



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

HLOUBKOVÉ VRTY V GEOLOGII

DEPTH DRILLING IN GEOLOGY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Kudrna

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Tomáš Kudrna**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Milan Kalivoda**
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Hloubkové vrty v geologii

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Přehled strojírenského zařízení pro hloubkové vrty v horninách. Zvláštnosti vrtacích procesů. Dopady na životní prostředí.

Cíle bakalářské práce:

- Charakteristika vrtů v horninách
- Vrtací soupravy
- Nástrojové vybavení a pracovní režimy
- Zhodnocení vrtacích situací

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli. Brno: Dům techniky Brno, 1994. 234 s.

HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. Praha: MM publishing, s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 2000. 986 s. ISBN 80-7183-164-6.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18.

V Brně, dne 25. 10. 2017





prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolícký, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je vytvořit přehled používaných technologií a techniky pro hloubkové vrtání v geologii. V bakalářské práci jsou popsány používané způsoby hloubení vrtů. Dále jsou zde popsány běžně využívané vrtné soupravy. Další část se věnuje vrtným nástrojům a jejich pracovním režimům. Poslední část bakalářské práce je zaměřena na celkový pohled na vrtný proces a jeho vztah k ekologii.

Klíčová slova

vrt, vrtná souprava, vrtná korunka, vrtné dláto, valivé dláto

ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on research of technologies and equipment of depth drilling in geology. This thesis contains description of methods used for borehole drilling. Furthermore, the description of common drill rigs is included. The thesis also deals with drilling tools and their working modes. Another part of the thesis is focused on the overall view of the borehole drilling process and its connection with ecology.

Key words

borehole, drilling rig, core drill bit, non coring drill bit, roller cone bit

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KUDRNA, T. *Hloubkové vrty v geologii*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 59 s. 11 příloh. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Hlubkové vrty v geologii* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Tomáš Kudrna

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto mému vedoucímu práce Ing. Milanovi Kalivodovi za cenné rady, připomínky a odbornou pomoc při tvorbě této práce.

Dále bych chtěl poděkovat své rodině a všem, kteří mě v průběhu studia podporovali a pomáhali mi.

OBSAH

ÚVOD.....	9
1 CHARAKTERISTIKA VRTŮ.....	10
1.1 Účely vrtů.....	10
1.2 Dosahované hloubky v hlubinném vrtání.....	10
1.3 Vlastnosti vrtaných hornin.....	11
1.3.1 Technologické vlastnosti hornin.....	11
1.3.2 Mechanické vlastnosti hornin.....	11
1.3.3 Klasifikace vrtaných hornin.....	12
1.4 Způsoby provádění hlubinných vrtů.....	12
1.4.1 Vrtání náběrové.....	12
1.4.2 Vrtání vibrační.....	12
1.4.3 Vrtání nárazové.....	12
1.4.4 Vrtání rotarové.....	13
1.4.5 Vrtání jádrové.....	13
1.4.6 Vrtání s ponornými pohony.....	14
1.4.7 Rotačně-příklepné vrtání.....	14
1.4.8 Tryskové vrtání.....	14
1.4.9 Rychlorázové vrtání.....	14
1.4.10 Nekonenční způsoby vrtání.....	14
2 VRTNÉ SOUPRAVY.....	15
2.1 Hlavní funkční celky vrtných souprav.....	15
2.1.1 Pohonná zařízení vrtných souprav.....	15
2.1.2 Těžní zařízení vrtných souprav.....	16
2.1.3 Vrtací zařízení vrtných souprav.....	17
2.1.4 Výplachová zařízení vrtných souprav.....	20
2.1.5 Bezpečnostní a ochranná zařízení.....	21
2.1.6 Měřicí a regulační zařízení vrtných souprav.....	22
2.2 Rozdělení vrtných souprav.....	22
2.2.1 Rozdělení podle způsobu přepravy.....	22
2.2.2 Rozdělení podle způsobu podávání vrtného náradí.....	22
2.2.3 Rozdělení podle vrtaného zemského povrchu.....	22
2.2.4 Rozdělení podle technologie vrtání.....	23
2.3 Vrtné soupravy pro jádrové vrtání.....	23
2.4 Vrtné soupravy pro rotační plno-profilové vrtání.....	25
3 VRTNÉ NÁSTROJE.....	27
3.1 Vrtná kolona.....	27
3.2 Způsob práce pracovních orgánů vrtných nástrojů.....	28
3.2.1 Řezné pohyby vrtných nástrojů.....	28
3.2.2 Druhy rozpojovacích úkonů vrtných nástrojů.....	28

3.2.3 Tvary pracovních orgánů vrtných nástrojů	29
3.3 Klasifikace vrtných nástrojů	29
3.4 Vrtné nástroje pro plno-profilové vrtání	30
3.4.1 Valivá dláta	30
3.4.2 Kompaktní dláta	32
3.4.3 Diamantová dláta	34
3.4.4 Listová dláta	35
3.5 Vrtné nástroje pro jádrové vrtání	36
3.5.1 Diamantové vrtné korunky	36
3.5.2 Vrtné korunky se slinutými karbidy	39
3.5.3 Valivé vrtné korunky	41
3.5.4 Šrotové vrtné korunky	41
3.6 Vrtné nástroje pro nárazový způsob vrtání	42
3.6.1 Vrtné nástroje pro ponorná kladiva	42
3.6.2 Vrtné nástroje pro vrtání na laně	44
3.7 Vrtné nástroje pro náběrové vrtání	44
4 VRTNÉ REŽIMY	46
4.1 Parametry režimu vrtání	46
4.1.1 Přítlak na vrtný nástroj	46
4.1.2 Otáčky vrtného nástroje	46
4.1.3 Parametry výplachu	47
4.2 Rozdělení režimů vrtání	47
4.2.1 Normální režimy vrtání	47
4.2.2 Speciální režimy vrtání	48
5 POSOUZENÍ VRTNÝCH SITUACÍ	49
5.1 Přípravné práce	49
5.2 Pažení vrtů	49
5.3 Cementace	50
5.4 Likvidace vrtu	51
6 DISKUZE	52
6.1 Geologické hledisko hloubkových vrtů	52
6.2 Výhled do budoucnosti	52
6.3 Ekologické aspekty	52
ZÁVĚR	53
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	54
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	57
SLOVNÍK GEOLOGICKÝCH POJMŮ	58
SEZNAM PŘÍLOH	59

ÚVOD

Hloubkové vrty v geologii představují vrty hloubené do zemského povrchu, které dosahují maximální velikosti poměru délky ku průměru vrtu. Vrty jsou hloubeny v horninovém prostředí, charakter rozpojovaných hornin má zásadní vliv na vrtný proces. Už před zahájením vrtného procesu je nutné mít přehled o geologické stavbě vrtaného prostředí, z tohoto důvodu se provádí důkladný geofyzikální průzkum. Během vrtání je třeba získávat vzorky horninového materiálu, které napomáhají objasnit geologickou stavbu vrtaného profilu.

Hloubkové vrtání v geologii je oborem, který ať už přímo nebo nepřímo zasahuje do mnoha jiných technických oborů a představuje tak důležitou součást technické činnosti. Hloubkové vrty se provádí pro mnoho různých účelů, nacházejí uplatnění zvláště v inženýrské geologii, geotechnice, těžebním průmyslu, při hornické činnosti, energetice, hydrogeologii a stále častěji také ve stavebnictví.

Cílem této bakalářské práce je vytvoření přehledu běžně používaných vrtných technologií a techniky pro hloubkové vrtání v geologii. Obsahuje popis vrtných souprav, je zaměřena především na vrtné soupravy pro jádrové vrtání a rotarové vrtání neboli rotační vrtání s vodním výplachem. Jedná se o nejrozšířenější způsoby vrtání, kterými lze dosahovat velkých hloubek. V bakalářské práci jsou dále popsány různé druhy vrtných nástrojů pro hloubkové vrtání. Vrtný nástroj zajišťuje hloubení vrtu tím, že rozpojuje horninu na počvě, tedy na dně vrtu. Tato bakalářská práce dále obsahuje popis pracovních podmínek a vrtných režimů vrtných nástrojů pro hloubkové vrty v geologii. Bakalářská práce obsahuje i celkový pohled na vrtné situace včetně jejich vztahu k ekologii.

1 CHARAKTERISTIKA VRTŮ

1.1 Účely vrtů

Hloubkové vrty se podle svých účelů dělí na:

- geologicko-průzkumné,
- provozně-technické.

Účelem geologicko-průzkumných vrtů je získání geologických a geotechnických informací. Tyto vrty slouží pouze po dobu vrtání, po skončení vrtné činnosti nemají další funkci, a proto se následně likvidují. Do této skupiny se řadí vrty pro geologický průzkum, dále vrty prováděné v hornictví jako např. vrty testovací, ložiskové, orientační, parametrické a další. Geologicko-průzkumné vrty představují základní metodu geologického poznání a jsou často jedinou možností, jak ověřit modely získané vyhodnocením předchozího mapování a geofyzikálního měření. Vrty pro vědecké účely se zaměřují především na přenos tepla, fluid a prvků v zemské kůře, zkoumání hlubinných projevů biosféry a jejich vztah ke geologickým procesům, jako třeba ke vzniku rudných ložisek, zrání uhlovodíků a vývoj života na Zemi. Dále se zabývají problémy bezpečného ukládání radioaktivních a toxických odpadů, fyzikálními a chemickými procesy vedoucími ke vzniku zemětřesení a vulkanických jevů, průběhy změn klimatu na Zemi a důvody takovýchto změn apod. [1, 2].

