopů startovacích a cílových jam (velikosti cca 1,0m × 1,0m × hloubka, načerpání vody do nádrží a smíchání s bentonitem, příprava a propojení systému (vrtné soupravy se samostatnou hnací jednotkou).
- b. Provedení vodícího (pilotního) vrtu, vyhledávání optimální trasy.** Vrtmistr kontroluje průběh vrtání díky vysílači, který je umístěn v těle vrtné hlavy. Na svém přijímači vrtmistr neustále vidí v jaké hloubce, směru a sklonu se nachází vrtná hlava a podle potřeby dává pokyny

strojníkovi u vrtné soupravy. Vrtá se pomocí vysokotlaké směsi, která je vháněna z pohonné jednotky v kontejneru do vrtné hlavy, umístěné na čele vrtných trubek. Z vrtné hlavy směs stříká do země, kde rozplavuje a roztlačuje zeminu a postupuje vpřed. Zemina rozpojována působením paprsků velmi malého množství vrtné kapaliny vycházejících pod tlakem z trysek na čele nástroje (tzv. jet drilling) průtokem asi 16 až 20 l/min s tlakem 21 až 35 MPa. Paprsek vrtné kapaliny v ponořeném prostředí velmi rychle ztrácí svoji rozpojovací sílu, což radikálně snižuje erozi půdy a kavernování vrtu. Vrtná kapalina má především funkci řezného a rozpojovacího nástroje.

Změna směru je umožněna kombinováním způsobů vrtání (rotační - přímý postup vrtu a hydraulický - vychylování vrtné hlavy do požadovaného směru). Při potřebě změny směru vrtání obsluha vrtné soupravy **zastaví rotaci vrtné hlavy**, čímž dochází pouze k přítlaku na vrtnou hlavu. Prostředkem pro ovládání vrtné hlavy je speciálně upravený hrot vrtné hlavy. Klínová plocha působí jako řídicí plocha. Při provádění oblouku se na jeho vnější straně aktivuje pasivní zemní tlak mezi zeminou a šikmou plochou vrtné hlavy.

Při řízeném horizontálním vrtání je **pilotní vrt** veden pod předepsaným sklonem a pokračuje pod povrchem terénu k cílové jámě. Podélný profil vrtu je tvořen z přímých úseků a přechodových oblouků o velkém poloměru (obr. 5.153a). **Typ vrtné hlavy** je navrhován podle geologických podmínek a délky vrtu. Vrtání probíhá pomocí vrtné korunky na přední vrtné kolony.

Tímto způsobem se provede pilotní vrt ze startovací jámy až do cílové jámy. V cílové jámě se provede výměna vrtné hlavy s vysílačem za rozšiřovací hlavu, potřebnou pro požadovaný průměr nového potrubí.



Obr. 5.154 Vrtání vodícího vrtu a kontrola směru a hloubky vrtného nástroje.

- c. Rozšiřování vrtu.** Při rozšiřování opět s podporou výplachové směsi, dochází k roztlačení zeminu a zvětšení průměru původního pilotního vrtu až na požadovanou velikost, podle průměru vtahovaného potrubí.

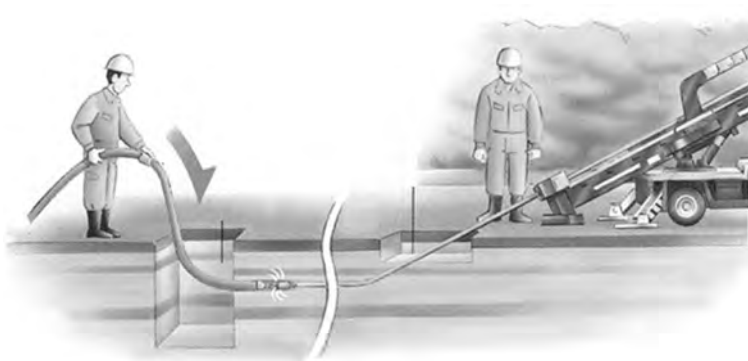
Rozšíření vrtu na požadovaný průměr se provádí pomocí **rozšiřovací hlavy**, a to jedno- nebo vícefázově podle průměru zatahovaných trub, délky

a geologických podmínek v trase. Při jednofázovém rozšiřování jsou zatahované roury po provedení pilotního vrtu napojeny přímo prostřednictvím přechodového kusu k rozšiřovací hlavě a protaženy vrtem. Pro zamezení přenosu otáčení z rozšiřovací hlavy na tažené trouby se používá **přechodový kus**.

Průměr vrtu se navrhuje o 20 až 30 % větší než vnější průměr zatahovaných trub, aby byl zajištěn prostor mezi stěnou vrtu a zatahovanými rourami pro vrtnou kapalinu, která maže, paží a dopravuje odvrtnou zeminu z vrtu ven. Při velkých průměrech probíhá rozšiřování ve dvou nebo více fázích (obr. 4.153b). Protahování trub se provádí:

- současně při posledním rozšíření na požadovaný průměr (tj. za rozšiřovací hlavu jsou připojeny tažené roury),
- po posledním rozšíření na předepsaný průměr se provede opětovné protažení vrtu hlavou o stejném průměru, jaký měla hlava při posledním rozšíření. Při druhém protažení má rozšiřovací hlava funkci čištění vrtu, současně jsou zatahovány roury (obr. 5.153c).

Zatahované roury musejí být na povrchu terénu (tj. před vstupem do vrtu) po celé délce položeny na rolovacím zařízení, aby nedošlo k poškození povrchu trub.



Obr. 5.155 Provádění rozšiřování vrtu a současně zatahování potrubí.



Obr. 5.156 Schematické znázornění rozšiřovací hlavy ve spojení se zatahovacím potrubím.

- d. Vtažení potrubí do pilotního vrtu.** Jakmile je ukončeno rozšíření celého vrtu zapojí se za rozšiřovací hlavu předem připravené potrubí a vtáhne se nové potrubí do rozšířeného vrtu. Vtahování potrubí probíhá opět s podporou bentonitové směsi. Vrt je dokončený, jakmile je celé potrubí vtaženo do vrtu.

Průměry vrtu	
vodící vrt	rozšířený vrt
DN 50	DN 125
DN 63	DN 160
DN 75	DN 225
DN 90	DN 315
DN 110	DN 400



Obr. 5.157 Vrtná souprava typu Vermeer pro horizontální řízené vrtání a používané průměry pilotního a následného rozšiřovacího vrtu.

Výhodou zařízení tohoto typu je, že v **průběhu vrtání lze měnit směr**, což umožňuje vyhýbat se překážkám, vyskytujícím se na trase. **Změnu směru vrtání** je možno provést zastavením rotace vrtného soutyčí, jeho pootočením tak, aby nástroj svou šikmou plochou na čele směřoval do požadovaného směru a následným přitlakem bez rotace po určitou dobu. Výhodou je také malý přitlak na výplachovou hlavu, takže nedochází k poškození starých vedení, křižujících směr vrtání při případné kolizi. **Největší předností je prostorová nenáročnost**: vrtat lze pod frekventovanými komunikacemi i souběžně s nimi při minimálním narušení dopravy.

8. Geometrie vrtu

Při **návahu geometrie vrtu** doporučuje Fengler (1998) dodržet následující návrhové parametry:

- **úhel vstupu vrtu** v rozmezí 6 až 12° a **úhel výstupu** 8 až 20° (optimální 12 až 15°), přičemž úhel vstupu a výstupu vrtu je závislý na výšce oblouku uložených zatahovaných trub před zatahovací jámou a na volné ploše; čím větší je průměr zatahovaných trub, tím více je nutno zmenšit úhel vstupu;
- **minimální výška nadloží** nad zataženým potrubím 10 až 15 DN.

Poloměr křivosti vrtané trasy je závislý na:

- přípustném poloměru křivosti vrtných trubek,
- přípustném poloměru křivosti zatahovaných trub,
- úhlu vstupu a výstupu,
- výšce nadloží,
- geologických podmínkách,
- tažné síle při zatahování,
- překážkách.

Délka vrtu je závislá na pevnosti vrtných trubek v tlaku, na tažné síle stroje, odporech vznikajících při tření, pevnosti v tahu zatahovaných trub a hydraulické kapacitě vrtné soupravy



Obr. 5.158 Vrtné soutyčí s rozšiřovací hlavou ve spojení se zatahovaným potrubím v provozních podmínkách.

Způsob kontroly směru a směrová korekce. Při provádění vodorovného vrtu je poloha a hloubka hlavy určována navigačním přístrojem pro zjišťování polohy vrtné hlavy. Existuje několik systémů pro sledování průběhu dráhy vrtu. Ten nejběžnější, **označovaný jako „walk-over“ systém**, je založený na **sondě nebo vysílači, umístěném v pouzdře za vrtací hlavou**. Ten vysílá radiové signály, které jsou přijímány přijímačem na povrchu. Kromě udávání polohy a hloubky vrtací hlavy pod povrchem, přenášená data často obsahují úklon vrtného dláta, směrovou orientaci vrtací hlavy, stav baterie vysílače a teplotu vysílače. Je běžné, že tyto informace jsou přenášeny k přijímači u vrtacího stroje tak, aby operátor soupravy měl přímý přístup k těmto údajům a mohl dělat podle toho jakékoliv potřebné úpravy usměrňování trasy vrtu.



Obr. 5.159 Provádění povrchové kontroly směru pohybu vrtného nástroje.

Hlavní omezení systému „walk-over“ je, že je potřeba získat **přístup k povrchu přímo nad vrtací hlavou**. To může být překonáno použitím buď **kabelového naváděcího systému**, nebo vysílač obsahuje **elektronický kompas**. Kabelový

systém používá kabel vedený uvnitř vrtných trubek k přenosu údajů z vysílače do řídicího panelu. Přestože je kabel značnou technickou komplikací, umožňuje sledování trasy vrtu jakýmkoliv terénem bez spoléhání na přenos radiových signálů a může také být použit na lokalitách ovlivněných elektromagnetickou interferencí.

Aby bylo možné vyhnout se použití elektroniky při tvrdém dynamickém zatížení, jsou u vrtacích souprav pro vrtání na sucho a s použitím příklepového kladiva používány lokalizační a naváděcí systémy založené na magnetometrii. Permanentní magnety jsou zabudovány v sekci vodícího kladiva a magnetické pole je vytvářeno rotací kladiva. Velikost a kolísání tohoto pole jsou detektovány magnetometry na povrchu a digitální procesorová jednotka převádí tato data na údaje o lokalizaci, hloubce a směrovém úhlu vrtací hlavy.

Směrování vrtné hlavy u řízeného velkopřůměrového vrtání je zjišťováno elektronickým gyrokompasem. Data jsou z elektronického gyrokompasu přenášena kabelem do řídicího počítače, kde jsou zpracována a předávají tak informace o poloze a natočení vrtné hlavy. Povolena odchylka je $\pm 2\%$.

9. Požadavky na zeminné a horninné prostředí a možnosti použití

Podle Hradila (2001) je **technologie řízeného vysokotlakého vrtání vrtanou kapalinou** použitelná zejména v kvartérních sedimentech (jílech, slínkách, štěrkopískách, píscích) a v navážkách spíše sypkého charakteru, kde průchodnost terénem, hlavně u kratších vrtů, je především otázkou dostatečného pracovního tlaku výplachového čerpadla. Samozřejmě svoji stabilizační úlohu sehrává i kvalitní vrtná kapalina, zejména při závěrečných přibírkách se zatažením trub.

Výskyt např. jílovců, slínovců, pískovců, opuk apod. se u kratších vrtů řeší **použitím hydraulického příklepu**, kterým jsou však vybaveny pouze některé vrtné stroje.