Vrty provozně-technické mají za cíl vytvoření hloubkového vrtu, který slouží svému účelu až po dokončení procesu hloubení vrtu. K této skupině vrtů patří vrty hloubené pro hydrogeologické účely, např. jímací vrty, odvodňovací vrty a balneologické vrty. Dále se sem řadí vrty v energetice, a to vrty pro tepelná čerpadla a vrty pro využití geotermální energie. Z vrtů pro hornické účely do této skupiny patří vrty těžební, větrací, spojovací, záchranné apod. Stále častěji se provádí vrty ve stavebnictví, kam se řadí vrty pilotové, injektážní nebo vrty pro kotvení [1].

1.2 Dosahované hloubky v hlubinném vrtání

Vrty jsou charakterizovány svou hloubkou a průměrem. Technologie vrtání se volí dle požadované hloubky, která závisí na geologické stavbě a problémech, které mají být vrtem řešeny. Dále dle finančních možností, cena hloubkových vrtů neroste s hloubkou lineárně.

Vrty se dle dosažených hloubek dělí na [2]:

- mělké (do 100 m),
- hlubší (100–1000 m),
- středně hluboké (1000–3000 m),
- hluboké (3000–7000 m),
- velmi hluboké (nad 7000 m).

V České republice patří drtivá většina vrtů mezi vrty mělké. Vrty hlubší tvoří v České republice asi 3 % vrtů, jde zejména o vyhledávací vrty a vrty pro těžbu uhlí a rud. Středně hluboké vrty jsou nejčastěji hloubeny pro geologický průzkum a těžbu ropy a zemního plynu. Do kategorie hlubokých vrtů se v České republice řadí pouze okolo padesáti vrtů. Prováděny jsou pro průzkum ložisek ropy a zemního plynu. Vrty z kategorie velmi hlubokých nebyly v tuzemských podmínkách prozatím realizovány [2].

Nejhlubším vrtem na území České republiky je vrt Jablůnka 1, který dosahuje hloubky 6 506 m. Jedná se o vrt průzkumný, jehož cílem bylo hledání ropy a zemního plynu. Vrt byl dokončen v roce 1982 [2].

Nejhlubší vertikální vrt na světě se nachází na Kolském poloostrově v Murmanské oblasti Ruska. Tento vrt, nazývaný SG-3, je hluboký 12 262 m. Hloubení vrtu započalo roku 1970 a trvalo až do roku 1992, kdy byly práce ukončeny pro velkou finanční náročnost. Účelem vrtu bylo prozkoumání litosféry v místě Mohorovičičovy diskontinuity. Mohorovičičova diskontinuita, známá také jako Mohorovičičova vrstva nespojitosti, je oblast, kde přechází zemská kůra v zemský plášť [2].

1.3 Vlastnosti vrtaných hornin

Náročnost vrtných prací významně závisí na fyzikálních a mechanických vlastnostech vrtaných hornin, které tak představují jeden z hlavních určujících parametrů volby způsobu vrtného procesu, výběru nástroje a vrtného režimu [3].

Nejdůležitějšími vlastnostmi hornin ovlivňujícími vrtný proces jsou [4]:

- technologické vlastnosti hornin: tvrdost, abrazivnost, rozpojitelnost,
- mechanické vlastnosti hornin: pevnostní vlastnosti hornin, přetvárné vlastnosti hornin (modul pružnosti, energetická bilance).

1.3.1 Technologické vlastnosti hornin

Technologické vlastnosti představují souhrn fyzikálních vlastností horniny a společný projev horniny a nástroje při technologickém procesu rozpojování. Odpor horniny proti rozpojení nástrojem obstarává především tvrdost, rozpojitelnost a abrazivnost [4].

Tvrdostí se rozumí odpor horniny proti vniknutí cizího tělesa. U hornin se používá průměrná tvrdost, která zohledňuje tvrdost jednotlivých minerálních složek s ohledem na jejich obsah v hornině. Stejnou tvrdostí se vyznačují jemnozrnné horniny, naopak u hrubozrnných je třeba počítat s tím, že se tvrdost není na každém místě stejná. Kromě tvrdosti minerálních součástí závisí tvrdost hornin na pórovitosti, stupni zvětrání, způsobu spojení zrn, struktuře a na obsahu vody [4].

Rozpojitelnost, respektive vrtatelnost hornin, vyjadřuje vlastnosti, které znesnadňují rozpojování při vrtání. Úzce souvisí se štěpností. Vrtatelnost se vyjadřuje pomocí mechanické rychlosti vrtání, která závisí kromě mechanických vlastnostech horniny na způsobu vrtání, konstrukci vrtného nástroje a režimu vrtání [4].

Abrazivnost vyjadřuje schopnost horniny opotřebovávat povrch nástroje při vzájemném působení při rozpojovacím procesu.

1.3.2 Mechanické vlastnosti hornin

Nejvýznamnějšími mechanickými vlastnostmi hornin jsou vlastnosti pevnostní a přetvárné.

Pevnost vyjadřuje míru odporu, který klade hornina proti vnějším silám. Pro rozbor vrtacích podmínek se uvádí výsledky zkoušek tlakových (redukovaná pevnost vtlačná), tahových (pevnost v prostém tahu) a tečných (pevnost smyková a střižná) [5].

Přetvárné vlastnosti hornin jsou vyjádřeny pomocí modulu pružnosti, Poissonovým číslem a energetickou charakteristikou napětíově přetvárných procesů [5].

1.3.3 Klasifikace vrtaných hornin

Klasifikace hornin má za úkol podat výstižný obraz o složení a charakteristice horninového prostředí. Vlastnosti hornin není možné dostatečně popsat jen pomocí jednoho parametru, proto existuje hned několik klasifikačních systémů horninového prostředí.

Klasifikace podle Protodjakonova rozděluje horniny do deseti tříd s pěti podtřídami na základě pevnosti horniny v prostém tlaku. Zkoušený vzorek má tvar krychle. Rozdělení hornin podle Protodjakonova je uvedeno v příloze č. 1 [6].

Podle Lauferova rozdělení se horniny dělí dle charakteru do sedmi tříd, v první třídě jsou pevné horniny, v poslední silně tlačivé horniny a zeminy. Tuto klasifikaci uvádí příloha č. 2 [7].

Důležité je rozdělení hornin podle jejich abrazivnosti. Horniny se podle abrazivnosti dělí do 20 stupňů na základě koeficientu abrazivnosti, který se udává v miligramech za minutu. Toto rozdělení je uvedeno v příloze č. 3 [5].

Další často uváděná klasifikace hornin rozděluje horniny podle ražnosti. Tato klasifikace dělí horniny do čtyř stupňů [6].

1.4 Způsoby provádění hlubinných vrtů

Existuje několik rozdílných způsobů provádění hlubinných vrtů lišících se používanými technologiemi. Způsob hloubení vrtu je charakterizován především vrtným nástrojem a vrtným režimem. Podle způsobů vrtacích prací lze hlubinné vrty rozdělit do následujících skupin.

1.4.1 Vrtání náběrové

Při náběrovém vrtání je použito nástrojů, které horninu rozrušují a následně i vynášejí z vrtu. Tento způsob vrtání se řadí mezi ty nejjednodušší metody, nacházející využití při vrtání zemin a měkkých hornin. Tato metoda se používá obzvláště ve stavebnictví a vodohospodářství. Náběrovým způsobem lze vrtat do hloubek až 200 metrů při použití pomocné mechanizace. Tato metoda vrtání zahrnuje i vrtání šnekové. Liší se pouze v používaných nástrojích, které jsou podrobněji popsány v kapitole 3.7. Hloubení vrtů šnekovým vrtáním často využívá jako vrtací zařízení rotační stůl pracující za nízkých otáček a vysokého krouticího momentu. Využití je výhodné především v plastických materiálech [1, 3].

1.4.2 Vrtání vibrační

Vibrační způsob vrtání využívá principu vysokého kmitočtu, při kterém se sypké látky chovají jako kapalina a vrtný nástroj se tak do nich snadněji zabořuje. Užití nachází v nesoudržných zeminách, píscích a sprašcích. Výhodou je skutečnost, že vrtná kolona plní i funkci pažení vrtu. Materiál je z vrtu odstraněn pomocí drapáku. Vibraci zajišťují dva protisměrné otáčivé excentry [1, 3].

1.4.3 Vrtání nárazové

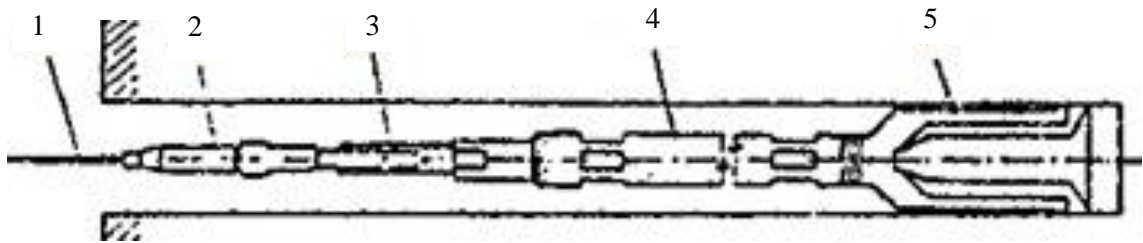
Jedná se o nejstarší používaný způsob hlubinného vrtání. Vrtacím nástrojem je dláto na ocelovém laně. Dláto je zdviženo a poté puštěno z řádově až několika metrů. Při dopadu na počvu vrtu se hornina rozrušuje, následně je odstraněna kalovými čerpadly. Tato metoda není vhodná pro vrtání v suchých píscích, štěrcích a velmi porézních horninách [1, 3].