V případech výskytu celistvých tvrdých hornin nebo štěrkových valounů ve vrtané trase je rozpojování vysokotlakým paprskem neúčinné a **tato technologie je pro tyto typy hornin nepoužitelná.**

Při vrtání v poloskalních a skalních horninách jsou uplatňovány různé typy vrtných hlav, např. TriHawk od firmy Vermeer nebo Scarab od firmy IDS. Kratší úseky tvrdých hornin se obvykle podaří projít s většími nebo menšími potížemi při řízení pilotní hlavy, takže cílovou jámu je nutno hloubit až po překonání překážky. Další technologie, které jsou v současné době využívány při výskytu tvrdých hornin:

- vrtání pomocí hydraulického příklepu od poháněcí jednotky (Top Drive Percussion Drilling),
- příklepové vrtání pomocí stlačeného vzduchu (Dry Directional Drilling),
- příklepové vrtání RockFire, na principu ponorného kladiva (Down-The Hole Hammer Drilling),
- ponorné motory (Mud Motors Drilling Technique).

Pro rozšiřování vrtu v zeminách se používají kuželové rozšiřovací hlavy, které rozšiřují (řežou) horninu v tangenciálním směru. Pro tvrdší horniny jsou potřebné

rozšiřovací hlavy s valivými dláty, pracující na principu drcení horniny ve směru tahu vrtné soupravy.

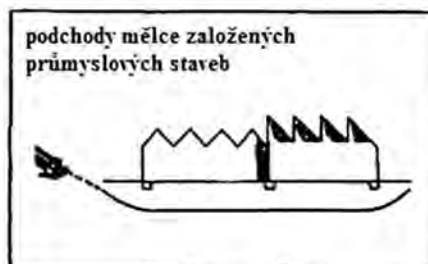
Geologické poměry podloží je třeba pro použití vrtného zařízení s výplachem charakterizovat následovně:

- písek s normální hustotou navrstvení, jemný písek/jíl bez hrubého písku a vrstev kamene se označují pro vrtání jako **dobré až velmi dobré**,
- hrubý písek a vrstvy s kamenem a usazeniny s velkou hustotou navrstvení se považují za **vhodné pro vrtání s omezením**,
- pro pevné horniny se používá **speciální vrtné vybavení**.

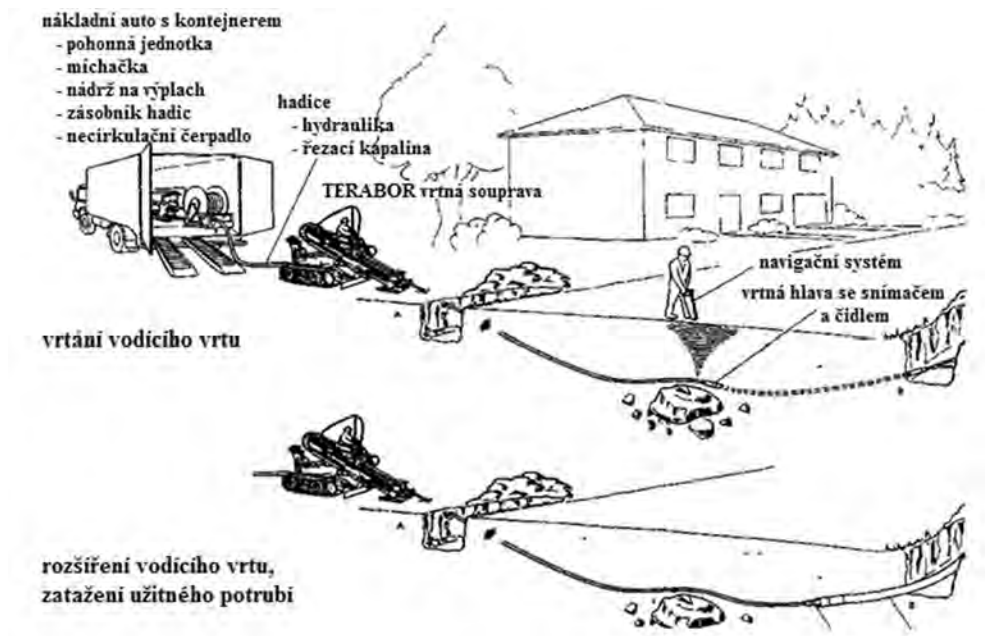
Za pomoci řízených vrtů s výplachem je možné pokládat takové trubky, které je možné navzájem spojit dostatečně pevně na tah, jako jsou trubky ocelové, duktilní z litiny nebo z vysokotlakého polyetylénu, ale i kabely a dálková potrubí tepla nebo drenážní potrubí.

Před zahájením samotných prací je nutné znát **strukturu podloží a eventuální polohu cizích inženýrských sítí**, aby se mohl brát zřetel na možné existující překážky při stanovení průběhu vrtu již ve fázi plánování. Ve vztahu k projektu může být vyžadováno výškové zaměření terénu a vytvoření profilu.

Možnosti využití



Stručné znázornění technologie



Ve srovnání s otevřeným způsobem stavby je tato technologie spojená s výhodami, které mají vliv jak na oblast životního prostředí, tak i na kvalitu potrubí, náklady a akceptování a plánování potrubí.

- Obzvláště v místě křížení vodotečí nebo pokládání v přírodních a vodních ochranných rezervacích nedochází k poškození nebo narušení životního prostředí.
- Vedení tras je možné nezávisle na zástavbě a uspořádání povrchu, a tím je i kratší přímé vedení tras (platí jak ve vztahu k poloze, tak i k hloubce).
- Touto technologií je daná delší životnost položeného potrubí při použití vysoce kvalitních materiálů potrubí (s větší silou stěny).
- Časy výstavby jsou většinou velmi krátké.
- Je zaručena jak přesnost položení, tak i přesné dokumentování hloubky položení (výškové a stranové odchylky jsou často menší, než u otevřeného způsobu výstavby).
- Z důvodů malé potřeby místa nedochází téměř k zábranám existujícího dopravního provozu nebo k omezování sousedů.
- Bez materiálu z výkopu a s ním spojeného narušení povrchu dochází k minimalizaci nákladů na skladování vykopaného materiálu i nákladů na uvedení do původního stavu.
- Protože vrtné soupravy operují z povrchu terénu, je velikost potřebných výkopů malá, opatření pro výztuž nebo zadržování vody jsou zapotřebí

jen ve výjimečných případech, tím dochází i ke snížení nákladů pro odškodnění obyvatel a poplatků za vodní potrubí.

- Vrtání ve vrstvách vedoucích vodu je zcela bez problémů (zadržování vody je tím potřebné příp. pouze v místech výkopu).
- Trubky jsou bezprostředním položením do stlačené, neporušené země většinou rovnoměrněji uložené a podepřené, dodatečně chráněné obalem z bentonitu jako zásypem písku u otevřených výkopů.
- Díky pokládání bez otřesů nedochází k sedání půdy.
- Možnost položení potrubí se sklonem pro gravitační kanalizaci (předpokládá se nejméně 2% sklon) ve větší hloubce (tím možnost zvětšení spádové oblasti bez potřeby dodatečných čerpacích stanic).
- Díky větším krouticím momentům rozšiřovacích hlavíc u používaných strojů, lze úspěšně ukončit vtažení potrubí často i za ztížených podmínek.
- Úspěchy při vrtech i v obtížných druzích zeminy (jako např. v drobném štěrku) se dále zlepšují možností velkých objemů výplachové kapaliny.

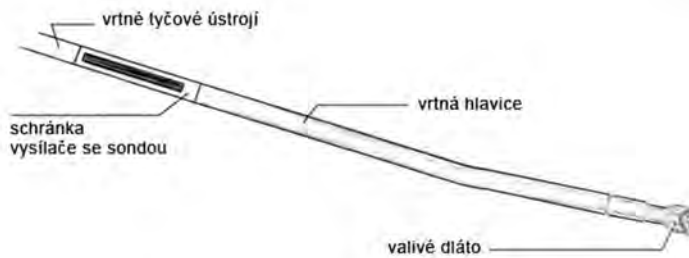


Obr. 5.160 Vrtná souprava typu Vermeer v provozní poloze při vrtání pilotního vrtu.

Vrty v pevných horninách. Průběh prací odpovídá vrtům v zeminách, ale operuje se s jinými nástroji. Podle pevnosti horniny se používá vrtná souprava s dvouplášťovými vrtnými trubkami a s dvojím vrtným motorem. Ve vrtné hlavici je instalován pro účel řízení ohyb o 1° až 3°. Na předním konci vrtné kolony se nachází valivé dláto.

Řízení probíhá následovně: pokud se vrtná kolona posouvá dopředu bez rotace, rozpojuje horninu jen valivé dláto v souladu s odkloněním motoru a vrtání probíhá po křivce. V případě rotující kolony probíhá vrtání po přímce a pilotní vrt se vytvoří s větším průměrem podle odklonění valivého dláta.

Vysílač nezbytný pro řízení se nachází za vrtnou hlavici. Z převážné části dochází u vrtů ve skále také k použití jiného systému měření, u kterého se data přenášejí kabelem uvnitř vrtné kolony na počítač obsluhy vrtacího přístroje, která neustále porovnává požadovaný průběh vrtu se skutečným.



Obr. 5.161 Schéma konstrukce přední části vrtné kolony.



Obr. 5.162 Vrtná souprava typu Vermeer při rozšiřování vrtu přímo z povrchu.



Obr. 5.163 Detail rozšiřovací hlavy se závěsem a zatahováním potrubím.

Pro rozšíření pilotního vrtu se používá tzv. „hole opener“. Rozšiřování pilotního vrtu probíhá rovněž v krocích až do dosažení požadovaného konečného průměru, zatažení trubky se pak provádí jako v případě vrtů v zeminách.

10. Vrtná kapalina

Vrtná kapalina (vrtný výplach), jak popisuje Dowler (1998) a Hradil (2000), je směs bentonitu nebo jiného vhodného materiálu s vodou, případně s chemickými přísadami, zabezpečující při pokládce HDD technologií následující funkce:

- přenos hydraulické energie do vrtné a rozšiřovací hlavy pro řezání a rozplavování,
- transport zeminy a čištění vrtu,
- mazání a chlazení vrtného nástroje,
- pažení a zabezpečení vrtu proti zavalení,
- cirkulace vrtného výplachu.

Požadavky na vrtnou kapalinu. Jednou ze základních funkcí vrtné kapaliny je **přenos hydraulické energie k vrtným nástrojům**. Další důležitou funkcí vrtné kapaliny je **transport rozpojené zeminy a čištění vrtu**. Zeminu z přídě vrtu je zapotřebí dopravit mimo vrt, do šachet. Zemina je dopravována ve směsi s vrtnou kapalinou. Na zeminu během transportu působí tři síly:

- gravitace,
- vztlak,
- síla působící na částice obtékané vrtnou kapalinou.

Proces transportu výkopku musí **minimalizovat sedimentační procesy** jak v průběhu transportu, tak i v případě krátkodobého přerušení práce. V případě selhání vrtné kapaliny vznikají následující vážné problémy:

- přilepení trub k zemině,
- zavalení vrtu,
- zvýšený krouticí moment,
- přerušení cirkulace výplachu ve vrtu.

Další funkcí vrtné kapaliny je **funkce mazání a chlazení vrtných nástrojů**. Zaklínění roury, ztráta cirkulace ve vrtu mohou přerušit vrtání. U vrtu v zeminách se nedosáhne nikdy dokonale rovného úseku, vrt probíhá v nepravidelných obloucích ve všech směrech. V místě napojení roury na rozšiřovací hlavu při odvrtávání dochází k sedání od tíhy rozšiřovací hlavy a vrtné kolony. V tomto místě dochází k velkému tření mezi rozšiřovací hlavou a okolní zeminou. Tření mezi rozšiřovací hlavou a zeminou **zvýšuje velikost krouticího momentu**. Současně působí mezi rourami a zeminou tření po délce.