Do tohoto způsobu rozpojování hornin se řadí [8]:

- vrtání na laně bez zkrutu,
- vrtání na laně se zkrutem,
- vrtání pensylvánské.

Vrtání na laně bez zkrutu

Používané lano je křížově pletené. Ruční pootočení dláta je umožněno pomocí berlice upevněné u ústí vrtu. Na spodním konci lana se nachází smýkač, díky kterému může vrtný nástroj dopadnout na dno vrtu nezávisle na pohybu lana. Na smýkač navazuje zátěžka, jejíž funkcí je zvýšit pohybovou energii dláta. Dláto je zašroubováno do zátěžky. Schéma sestavy vrtné kolony uvádí obr. 1.1 [8, 9].



Legenda: 1 – lano, 2 – lanový úvazek, 3 – smýkač, 4 – zátěžka, 5 - dláto
Obr. 1.1 Schéma vrtné kolony pro nárazové vrtání na laně (otočeno o 90°) [9].

Vrtání na laně se zkrutem

Tento způsob je obdobou nárazového vrtání s lanem bez zkrutu. Nepoužívá se berlice, která je nahrazena lanovou spojkou na konci lana. Při zatížení se dláto pootáčí, což je způsobeno částečným rozplétáním lana. Lano se opět zkrutí do výchozí polohy po částečném odlehčení způsobeném dopadem dláta na dno vrtu. Používané lano je stejnosměrně pletené [8].

Vrtání pensylvánské

Jedná se o nejdokonalejší modifikaci lanového nárazového vrtání. Charakteristické je použití vahadla, které prostřednictvím lana bez zkrutu zdvihá vrtnou kolonu pomocí excentru. Tímto způsobem provedení vrtu lze dosahovat hloubky až 2 000 m. Tato metoda byla v minulosti velmi rozšířená, zvláště pro hloubení vrtů na těžbu ropy [1, 8].

1.4.4 Vrtání rotarové

Tento způsob vrtání je charakteristický použitím rotačního stolu s unášecí tyčí pro přenos krouticího momentu přes vrtnou kolonu na vrtný nástroj, který rozpojuje horninu rotačním vrtáním. Úlomky rozpojené horniny jsou z počvy vrtu vynášeny výplachovým systémem. Charakteristické je také podávání náradí do vrtu pomocí vrátku a kladkostrojového systému. V současné době je běžně užíváno posuvných rotačních hlav tzv. systému Top Drive (podrobněji vysvětleno v kapitole 2.1.3). Jedná o velmi vyspělou metodu vrtání používanou zejména pro hluboké a velmi hluboké vrty. Použití se doporučuje pro vrty od hloubky 500 m. Tato vrtací metoda je považována za nejuniverzálnější [1, 8].

1.4.5 Vrtání jádrové

Jedná se rovněž o rotační vrtání, ale tato metoda používá jako vrtné nástroje korunky. Vrtné korunky se horninou prořezávají úzkým profilem, což způsobuje rozrušování horniny jen na velmi úzkém mezikruží, což je důvodem malé energetické náročnosti. Uvnitř vrtného nástroje se postupně odvrtává jádro do tzv. jádrováku. Vrtacím zařízením bývají rotační hlavy s hydraulickým ovládním, které umožňují vrtání v libovolném směru. Vrtná jádra představují přímé geologické podklady, vrtání jádrové je tedy výhodné především pro inženýrskou geologii. Využívá se také často v důlním vrtání [1, 8].

1.4.6 Vrtání s ponornými pohony

U tohoto způsobu vrtání je vrtací zařízení v podobě ponorného motoru umístěno přímo nad vrtným nástrojem. Vrtné trubky nerotují a slouží pouze k proudění výplachu k ponornému pohonu. Tyto skutečnosti způsobují úsporu energie v porovnání s klasickým rotačním způsobem vrtání, kde je značná část pohonné energie spotřebována rotací vrtných trubek. Navíc je u klasického rotačního způsobu soutyčí zatěžováno všemi druhy namáhání, což může způsobovat výraznější deformace [1].

Ponorné pohony se rozlišují na:

- hydrodynamické,
- hydrostatické.

1.4.7 Rotačně-příklepné vrtání

Rotačně-příklepný způsob vrtání využívá současně jak rotace, tak i dynamických rázů. Ty jsou vyvozovány vrtacími kladivy, které se rozdělují na:

- Povrchová vrtací kladiva, vyznačují se pneumatickým pohonem. Použití nachází pro vrtání krátkých vývrtů při razicích a dobývacích pracích [1].
- Ponorná vrtací kladiva, která jsou pro vrtání hloubkových vrtů vhodnější. Vyznačují se vysokou údernou silou. Vrtným nástrojem je dláto, které rozrušuje horninu působením tlaku na píst. Otáčení nástroje zajišťuje, že jeho pracovní orgán nepůsobí stále na jedno místo. Dle použitého energetického média se tato kladiva rozdělují na hydraulická a vzduchová. Kapalina, případně stlačený vzduch, se používá také k vynášení odvrtné horniny z počvy vrtu. Nejvíce používané je vzduchové ponorné kladivo, jeho využití je výhodné pro vrtání v pevných horninách [1].

1.4.8 Tryskové vrtání

Metoda tryskového vrtání využívá k rozpojení hornin tlaku proudu výplachové kapaliny. Kapalina současně odstraňuje rozrušenou horninu z počvy vrtu. Pracovním médiem je čistá voda nebo jílový výplach, jehož použití je výhodnější, jelikož napomáhá zpevňovat stěny vrtů. Tryskové vrtání se často využívá v kombinaci s rotarovým vrtáním, kdy vrtací nástroje jsou opatřeny tryskami pro výtok výplachu [3, 8].

1.4.9 Rychlorázové vrtání

Rychlorázové vrtání funguje na nárazovém principu soutyčí ve vrtu za použití nepřímého výplachu. Výhoda nepřímého výplachu spočívá v tom, že dokáže velké úlomky rozrušené horniny, které vznikají při nárazovém vrtání, vynášet bez dalšího drcení, které by znamenalo další ztrátu energie. Nepřímá cirkulace výplachu je podrobněji specifikována v kapitole 2.1.4. Touto metodou lze vrtat do hloubek až 1 500 m [3, 8].

1.4.10 Nekonenční způsoby vrtání

Nové progresivní metody vrtání vznikají z důvodu stálého tlaku vyvíjet technologie vrtání, které splňují požadavky rychlého a efektivního vrtání při co nejmenších nákladech a nejkratším čase. Tyto technologie jsou stále předmětem výzkumu a jejich komerční využití při hlubinném vrtání není běžné.

Nekonenční metody využívají k rozpojování hornin indukované napětí, tavení a vypařování, případně chemické reakce. Do nekonvenčních metod hloubení vrtů patří zejména vrtání laserem, jiskrové vrtání, indukční vrtání, vrtání elektrickým obloukem, vrtání mikrovlnami, vrtání plamenem nebo vrtání plazmou [10, 11].

2 VRTNÉ SOUPRAVY

Technika pro hloubení vrtů se nazývá vrtná souprava. Vrtné soupravy jsou kompaktními sestavami moderních strojů a zařízení, které umožňují rozpojovat horninu na počvě vrtu, vynášet rozrušenou horninu z vrtu a zabezpečovat stěny. U moderních vrtných souprav se zvyšuje podíl automatizace a mechanizace, podíl pneumatických a hydraulických prvků, používá se komplexnější a dokonalejší měřicí technika [1].

2.1 Hlavní funkční celky vrtných souprav

Vrtné soupravy mají celkem šest hlavních funkčních celků, a to pohonná zařízení, těžní zařízení, vrtací zařízení, výplachová zařízení, bezpečnostní a ochranná zařízení, měřicí a regulační zařízení [4, 8].

2.1.1 Pohonná zařízení vrtných souprav

Do funkčního celku pohonných zařízení patří pohonný motor a převody (spojky, redukce, rychlostní skříně, startér) [12].

Pohonné motory

Pro hlubinné vrtání lze použít motory elektrické, spalovací nebo vzduchové. Hlavním požadavkům pro hlubinné vrtání nejvíce vyhovuje elektromotor, ale i přesto je nejvíce používaným pohonem spalovací motor, což je dáno hlavně obtížnou dostupností zdroje elektrické energie ve ztížených pracovních podmínkách [12].

Nevýhodami spalovacích motorů oproti elektromotorům jsou [12]:

- malá přetížitelnost – motor tak musí být použitý na nejvyšší možné zatížení, což způsobuje zbytečné provozní náklady,
- malý rozsah regulace – mezi motor a pracovní stroj tak musí být zařazena vícestupňová rychlostní skříně, která způsobuje ztrátu energie,
- proměnlivý krouticí moment,
- nesnadná reverzace chodu,
- obtížné spouštění.

U těžkých souprav pro rotarové vrtání se užívají naftové spalovací přepřínované motory. Omezujícím faktorem je požadavek na dodržení rozměrů v dopravním provozu. U souprav pro jádrové vrtání se používají výjimečně spalovací benzínové motory, převážně však spalovací motory naftové, jelikož mají vyšší účinnost a mají jednodušší konstrukci. Běžné je i užití třífázových asynchronních elektromotorů [1].

Převody

V systému pohonu vrtných souprav se nejčastěji používají hydraulické spojky a měniče. Použití hydraulických převodů je výhodné zejména kvůli možnostem plynulé změny převodového poměru, startování motoru při zatížení na výstupním hřídeli a schopnosti tlumení dynamických rázů a vibrací, které vznikají při práci vrtného nástroje. Hydraulický převod také slouží jako měnič krouticího momentu, který je přenášen na rotační stůl nebo vrátek v žádaném regulačním rozsahu, zatímco výkon a otáčky na hnacím hřídeli zůstávají stejné. To dovoluje přenos velkých krouticích momentů při malých rychlostech a velkém zatížení [1].

2.1.2 Těžní zařízení vrtných souprav

Těžní zařízení slouží hlavně k zapouštění a zvedání vrtné kolony s nástrojem a pažnicové kolony do vrtu, případně k provádění dalších pomocných prací [7].

Těžní zařízení se většinou skládá z vrtného vrátku, kladkostroje a vrtné věže [12].

Vrtný vrátek

Vrtný vrátek je charakterizován maximálním tahem, který lze vyvinout v laně nabíhajícím na buben. Tato hodnota se uvádí v newtonech a je výchozí pro konstrukci ostatních částí vrtné soupravy [3].

Vrtný vrátek má brzdy [12]:

- jízdní, které jsou připojeny přímo na hřídel těžního bubnu vrtného vrátku a jejich funkcí je regulovat rychlost spouštění těžkých břemen,
- stavěcí, které jsou obvykle pásové, jejich úkolem je úplné zastavení břemene v žádané poloze.

Kladkostroj

Kladkostroje vrtných souprav jsou charakterizovány hlavně nosností, která je určena velikostí a počtem kladek. Kladkostroje se skládají z pevné a volné kladnice, těžního lana a háku. Lano se upevňuje mrtvým koncem a vrátkem k vrtné věži, dále vede na pevnou korunovou kladnici, odkud je svěřeno a nese volnou kladnici. Na volnou kladnici je připevněn hák, jenž nese vrtnou, případně pažnicovou kolonu. Schematické znázornění hlavních částí kladkostroje je zobrazeno na obr. 2.1. Upoutáním mrtvého konce lana k základům vrtné věže se zvyšuje zatížení koruny věže, zároveň se však zvyšuje její stabilita. Těžní lano bývá ocelové [3, 12].



Obr. 2.1 Schematické znázornění vrtné věže s hlavními částmi kladkostroje [12].

Vrtná věž

Pro funkci vrtné věže se používá celá řada různých konstrukcí, ať už klasické čtyřnohé či třínohé věže nebo vrtné stožáry, které mohou být sklápěcí nebo výsuvné. Vrtné věže musí především splňovat požadavky na dostatečnou bezpečnost při přetížení, vyhovující nosnost, dostatečný pracovní prostor kolem ústí vrtu, dobrou viditelnost do nitra ze stanoviště vrtaře, stabilitu a pevnost proti zkroucení. Výška vrtných věží se nejčastěji pohybuje v rozmezí od 8 do 60 metrů [1].

Vrtné stožáry mají oproti klasickým vrtným věžím značnou výhodu v jednodušší montáži. Stožár se dopravuje nerozebraný a na místě se pouze vysune a vztyčí. Nejrozšířenějším typem vrtných stožárů jsou průzorné stožáry, jejichž tvar připomíná obrácené písmeno V. Stožáry musí být dokonale ukotveny na základě důkladného statického výpočtu [1].

Při provádění vrtných prací v důlních podmínkách představuje použití vrtných věží nebo stožárů značnou komplikaci, protože je nezbytné pro ně nejdříve vyrazit komoru. Z tohoto důvodu se začaly v těchto podmínkách používat vrtné lafety. Vrtné lafety jsou pásová zařízení, na nichž je umístěna lafeta sloužící k upevnění vrtného zařízení. Hlavními výhodami vrtných lafet jsou snadná manipulace a možnost vrtání pod různými úhly. Tyto faktory podnítily rozšíření vrtných lafet i pro vrtání z povrchu, a to především pro průzkumné jádrové vrtání [12].

2.1.3 Vrtací zařízení vrtných souprav

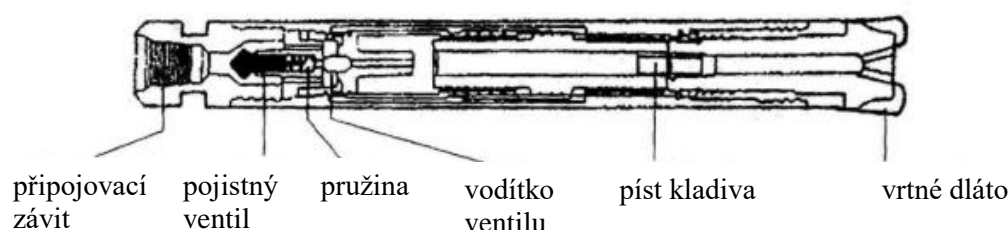
Funkcí vrtacích zařízení vrtných souprav je zajistit samotný vrtací proces. Rozdělují se na:

- nárazová vrtací zařízení,
- rotační vrtací zařízení.

Nárazová vrtací zařízení

Nárazová vrtací zařízení zajišťují rotačně-příklepné vrtání. Nejvíce používanými zařízeními tohoto druhu jsou ponorná nárazová zařízení, ke kterým patří vzduchová ponorná vrtací kladiva a hydraulická ponorná kladiva [1].

U vzduchových ponorných vrtacích kladiv se k vyvození rázu používá energie stlačeného vzduchu. Schéma vzduchového ponorného vrtacího kladiva je zobrazeno na obr. 2.2. Výplach je tvořen směsí vzduchu a vody. Tato vrtací kladiva se dají použít v podstatě ve všech druzích horninového prostředí. Další výhody představuje možnost vrtání větších průměrů s nižšími otáčkami, prakticky konstantní rychlost vrtání a minimalizace ztrát při přenosu úderné energie. Při práci kladiva je jedinou pohybující se částí píst. Jeho pohyby ve válci jsou vyvozeny stlačeným vzduchem z kompresoru. Na dosažení požadovaného plynulého a rovnoměrného tlaku je potřeba důkladné těsnění spojů vzduchového vedení [1].



Obr. 2.2 Schematické znázornění vzduchového ponorného kladiva s popisem hlavních částí [1].

U hydraulických ponorných kladiv se používá pro pohon nárazového mechanismu voda s tlakem až 180 barů. V okamžiku, kdy voda opouští kladivo, má menší tlak a obstarává výplach vrtu. Hydrostatický sloupec pomáhá zvyšovat stabilitu stěn vrtu. Vodou poháněná kladiva mají dvě pohyblivé části, a to píst a ventil. Ventil chrání ponorné vrtací kladivo před vstupem pevných částic způsobený zpětným tokem. Vrtání hydraulickým ponorným kladivem neznečišťuje okolí prachem, navíc vrtání ve vodou vyplněném vrtu snižuje hladinu hluku. V oblastech zvýšené ochrany životního prostředí a v městských čtvrtích představuje použití hydraulických ponorných kladiv velmi vhodnou volbu. Hydraulická ponorná kladiva se používají zejména při hloubení vrtů v tvrdých a abrazivních horninách [1].

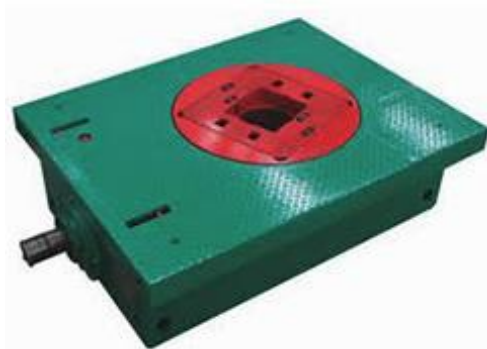
Rotační vrtací zařízení vrtných souprav

Rotační zařízení umožňuje vrtné koloně konat rotační pohyb.

Používanými vrtacími zařízeními jsou [1]:

- rotační stoly,
- rotační hlavy,
- ponorné vrtací motory.

Rotační stoly nejsou s vrtnou kolonou spojeny pevně. Svislý pohyb kolony je volný, ovládá se vrtným vrátkem. Rotace je vrtné koloně předávána pomocí vložek rotačního stolu, které působí na unášecí tyč čtyřhranného průřezu. Příklad provedení rotačního stolu je zobrazen na obr. 2.3 [3].



Obr. 2.3 Rotační stůl [13].

Rotační hlavy jsou s vrtnou kolonou spojeny pevně a vykonávají s ní tak rotační i posuvný pohyb. Spojení je u souprav pro jádrové vrtání realizováno pomocí upínací hlavy, která se nachází na konci vřeteníku neseného hydraulickým podávacím zařízením. To umožňuje vrtání i ukloněných vrtů [1, 8].

Rotační hlavy se rozdělují na:

- průchozí,
- nastavné.