V případě špatného návrhu se lze dostat na hranici výkonu vrtného stroje. Pro zvýšení efektivity řízených vrtů existují dvě možnosti řešení. Zmenšit plochu mezi rourou a zeminou nebo snížit součinitel tření. První řešení je technicky těžko proveditelné. V druhém je možné využívat **nízké hodnoty součinitele tření vrtné kapaliny**.

Velký problém představuje **řízený vrt v nesoudržných zeminách** – píscích a štěrcích. Při vrtání a rozšiřování dochází ke zborcení stěny, k nalepování písku

na vrtné nástroje. Nesoudržné zeminy jsou také vysoce propustné. Vrtná kapalina plní v tomto případě **funkci pažíci – stabilizuje vrt**. V principu jsou základní bentonitové vrtné kapaliny v nesoudržných zeminách méně účinné, proto je zapotřebí zlepšovat jejich charakteristiky, tj. **zvyšovat viskozitu a pevnost gelu**. Zlepšení vlastností vrtné kapaliny napomáhají **speciálními polymery** (např. MODOFLOW 060). Indikátorem špatně připraveného vrtného výplachu je zvýšení krouticího momentu, nárůst tažné síly a zvýšený výnos zeminy z vrtu.

Kvalitní vrtná kapalina při použití v HDD splňovat tyto vlastnosti:

- schopnost tvořit gel, který udrží rozvolněné částice horniny a zeminy ve vznosu po dobu pracovních přestávek a klidu ve vrtu,
- schopnost zamezit částečným nebo úplným ztrátám pracovní kapaliny do zastížených úseků propustných zemin,
- schopnost eliminovat bobtnání v jílech a jílových břidlicích a schopnost udržet vrt v příslušném rozměru,
- dobré stabilizační a stmelující účinky v nesoudržných zeminách,
- biologická rozložitelnost a ekologická přijatelnost.

Všechny výše uvedené vlastnosti mají pouze **kvalitní bentonity, speciální polymery a aditiva PHPA** (Partially Hydrolyzed Polyacrylamid) v různých koncentracích.

Pro zlepšení vlastností vrtných kapalin lze využít vhodná aditiva:

- polymery snižující filtraci,
- polymery zlepšující reologické vlastnosti,
- polymery omezující bobtnání jílu,
- vrtné detergenty a mazadla,
- proti ztrátové prostředky.

V některých případech, hlavně u odvodňovacích a dekontaminačních vrtů, se používají vrtné kapaliny jen z vhodných polymerů, bez použití bentonitu.

Nejnověji se prosazují kvalitní komplexní bentonity s obsahem polymerů. Jejich výhodou je:

- vysoká účinnost, nízká spotřeba,
- jednoduchost použití, na obtížné vrtání se obvykle reaguje jen koncentrací,
- snadná a rychlá příprava vrtné kapaliny,
- snadná úprava dalšími aditivami v případě potřeby.

Vrtné kapaliny se připravují v koncentracích 10 až 60 kg bentonitu/m³ vody (tabulka 5.22). Návrh koncentrace vrtné kapaliny se provádí podle vlastností zemin v trase vrtu.

Tabulka 5.22 Vlastnosti vrtné kapaliny – SWELLTONITE HQ (BDC Morava, ČR).

Produkt	Koncentrace	Průtočná viskozita dle Marshe t_{vm}	Zdánlivá viskozita η_{AV}	Plastická viskozita η_{PV}	Mez toku τ_{yp} (20 °C)	Gel 10''	Gel 10'	Filtrát V_f
	[kg bent./m ³ vody]	[s]	[mPa·s]	[mPa·s]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	[lb/100ft ²]	[ml]
SWELLTONITE HQ	15	37	9,5	6,5	6	4	4	—
	20	43,7	15,5	10	11	7	9	18,1
	25	53,9	23,5	12	23	11	14	16,8
	30	76	33	16	34	18	21	14,3
	35	154	45	18	54	27	29	11,8

Tabulka 5.23 Doporučené rozdělení vrtných strojů podle DCCA (1998).

Zemina	viskozita dle Marshe t_{vm}	Průměr vložky trysky d_t	Tlak vrtné kapaliny p_{vs}
	[s]	[mm]	[MPa]
písečná	80 – 20	0,50	30 – 70
hlinitopísečná	45 – 60	0,45 – 0,40	80 – 180
hlinitá	30 – 35	0,35 – 0,30	180 – 280

V tabulce 5.23 jsou uvedeny doporučené návrhové **parametry vrtné kapaliny** pro některé typy zemin, včetně průměru vložky trysky a tlaku. Doporučené návrhové parametry byly získány dlouhodobým měřením na stavbách. Viskozita, tlak vrtné kapaliny, průměr a tvar vložky jsou navrženy tak, aby nedošlo v písčitéch zeminách k vytvoření velkého otvoru a zamezilo se borcení stěny vrtu. Při vrtání v hlinitých zeminách je potřebný vysoký tlak pro odvrtání vrtu, ale je dostačující vrtná kapalina o malé viskozitě. Hlinité zeminy při odvrtání nemají tendence opadávat a uzavírat vrt.