U průchozích rotačních hlav prochází vrtná kolona vřeteníkem, k němuž je připoutána pomocí jednou či dvěma upínacími hlavami. Vřetení je silnostěnná trubka se čtvercovým nebo šestihránným průřezem [1].

Nastavné rotační hlavy se charakteristicky nasazují na vrtnou kolonu svrchu a pracují tak přímo s vrtnou trubicí. Používají se hlavně pro plno-profilové vrtání. Velmi rozšířené je využití tzv. systému Top Drive. Posuvná rotační hlava Top Drive je připojena na horní konec vrtné kolony, kde je zavěšena na spodním bloku kladkostroje (viz obr. 2.4). Systém Top Drive se spolu s vrtnou kolonou pohybuje, dodává jí krouticí moment a umožňuje účinně regulovat přítlak na vrtný nástroj. Krouticí moment je na vrtnou kolonu přenášený pomocí naváděcí ližiny nebo naváděcího ramena. Spojení s vrtnou kolonou zajišťuje manipulační zařízení, které je dálkově ovládáno vřtačem. Systém Top Drive umožňuje efektivní práci s různými druhy trubního materiálu z důvodu mechanizovaného podávání trubek pomocí hydraulických kleští [1].



Obr. 2.4 Top Drive TDS-8SA společnosti National-Oilwell Varco, Inc. [14].

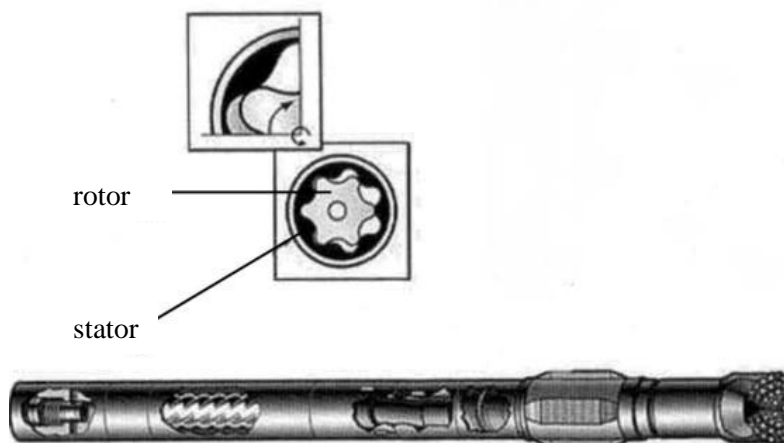
Ponorné vrtné motory jsou charakteristické tím, že se energie nutná k rozpojení hornin přivádí do bezprostřední blízkosti počvy vrtu a teprve zde se mění na mechanickou práci.

Na základě rozdílných konstrukcí se ponorné vrtné motory dělí na:

- hydrodynamické pohony,
- hydrostatické pohony.

Hydrodynamickým pohonem je vrtná turbína. Pracovní část turbíny se skládá z několika pracovních stupňů, což jsou dvojice lopatkových kol. Turbínou proudí výplach, který se lopatkami statoru usměřňuje na lopatky rotoru, který je spojen s vrtným nástrojem. Tím se pohybová energie výplachu přeměňuje na mechanickou práci. Při konstantním množství výplachu se současným růstem zatížení klesají otáčky, naproti tomu tlak zůstává přibližně stejný [1, 15].

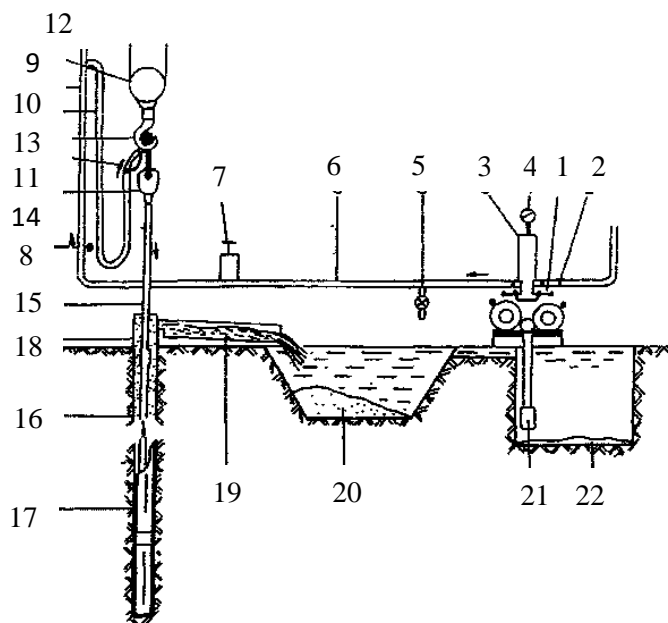
Hydrostatické pohony pracují podle objemového principu, takže při konstantním množství dodávaného výplachu zůstávají konstantní i otáčky. Tlak roste se zvyšujícím se zatížením lineárně. Tyto pohony fungují na principu šnekového čerpadla pracujícího v reverzním režimu. Funkce stroje se tak mění z čerpadla na pohonný motor. Výplach otáčí masivním ocelovým rotorem vlnovitého tvaru (viz obr. 2.5) [1, 15].



Obr. 2.5 Hydrostatický ponorný motor s průřezem rotoru a statoru [15].

2.1.4 Výplachová zařízení vrtných souprav

Výplachové zařízení vrtné soupravy má zajistit rovnoměrnou cirkulaci výplachu ve vrtu, dále má prostřednictvím cirkulačního systému odvádět výplach na požadované místo, kde probíhá čištění od nežádoucích částic. Systém cirkulace výplachu začíná sáním výplachu ze sací jímky přes potrubí pomocí výplachového čerpadla, odkud je výplach vytlačován do výtlačného potrubí, dále proudí přes výplachovou hadici a výplachovou hlavu do vrtné kolony. Odtud proudí až k počvě vrtu, kde vystupuje z nástroje, který tak chladí a očišťuje počvu od rozpojené horniny, kterou sebou odvádí mezikružím mezi stěnou vrtu a vrtnou kolonou. Výplach s rozpojenou horninou vystupuje odtokovou hlavou a proudí přes očišťovací zařízení, kde je zbaven o nežádoucí příměsi, zpět do sací jímky. Tento smysl cirkulace výplachu, který je znázorněn na obr. 2.6, se nazývá přímý výplach vrtu. Pokud proudí výplach naopak, jedná se o výplach nepřímý [12].



Legenda: 1 – výplachové čerpadlo, 2 – pojistný ventil, 3 – větrník, 4 – manometr, 5 – odpouštěcí ventil, 6 – výtlačné potrubí, 7 – dávkovač, 8 – kontrolní manometr, 9 – stoják, 10 – výplachová hadice, 11 – bezpečnostní závěs, 12 – volná kladnice kladkostroje, 13 – hák, 14 – výplachová hlava, 15 – unášecí tyč, 16 – vrtná kolona, 17 – jádrovák, 18 – odtoková hlava, 19 – usazovací žlaby, 20 – usazovací jímka, 21 – sací koš, 22 – sací jímka

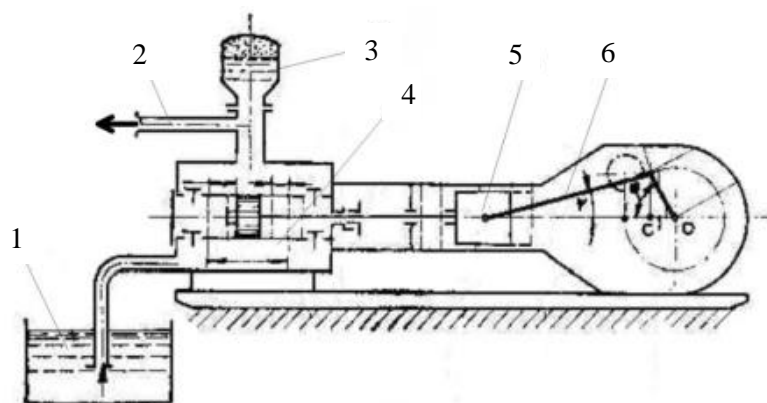
Obr. 2.6 Cirkulační systém jádrové vrtné soupravy [12].

Hlavní část výplachového zařízení je výplachové čerpadlo, které uvádí celý systém do činnosti. Pro vrtné práce se používají objemová čerpadla. Skládají se z masivního rámu, ve kterém je uložena kliková hřídel pohánějící píst. Když se píst pohybuje směrem ke hřídeli, tak se výplach nasává do nasávací komory, při zpětném pohybu pístu se výplach vytlačuje do potrubí. Schematické zobrazení výplachového čerpadla je znázorněno na obr. 2.7 [3, 16].

Částice rozpojených hornin se z výplachu odstraňují pomocí čistících zařízení.

Čistící zařízení se rozdělují na [4]:

- proudová, kam patří usazovací žlaby, jímky a sedimentační zařízení,
- mechanická, do kterých se řadí vibrační síta, hydrocyklony, odstředivky a odplyňovače.



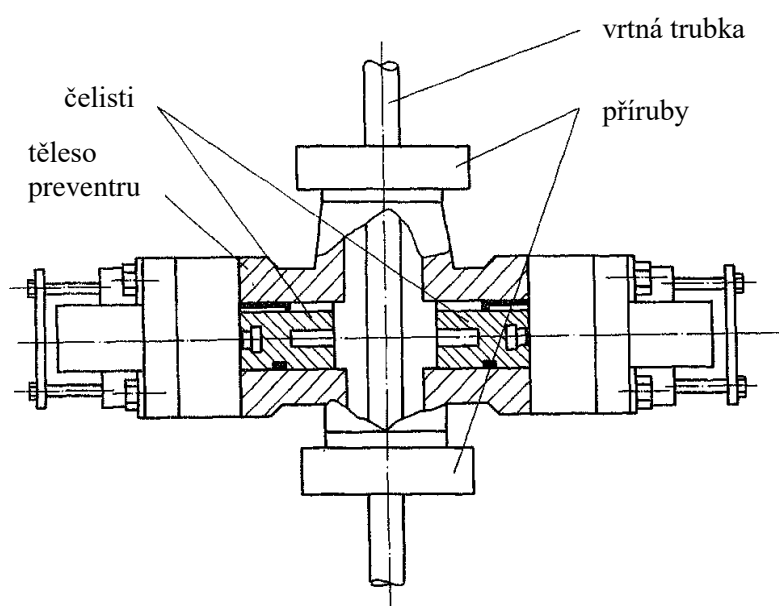
Legenda: 1 – sací jímka, 2 – potrubí ústící do vrtné kolony,
3 – tlakový kompenzátor, 4 – nasávací komora,
5 – píst, 6 – hřídel

Obr. 2.7 Schematické zobrazení výplachového čerpadla [16].

2.1.5 Bezpečnostní a ochranná zařízení

Bezpečnostní a ochranná zařízení slouží k ochraně pracovníků, k ochraně vrtného zařízení a k ochraně vrtného ložiska před zničením. Všechny rotující části musí být vybaveny ochrannými kryty, nebezpečí představuje vrtný výplach. Důležité je udržovat čistotu a pořádek především na pracovní plošině. Vrt a celé zařízení je chráněno proti výronu kapalin a plynů pomocí úst'ových uzávěrů neboli preventrů. Tato zařízení pracují za vysokých tlaků a při nebezpečí tlakové erupce jsou schopny vrt uzavřít [12, 15].

Běžně se používá několik druhů konstrukcí preventrů, především čelist'ové, rotační a univerzální preventry. Čelist'ové preventry jsou dvě ocelové desky, které se při uzavírání pohybují proti sobě (viz obr. 2.8). Uzavírací čelisti mohou být ovládány mechanicky, hydraulicky, případně pneumaticky. Univerzální preventr se uzavírá pomocí pístu, který stlačí kruhovou čelist, jež vytlačí gumu tak, že se přizpůsobí tvaru vrtné kolony [12, 15].



Obr. 2.8 Schéma mechanického čelist'ového preventru [12].

2.1.6 Měřicí a regulační zařízení vrtných souprav

Tato zařízení slouží ke sledování průběhu vrtného procesu a k zajištění údajů pro regulaci. Patří sem i různá signální zařízení kontrolující stav vrtné techniky, aby nedošlo k havárii. Mezi měřicí a regulační zařízení patří například nanometry, otáčkoměry, přístroje k měření krouticího momentu nebo průtokoměry [8, 12].

Měřicí přístroje lze obecně rozdělit podle měřených parametrů na přístroje pro měření [12]:

- funkce strojů,
- režimu vrtání,
- jakosti výplachu,
- stavu vrtu,
- fyzikálních vlastností hornin.

2.2 Rozdělení vrtných souprav

Jednotlivé vrtné soupravy jsou charakterizovány základními parametry, což jsou parametry ovládacího systému, parametry systému rotace a parametry systému cirkulace výplachu. Mezi nejdůležitější parametry ovládacího systému patří zatížení na háku, dosažitelná hloubka vrtání, rychlost zdvihu háku a instalovaný výkon v systému manipulace. Stěžejními parametry systému rotace jsou otáčky a krouticí moment. Parametry systému cirkulace výplachu jsou určeny především výkonem výplachového čerpadla [1].

Existuje několik odlišných konstrukcí vrtných souprav, které lze dělit podle různých kritérií.

2.2.1 Rozdělení podle způsobu přepravy

Vrtné soupravy se dělí dle způsobu přepravy na stabilní, převozná a pojízdná.

Stabilní soupravy se přepravují po jednotlivých částech, je tedy nutná celková demontáž vrtné soupravy. Převozná vrtná souprava jsou strojním celkem zahrnujícím vrtný agregát, vrtnou věž, výplachové čerpadlo a další příslušenství umístěné na podvozku, jehož přepravu zajišťuje tahač. Pojízdné soupravy mají strojní celek umístěný přímo na plošině automobilu zajišťujícího samotný převoz [1].

2.2.2 Rozdělení podle způsobu podávání vrtného nářadí

Vrtné soupravy se dle způsobu podávání a ovládní vrtného nářadí rozdělují na [1]:

- soupravy s ručním pákovým podáváním,
- soupravy s mechanickým podáváním,
- soupravy s hydraulickým podáváním,
- soupravy se vzduchovým podáváním.

2.2.3 Rozdělení podle vrtaného zemského povrchu

Dle toho, do jakého zemského povrchu je vrtná souprava určena, se rozlišují:

- vrtné soupravy pro vrtání na souši,
- vrtné soupravy pro vrtání na moři (offshore).

Důvodem pro vrtání na moři je především těžba ropy a zemního plynu. Nejčastěji se při vrtání offshore vrtá v šelfové oblasti, což je část moře v hloubce 200–400 metrů pod hladinou. Základní technologie vrtání, vystrojení vrtu a těžby se od technologií na souši příliš neliší. Rozdíl je ve vrtných soupravách, které musí odolávat náročným podmínkám. Nazývají se vrtné plošiny. Musí být dokonale ukotveny ke dnu. Místo plošin se mohou používat i vrtná plavidla s vlastním pohonem [17].

Tato bakalářská práce je zaměřena na vrtné soupravy na souši.

2.2.4 Rozdělení podle technologie vrtání

Vrtné soupravy se podle technologie a způsobu vrtání rozdělují na [1]:

- rotační jádrové,
- rotační plno-profilové,
- rotační náběrové,
- pro nárazové vrtání,
- rotačně-příklepné,
- víceúčelové.

V kapitolách 2.3 a 2.4 jsou uvedeny příklady v tuzemských podmínkách běžně používaných vrtných souprav pro rotační vrtání jádrové a plno-profilové.

2.3 Vrtné soupravy pro jádrové vrtání

Vrtné soupravy pro jádrové vrtání se vyznačují kompaktními konstrukcemi a poměrně malou hmotností. Dle rozdílných konstrukcí se dělí na soupravy s vřetenem, s otočnou hydraulickou hlavou a soupravy s rotačním stolem [12].

Vřetenové soupravy pro jádrové vrtání se vyznačují hydraulickým posuvem rotační hlavy, úvodní vrtné trubky bývají upnuty v rotační hlavě mechanicky, případně hydraulicky. Patří sem soupravy typu DB od belgické firmy Diamant Boart Inc., soupravy typu D od švédské firmy Atlas Copco AB nebo soupravy od amerického výrobce Boart Longyear Ltd. Technické parametry některých vybraných souprav jsou uvedeny v příloze č. 4 [1, 12].

Soupravy s plně hydraulickou otočnou hlavou jsou vysokootáčkové lafetové vrtné soupravy s plně hydraulickým ovládním. Typickým představitelem těchto souprav jsou vrtné soupravy řady Diamec od společnosti Atlas Copco AB, technické parametry vybraných souprav jsou uvedeny v příloze č. 5. Na obr. 2.9 je znázorněna souprava Diamec U8. Dalšími rozšířenými soupravami tohoto typu jsou HC 150 výrobce Boart Longyear Ltd., Toram 2x20 od firmy Hagby Bruk AB nebo soupravy výrobce Diamant Boart Inc. [1].



Obr. 2.9 Vrtná souprava Diamec U8 [18].

Vrtné soupravy s rotačním stolem jsou obvykle pojízdné, vrtná věž bývá sklopná, případně výsuvná. Typickým představitelem vrtných souprav s rotačním stolem pro jádrové vrtání jsou ruské soupravy řady URB. Na obr. 2.10 je zobrazena souprava URB-2A-2. V příloze č. 6 jsou uvedeny typy souprav řady URB a jejich technické parametry [1].



Obr. 2.10 Vrtná souprava URB-2A-2 [19].

Víceúčelovými soupravami lze vrtat nejen jádrově, ale při skladbě vhodných technických prvků zajišťují i nárazové nebo rotační vrtání bez výplachu, případně vrtání šnekové nebo lanové. Různé kombinace jsou zajištěny stavebnicovým konceptem konstrukce instalovaným na základním rámu automobilového podvozku. Tyto soupravy se užívají především v hydrogeologii a inženýrské geologii. Příkladem těchto souprav jsou běžně používané soupravy typu Wirth od výrobce MHWirth GmbH, jejichž technické parametry jsou uvedeny v příloze č. 7. Obr. 2.11 znázorňuje soupravu Wirth B-3A [20].



Obr. 2.11 Vrtná souprava Wirth B-3A [21].

2.4 Vrtné soupravy pro rotační plno-profilové vrtání

Plno-profilové vrtání rotarovým způsobem je nejrozšířenější technologií vrtání hlubokých vrtů. Rotarové vrtné soupravy se podle zatížení na háku kladkostrojové soustavy rozdělují na [4]:

- lehké,
- středně těžké,
- těžké.