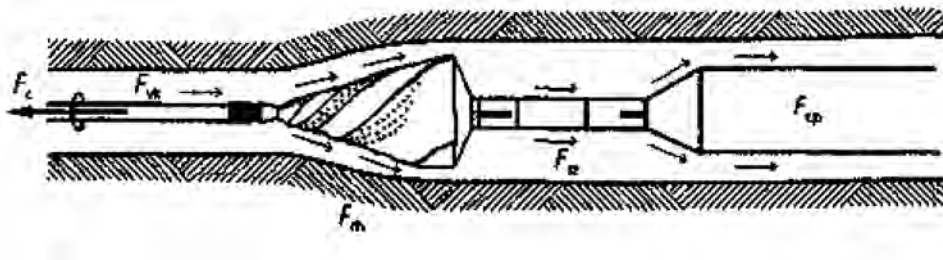
11. Síly působící na vrtnou kolonu a na roury během vrtání a zatahování

Při metodě řízeného vysokotlakého vrtání vrtnou kapalinou se zpětným zatahováním trub vznikají síly:

- **při vrtání pilotního vrtu** – tlačná síla a krouticí moment jsou z vrtného stroje přenášeny vrtnou kolonou na vrtnou hlavu,
- **při rozšiřování vrtu** – tažná síla z vrtného stroje je přenášena vrtnou kolonou na rozšiřovací hlavu a připojenou taženou vrtnou kolonu,
- **při zatahování trub** – tažná síla z vrtného stroje je přenášena vrtnou kolonou na rozšiřovací hlavu a tažené roury.

Na základě principu akce a reakce musí být tažná síla na jakémkoliv místě zatahovaného úseku **součtem právě platných zatahovacích odporů**.

Celková potřebná tažná síla na vrtném stroji při zatahování trub je dána součtem odporů vrtné kolony, rozšiřovací hlavy, tažného zařízení a trub (obr. 5.164).



Obr. 5.164 Odporů na vrtné koloně F_{vk} , rozšiřovací hlavy F_{rh} , tažného zařízení F_{tz} a na plášti potrubí F_{cp} .

$$F_c > F_{vk} + F_{rh} + F_{tz} + F_{cp} + F_{ot} \quad (5.47)$$

kde

F_c - celková tažná síla na vrtném stroji [N],

F_{vk} - odpor vrtné kolony [N],

F_{rh} - odpor rozšiřovací hlavy [N],

F_{tz} - odpor tažného zařízení [N],

F_{cp} - celkový odpor na plášti trub [N],

F_{ot} - odpory vznikající při tahání trub po terénu, před vstupem do vrtu [N].

Při zatahování trub vzniká v přechodovém kusu mezi rourou a rozšiřovací hlavou tažná síla, která je vyvolaná součtem odporů vznikajících od:

- tření mezi rourami a zeminou,
- tangenciální napětí τ_{vs} , vznikajícího mezi rourou a vrtnou kapalinou,
- odporu tažného zařízení (v mnoha případech se odpor tažného zařízení snižuje převlečením ochranného pláště přechodového kusu),
- odporu trub tahaných po povrchu;

odpor tažného zařízení F_{tz} [N]

$$F_{tz} = \pi \frac{D_{tz}^2}{4} B \quad (5.48)$$

kde

D_{tz} - vnější průměr tažného zařízení [m],

B - specifický odpor tažného zařízení [Pa] závisí na vzniklé směsi vrtného výplachu se zeminou a druhu konstrukce tažného zařízení,

F_{tz} - odpor tažného zařízení [N];

odpor na plášti trub F_{cp} [N]

$$F_{cp} = \pi DLM \quad (5.49)$$

kde

D – vnější průměr roury [m],

L – délka zatažených trub [m],

M – specifické tření roura/zemina/vrtná kapalina [Pa],

F_{cp} – odpor na plášti trouby [N].

Celkový specifický odpor tření na plášti trouby F_{cp} je funkcí šesti veličin:

$$f(D, D_{vrt}, \tau_{vs}, \mu_z, v, E_p) \quad (5.50)$$

kde

D – vnější průměr roury [m],

D_{vrt} – průměr vrtu [m],

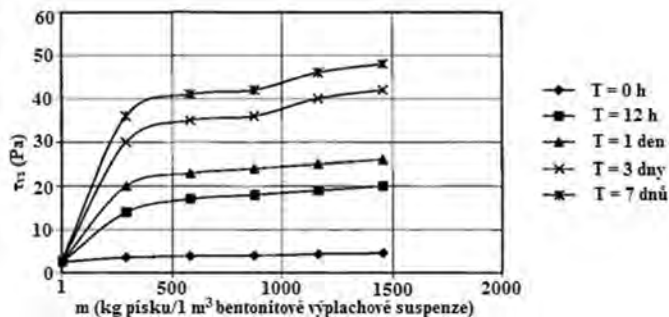
τ_{vs} – tangenciální napětí mezi pláštěm roury a vrtné kapaliny [Pa],

μ_z – součinitel tření mezi trubkou a zeminou [-],

v – vzájemná rychlost posunu zatahované roury a vrtné kapaliny ve vrtu [m/s],

E_p – modul pružnosti roury (Pa).

Na katedře geotechniky STU Bratislava byly v roce 2002 provedeny laboratorní zkoušky pro zjištění součinitele tření μ_z mezi polyetylenovou rourou a zeminou (tabulka 5.24) a tangenciálního napětí τ_{vs} z tření polyetylenová roura/vrtná kapalina a písek v závislosti na době přerušení zatahování (obr. 5.165).

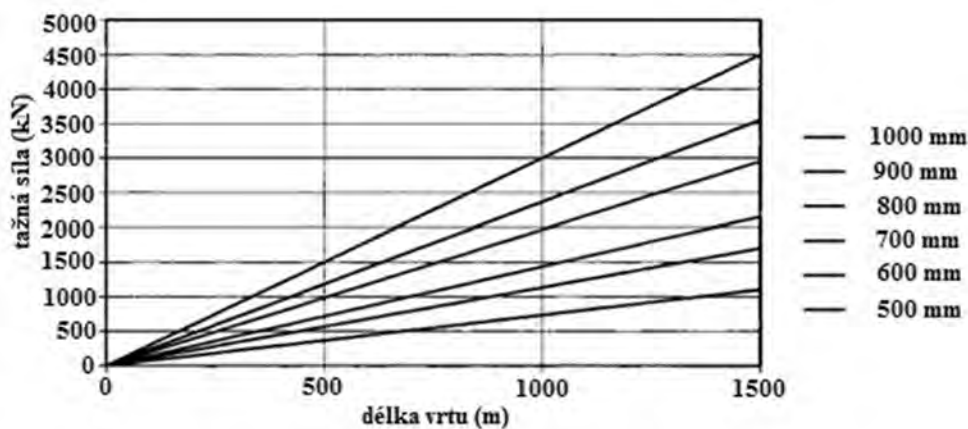


Obr. 5.165 Velikost tangenciálního napětí τ_{vs} z tření polyetylenová trouba/ vrtná kapalina + písek v závislosti od doby přerušení zatahování T .