Lehké vrtné soupravy se vyznačují zatížením na háku do 500 kN. Lehkými vrtnými soupravami pro plno-profilové vrtání se dosahuje hloubek 400 až 1 200 metrů. Pro tyto soupravy je charakteristické umístění na podvozcích nákladních automobilů a využití výsuvných věží. Do skupiny lehkých vrtných souprav se řadí například soupravy T-50, FR-4, nebo FS-32 [1].

Středně těžké soupravy pro plno-profilové vrtání jsou na háku zatížené od 500 do 1 500 kN. Používají se pro hloubení vrtů do hloubky 1 200 až 2 800 metrů. Jedná se převážně o soupravy s demontovatelnými věžemi, případně sklopnými nebo výsuvnými, uloženými na samohybných podvozcích. Do této skupiny patří například vrtné soupravy typu 2 DH-100, F-100 nebo F-125 [1].

Těžké vrtné soupravy pro plno-profilové rotační vrtání se používají hlavně pro hloubení vrtů na ropu a zemní plyn. Mohou být i pojízdné, jako například soupravy řady IDECO, s kterými lze vrtat do hloubek až 3 000 m. Pro dosažení větších hloubek se používají soupravy stabilní se systémem Top Drive. V České republice se jedná zejména o vrtné soupravy od amerického výrobce National-Oilwell Varco, Inc. Největších hloubek se však v podmínkách České republiky dosahuje vrtnými soupravami od výrobce Bentec GmbH [1].

Soupravy IDECO jsou pojízdné vrtné soupravy, jejichž konstrukce je charakteristická v uložení hlavních uzlů na speciálních samohybných podvozcích. Tato skutečnost zlehčuje a urychluje montáž a demontáž. Vrtné soupravy IDECO se vyrábí ve variantách DIR a BIR. Obě konstrukční varianty lze snadno odlišit na základě směru sklopení vrtné věže. Vrtné věže souprav typu BIR (viz obr. 2.12) se vztyčují opačně k směru jízdy, zatímco u vrtných souprav DIR se vrtné věže vztyčují ve směru jízdy. Soupravy DIR se proto vyznačují snadnější manévrovatelností, vrtná věž nezatěžuje přední nápravu, jako tomu je u souprav BIR. Jednou z výhod souprav typu BIR je umístění kabiny řidiče na vzdálenější straně od vrtu, což zajišťuje větší ochranu před znečištěním od výplachové kapaliny, ropy apod. Kabina u vrtných souprav DIR je v bezprostřední blízkosti vrtu, jsou tedy potřeba zvláštní opatření pro zabránění jejího znečištění. V příloze č. 8 jsou uvedeny technické parametry vybraných souprav IDECO DIR 806 a IDECO BIR 7585 v porovnání se stabilní soupravou od výrobce National-Oilwell Varco, Inc. [1, 22].

Vrtné soupravy Bentec jsou moderní vrtné soupravy na vysoké technologické úrovni, které splňují požadavky vysoké bezpečnosti a ekologického provozu. Soupravy jsou vyrobeny v souladu s nároky na nízko-emisní provoz a mají certifikaci pro práci v prostředí s nebezpečím výbuchu. Soupravy Bentec mají kontejnerovou sklepovou konstrukci, věž je stavěná vertikálně po sekcích. Vrtný vrátek je vybaven hydrodynamickou brzdou chlazenou vzduchem, vrátek je ovládán z kabiny vrtače pomocí joysticku. Souprava disponuje systémem ACS, který slouží ke sběru dat a jejich vyhodnocení za účelem ochrany před havárií. V tuzemských podmínkách je jediným vlastníkem těchto souprav firma MND Drilling & Services a.s., která má k dispozici soupravy Bentec 250 (znázorněná na obr. 2.13), Bentec 350 AC a Bentec 450. Tyto soupravy jsou porovnány v příloze č. 9 [23, 24].



Obr. 2.12 Vrtná souprava IDECO řady BIR [25].



Obr. 2.13 Vrtná souprava Bentec 250 [26].

3 VRTNÉ NÁSTROJE

Pojmem vrtný nástroj se rozumí všechny druhy nástrojů používaných při rozpojování hornin mechanickými způsoby. Vrtný nástroj je připojen na vrtnou kolonu, rozpojuje a odvrtává horninu na počvě vrtu. Volba typu vrtného nástroje je zásadním parametrem pro určení ekonomické efektivity vrtných prací [27].

3.1 Vrtná kolona

Vrtná kolona je sestava náradí, jejímž úkolem je zajistit přenos krouticího momentu od zdroje otáčení, a tedy přenos mechanického výkonu, dále přenos hydraulického výkonu od čerpadla přívodem výplachu k počvě vrtu. Vrtná kolona navíc vytváří přítlak na vrtný nástroj a usměrňuje jeho práci [12].

Vrtná kolona se skládá z funkčních částí [12]:

- převodové,
- prodlužovací,
- pracovní.

Převodovou část tvoří unášecí tyč, která převádí krouticí moment na vrtnou kolonu. Je důležité, aby byla tuhá a měla hladký povrch. Vyrábí se ze zušlechtné chrom-molybdenové oceli [27].

Prodlužovací část tvoří vrtné trubky a spojovací prvky. Jejím úkolem je přenášet rotační pohyb od převodové části, přivádět k počvě vrtu výplach a umožnit zapouštění, případně vytahování vrtného nástroje. Vrtné trubky musí mít dostatečnou pevnost na krut a tah, vyrábějí se z oceli, běžně například 11 523.1 dle označení ČSN, případně ze slitin hliníku a hořčíku. Vrtné trubky jsou tlustostěnné a bezešvé, nejčastěji mají délku 1 až 6 metrů, delší trubky až 13 metrů [27].

Pracovní část je složena z více částí, jako jsou zátěžky, stabilizátory, usadačky a samotný vrtný nástroj. Zátěžka má za úkol vytvářet přítlak na vrtný nástroj. Stabilizátor umožňuje vést vrtný nástroj v ose vrtu. Usadačky zachycují vrtnou drť. Pracovní část vrtné kolony musí být tuhá a odolná na vzpěr, měla by mít dostatečnou hmotnost, aby byl realizován přítlak na vrtný nástroj a aby byl usnadněn proces napínání prodlužovací části vrtné kolony. V případě jádrovacího vrtání se zde nalézají části, které přijímají a chrání vrtné jádro, následně mu umožní jeho odtěžení na povrch [12, 27].

Jednotlivé části vrtné kolony jsou spojeny pomocí spojovacích prvků, které jsou vyrobeny nejčastěji z oceli třídy 15 dle označení ČSN. Používanými spojovacími prvky jsou spojníky, nátrubky, vsuvky, nebo spojky. Spojníky mají na obou koncích vnější závit, nátrubky na obou koncích vnitřní závit, vsuvky mají na jednom konci vnitřní závit, na druhém vnější. Spojka je dvoudílná, první část má vnitřní závit pro připojení k trubce a spojovací vnější závit, druhá část má spojovací vnitřní závit a vnitřní závit pro připojení k trubce. Spojení zajišťují odlišné druhy závitů, běžně jde o závitová připojení podle API nebo Rd [12, 28, 29].

Zvláštní případ tvoří jádrové vrtání s možností těžít vrtné jádro, aniž by bylo potřeba zvedat vrtný nástroj. Tato metoda je známá jako wire-line neboli jako vrtání s těžitelnou jádrovnicí na laně. U této metody se používají odlišné, dražší vrtné trubky. Tyto trubky musí být uvnitř dokonale hladké, aby byla umožněna těžba jádrovnice [15, 27].

3.2 Způsob práce pracovních orgánů vrtných nástrojů

Pracovní orgány vrtných nástrojů mohou vykonávat odlišné pracovní úkony. Záleží, v jakém kinematickém poměru jsou ve vztahu k počvě vrtu a ve vztahu k samotnému nástroji [12].

3.2.1 Řezné pohyby vrtných nástrojů

Vrtný nástroj pro jakýkoli způsob vrtání koná posuvový pohyb ve směru hloubení vrtu. Tento pohyb může být plynulý, pro jiné způsoby práce přerušovaný. Tento pohyb je doplněn dalším pracovním pohybem, který zpravidla charakterizuje způsob práce vrtného nástroje. Může se jednat o [12]:

- rotační pohyb s rovinou rotace kolmou na podélnou osu vrtu ve směru posuvového pohybu, který je plynulý,
- pohyb střídavě postupný, který je konaný ve stejném směru jako pohyb posuvný, který je přerušovaný,
- pohyb kombinovaný, který vzniká současným konáním rotačního a střídavě postupného pohybu.

Pokud pracovní orgány nekonají vůči nástroji žádný relativní pohyb, pak je jejich výsledný pohyb dán součtem dvou pracovních pohybů. U některých vrtných nástrojů však konají pracovní nástroje vůči samotnému nástroji samostatný pohyb. Příkladem jsou valivé a odvalovací nástroje, kde jde o pohyb vzniklý odvalováním pracovních orgánů nástroje po počvě vrtu. V takovém případě je výsledný pohyb dán součtem pracovních pohybů nástroje a vlastního pohybu pracovního orgánu. Pokud na horninu působí současně hned několik pracovních orgánů, je celkový obraz napjatosti závislý na rozteči rozmístění těchto orgánů ve vztahu k celkové velikosti oblasti napjatosti [5, 12].