Tabulka 5.24 Orientační hodnoty součinitele tření μ_z mezi polyetylenovou rourou a zemínou (Raclavský, 2002).

Vzorek	Stav	Suchý / PE		Pod vodou / PE		Bentonitový vrtný výplach / PE	
		ψ [°]	μ_z [-]	ψ [°]	μ_z [-]	ψ [°]	μ_z [-]
1	hlína písčitá	35,0	0,7	27,0	0,51	11,3	0,2
2	šterk	20,3	0,37	—	—	20,3	0,37
3	písek 0/4mm	20,8	0,38	17,7	0,32	16,2	0,29
4	písek 0/8mm	25,2	0,47	22,3	0,41	20,3	0,37
5	jemný písek	25,2	0,47	—	—	18,8	0,34

DCA (1995) ve své technické směrnici pro použití řízeného vodorovného vrtání uvádí **doporučené tažné síly pro stroje HDD** v závislosti na vrtné délce a průměru zatahované roury (obr. 5.166).



Obr. 5.166 Doporučené tažné síly podle DCA (1995) pro HDD stroje v závislosti na vrtné délce a průměru zatahovaných trub (podklad pro výpočet: vzduchem vyplněná ocelová roura s normální tloušťkou stěny a součinitelem tření mezi zemínou a pláštěm trouby $\mu = 0,2$).

Při metodě vysokotlakého vrtání vrtnou kapalinou vznikají síly na roury:

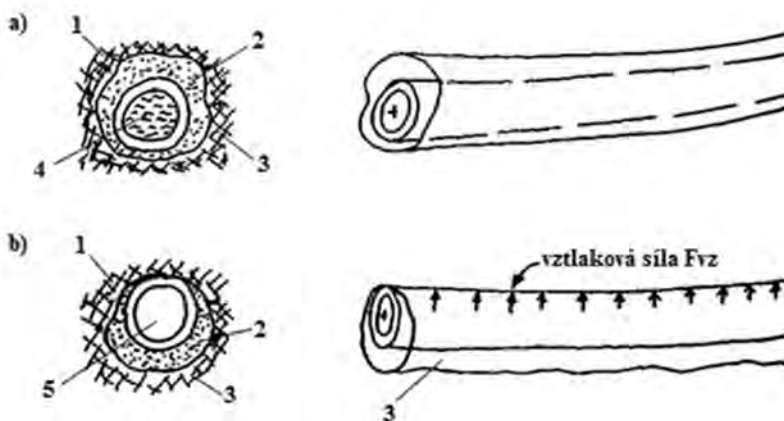
- při zatahování:
 - kontinuálním,
 - v případě přerušení;
- od zatížení zemínou a od povrchového zatížení;
- od vnějšího přetlaku vodou;
- od vnitřního přetlaku dopravovaného média.

Na roury instalované zatahováním do předem vyhotoveného vrtu (Huey, 1996) působí instalační zatížení, které je kombinací tahového napětí, ohybu a vnějšího tlaku. Tato instalační zatížení působí buď samostatně, nebo v kombinaci. Instalační zatížení, které působí na roury, může být větší než provozní zatížení. V tomto případě mohou vznikající síly při pokládce trub určovat návrh trasy vrtu nebo specifikovat dimenzi trub.

Vlastnosti roury (tloušťka stěny, kvalita materiálu) a **průměr vrtu** musí být zvoleny tak, aby roury mohly být nainstalovány a provozovány bez rizika poškození. Roury instalované pomocí řízeného vysokotlakého vrtání se zpětným zatahováním je třeba navrhnout a posoudit na dva různé zatěžované stavy, a to zatahování (instalace) a provoz.

Během zatahování jsou roury vystaveny silám nutným k jejich zatažení do vrtu a protažení zakřivenými úseky vrtu. Složky, které způsobují namáhání trub během zatahování, jsou:

- třecí síla vyvolaná třením mezi rourou a stěnou vrtu,
- odporová síla vznikající mezi zatahovanou rourou a vrtnou kapalinou,
- síla od nesouměrného účinku gravitace vzniklého v důsledku zatahování trub do vrtu a jejich vytahování z vrtu pod různými sklony,
- ohyb vyvolaný tím, jak jsou roury nuceny sledovat zakřivení vrtu,
- vnější tangenciální namáhání vyvolané tlakem vzniklým v důsledku přítomnosti vrtné kapaliny v prstenci kolem roury (není-li roura zaplavena kapalinou s podobným tlakem).



Obr. 5.167 Způsoby zatahování trouby do vrtu.

- a – s přítiskem vodní náplně, tzv. mokré zatahování, b – bez přítisku vodní náplně, tzv. suché zatahování, 1 – zemina, 2 – vrtná kapalina, 3 – stěna vrtu, 4 – vodou zaplněná polyetylenová roura, 5 – prázdná polyetylenová roura.

Výsledné namáhání a pravděpodobnost poruchy roury jsou dány interakcí těchto zařízení.

Doporučení ke snížení tažné síly. Při provádění řízených vrtů a následném zatahování trub je snaha dosáhnout co nejmenších tažných sil. **Snížování tažné síly** je možno dosáhnout:

- snížením tření mezi rourou a zeminou pomocí vrtné kapaliny a mazacích přísad,
- zvýšením stability stěn vrtu,
- metodou zatahování trub **s přitížením vodní náplní** (obr. 4.167a), kdy se minimalizuje velikost tažné síly od tření způsobeného vztlakem. Při této metodě jsou roury taženy vrtnou kapalinou a dochází ke vzniku tažné síly od tangenciálního napětí τ_{vs} , které je vyvoláno na rozhraní roura a vrtná kapalina.

V případě metody zatahování trub **bez přitížení vodní náplní** jsou zatahované polyetylenové roury ve vrtné kapalině nadlehčovány vztlakem F_{vz} (obr. 5.167b).

$$F_{vz} = \frac{\pi d_i^2 L \rho g}{4} \quad (5.51)$$

kde

d_i – vnitřní průměr zatahované polyetylenové roury [m],

L – délka ponořených trub ve vrtné kapalině [m],

ρ – hustota vrtné kapaliny [kg/m^3],

g – tíhové zrychlení [m/s^2],

F_{vz} – vztlková síla působící na ponořené roury [N].

Pro porovnání vlivu metody zatahování trub s přitížením vodní náplní a metody zatahování trub bez přitížení vodní náplní na velikost tažné síly byly na katedře geotechniky STU Bratislava v roce 2002 provedeny srovnávací analýzy. Při výpočtu se počítalo s polyetylenovými rourami o vnějším průměru 225 až 560 mm, které jsou taženy ve vrtu s vrtným výplachem (součinitel tření $\mu_z = 0,3$, tangenciální napětí $\tau_{vs} = 20 \text{ Pa}$). Analýzou bylo prokázáno, že tažné síly při zaplnění zatahované polyetylenové roury na 50 % vodou klesnou na rovném úseku o 40 až 50 % a v případě 100 % zaplnění vodou klesnou o 80 až 90 %.

V případě vzestupné části vrtu se sklonem 13° tažné síly při zaplnění polyetylenové roury na 50 % vodou klesnou o 25 až 40 % a v případě 100 % zaplnění vodou klesnou o 55 až 75 %.

Literatura

Bažant Zdeněk: Zakládání staveb, SNTL Praha 1981, L17-C3-V-31/78137.

ČSN EN 12889 Bezvýkopové provádění stok a kanalizačních přípojek a jejich zkoušení, 2001.

DCA: Technische Richtlinien für den Einsatz der steuerbaren Horizontal-Bohrtechnik, 1995.

DCCA, 1998: A summary of Guidelines for Successful Mid-Sized Directional Drilling Projects, Directional Drilling, 1998, iss. 2, s. 43-46.

Dowler Ch.: Horizontal Directional Drilling Fluid Seminar, Federal Summit – Drilling Fluids, www.trenchlessdataservices.com, 1998.

Fengler E.G.: Grundlagen der horizontal – Bohrtechnik, Essen, Vulkan-Verlag, 1998.

Franczyk Karel: Co může být očekáváno od českého No- dig trhu? No Dig International, vol.11, No.12, December 2000, p.5.

Hayward Paul: Directional Drilling – back to basics, No Dig International, Vol.11 No.5, May 2000, p.28, 30,31.

Hobst L., Zajíc J.: Kotvení hornin, 2.doplňené vydání, SNTL Praha 1985, L17 – B3 – III – 31/72069.

Hradil Zdeněk: Funkce pracovních suspenzí a ekonomika výplachového inženýrství při řízeném horizontálním vrtání, NODIG – zpravodaj CzSTT, 2000, roč. 6, č. 4, str. 10-12.

Hradil Zdeněk: Technická, ekonomická a ekologická kritéria pro volbu optimální technologie při horizontálním řízeném vrtání v České republice, NODIG – zpravodaj CzSTT, 2001, roč. 7, č. 2, str. 13-19.

Huey D.P., Hair J.D., McLeod K.B.: Installation Loading and Stress Analysis Involved with Pipelines Installed by Horizontal Directional Drilling, International NO-DOG 96 Conference Papers, New Orleans, NASTT, 1996, s.36-60.

Klepsatel František, Raclavský Jaroslav: Bezvýkopová výstavba a obnova podzemních vedení, JAGA GROUP, s.r.o., Bratislava 2007, první české vydání, ISBM 978-80-8076-053-3.

Kovář Luděk: Technické průzkumné práce, přednášky pro denní a dálkové studium, VŠB – TU Ostrava 2010.

Pinka Ján: Mikrotunelovanie, Horizontal Directional Drilling HDD, Učební texty, Technická univerzita v Košiciach, Fakulta Baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií, Košice 2007.

Raclavský Jaroslav: Technické problémy zatahování PE potrubí, sborník Plasty v rozvodech plynu, Praha, GAS, 2002.

Raclavský Jaroslav et al: Sborník pojmů ve výstavbě, Bezvýkopové technologie, Metodická řada DOS M 01.01.BVT, Praha, Informační centrum, ČKAIT, 2004.

Stein D.: Grabenloser Leitungsbau, Berlin, Ernst & Sohn Verlag, 2003.

Verfel, J.: Injektování hornin a výstavba podzemních stěn. MÚS BRADLO, Bratislava 1992, ISBN 80-7127-043-1.

Zeman Vojtěch: Technologie speciálních vrtných prací, přednášky pro denní studium, VŠB – TU Ostrava, 1990.

Martin Klempa, Jindřich Šancer, Jiří Mališ, Václav Zubíček

TECHNICKÉ PRŮZKUMNÉ A VRTNÉ PRÁCE

Vrty pro hydrogeologické účely

Vrtné práce v inženýrské geologii a geotechnice

Vrtné práce ve stavebnictví

Editor: Martin Klempa

Autoři: Jindřich Šancer, Jiří Mališ, Václav Zubíček

Recenzenti: prof. Ing. Petr Bujok, CSc., Ing. Jaroslav Struna

Grafická úprava a sazba: Studio Marionetti, Ostrava

Tiskárna: Tiskárna v Dubí s.r.o., Ostrava

Vydalo Marionetti Press v Ostravě roku 2019

Náklad: 180 ks

Vydání první

Neprodejné

Text neprošel jazykovou korekturou.

All rights reserved. Printed in EU.

Copyright © Marionetti Press 2019

Copyright © Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava 2019

ISBN 978-80-905737-2-7