3.2.2 Druhy rozpojovacích úkonů vrtných nástrojů

Rozpojení hornin uskutečňují pracovní orgány vrtných nástrojů za určitých pohybových a kontaktních poměrů, podle kterých se rozlišují rozpojovací úkony vrtných nástrojů [5, 12]:

- řezání,
- rýpání,
- usmýknutí,
- vylupování,
- vyštěpování,
- odštěpování,
- sekání.

Řezání se vznikem celistvé plasticky deformované třísky se v podmínkách hlubinného vrtání nevyskytuje příliš často. To je dáno tím, že pro tento druh rozpojování je nutná existence třístranné volnosti při vzniku třísky a hornina musí být v plastickém stavu. Běžnější je rýpání, kdy se hornina rozpojuje nerovnoměrně ve skocích. Tvořící se tříska není celistvá, ale potrhaná, a má úplnou nebo částečnou volnost na jedné, případně na dvou stranách. Rýpání je za hřbetovou částí vrtného nástroje běžně doprovázeno třecím vylupováním horniny. Vylupování se děje v místech zbytku tlakového jádra, které je významné pro pracovní orgány s negativním úhlem řezu. To je typické zejména pro diamantové nástroje. Při rýpání může být rozpojení horniny čelním směrem způsobeno dosáhnutím mezního stavu, a to buď od normálového napětí, v tom případě se jedná o vytržení horniny, nebo od tečného napětí, potom se jedná o usmýknutí [5, 12].

Pracovní orgány nástrojů, u kterých je ztotožněn posuvný a hlavní pohyb, působí na počvu vrtu zatlačováním. Důsledkem je vyštěpování horniny, případně boční odštěpování ve směru volného boku. Pokud takto nástroj působí nárazově, potom se jedná o sekání [12].

3.2.3 Tvary pracovních orgánů vrtných nástrojů

Ačkoli existuje mnoho odlišných vrtných nástrojů, tak pro tvorbu jejich pracovních orgánů, které se bezprostředně zúčastňují rozpojovacích procesů, se používají úzce definované tvary. Tělesa pracovních orgánů vrtných nástrojů mohou mít základní tvar [5]:

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

Klínovitý tvar je vhodný pro nástroje používané na rozpojování velmi pevných hornin, kdy při omezené osově síle lze snadněji dosáhnout mezního stavu. To platí za předpokladu, že rozpojované horniny jsou málo abrazivní [5].

Válcovitý tvar je vhodný pro nástroje rozpojující středně pevné horniny, pro které lze vyvozovat potřebnou osovou sílu pro dosažení mezního stavu v hornině a zároveň využít kladu nejvyšší velikosti rozpojeného objemu a stálosti kontaktních poměrů [5].

Kulovitý tvar pracovních orgánů je nejvhodnější pro nástroje rozpojující velmi pevné a abrazivní horniny. Tento tvar má výhodu ve stálosti kontaktních vztahů. Ta je dána skutečností, že kulička se po počvě vrtu buď odvaluje, nebo je s horninou v kontaktu bez skluzu, případně se při skluzu projevuje vysoká abrazivní odolnost samotné kuličky, která bývá z diamantu [5].

3.3 Klasifikace vrtných nástrojů

Vrtné nástroje se vyrábí v mnoha odlišných provedeních. Rozdělují se podle různých kritérií, např. podle způsobu vrtání, podle účelu použití, nebo podle geometrie rozpojované počvy vrtu.

Vrtné nástroje pro hlubinné vrtání se dělí dle způsobu vrtání na:

- nástroje pro rotační vrtání,
- nástroje pro nárazové vrtání,
- nástroje pro kombinovaný způsob práce.

Dle účelu použití se vrtné nástroje rozdělují na [27]:

- nástroje hloubicí,
- nástroje přibírací,
- nástroje propracovávací,
- nástroje speciální.

Geometrie rozpojované počvy vrtu je z hlediska technologického přístupu hlavním kritériem rozdělení vrtných nástrojů pro hlubinné vrtání. Dle tohoto kritéria se vrtné nástroje dělí na:

- vrtné nástroje pro plno-profilové vrtání,
- vrtné nástroje pro jádrové vrtání.

V kapitolách 3.4 a 3.5 jsou uvedeny příklady vrtných nástrojů pro rotační vrtání právě podle tohoto kritéria. V kapitole 3.6 jsou dále popsány nástroje pro nárazový způsob vrtání, kapitola 3.7 pak uvádí příklady nástrojů pro primitivnější náběrový způsob vrtání.

3.4 Vrtné nástroje pro plno-profilové vrtání

Nástroje pro plno-profilové rotační vrtání se nazývají vrtná dláta a rozpojují celý profil počvy vrtu. Vrtná dláta se obecně rozdělují na [27]:

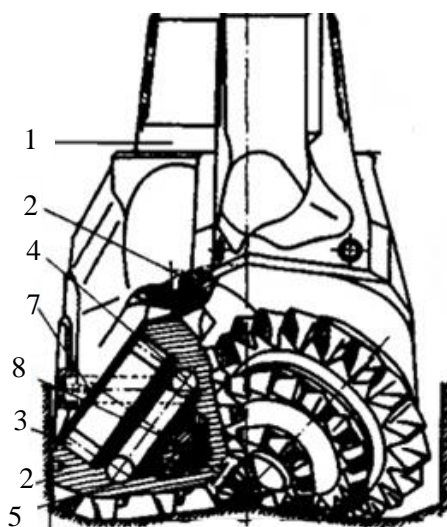
- valivá,
- kompaktní,
- diamantová,
- listová,
- pro speciální účely (speciální operace, např. rozšiřovače, pilotová dláta apod.).

3.4.1 Valivá dláta

Valivá dláta se skládají z několika ocelových ozubených kuželovitých řezných elementů (většinou ze tří), které jsou upevněny na tělesa dlát pomocí třecích ložisek. Rotací tělesa dláta se ozubené kužely odvalují po počvě vrtu a za příslušného přítlaku horninovou hmotu drtí, odštěpují a vyštěpují [30].

Konstrukční prvky valivých dlát jsou znázorněny na obr. 3.1. Hlavními částmi jsou [5]:

- těleso dláta s upínacím závitem a nosiči s ložiskovými čepy,
- kužely nesoucí pracovní orgány dláta,
- ložiska umožňující rotaci kuželů na ložiskových čepích nosičů dláta a odvalování kuželů po počvě vrtu při otáčení tělesa dláta,
- výplachové kanály pro výtok výplachu z tělesa dláta opatřené tryskami.



- Legenda: 1 – těleso dláta, 2 – kužel, 3 – válečkové ložisko,
 4 – kuličkové ložisko, 5 – kluzké ložisko,
 6 – tryska pro výtok výplachu,
 7 – uzávěr kuličkového ložiska, 8 – opěrný kluzký uzávěr

Obr. 3.1 Schéma konstrukce valivého dláta [5].

Po konstrukční stránce se rozlišují typy těles [5]:

- Valivá dláta do průměru 311 mm mají tělesa tvořené samostatnými segmenty, které se skládají z nosičů kuželů s čepy. Ty se společně s nasazenými kužely svaří.
- Valivá dláta s průměrem nad 311 mm mají těleso dláta tvořené třemi segmentovými nosiči s čepy, které se navařují do drážek ocelolitinové centrální části, která je opatřena závitem.

Kužely valivých dlát jsou charakterizovány tvarem, polohou, druhem ozubení a materiálem.

Na tvaru kužele závisí jeho štípací účinek. Rozlišují se tři základní typy [5, 27]:

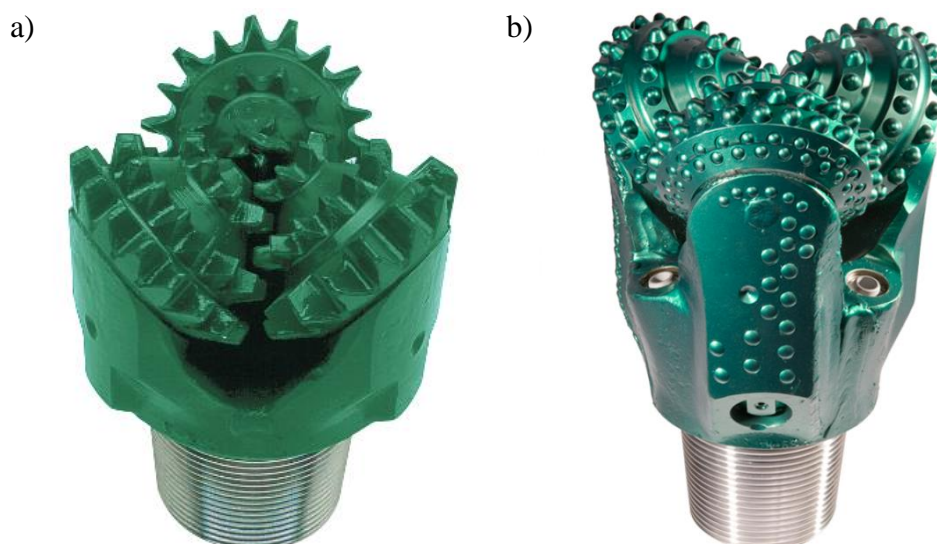
- Dokonalý kužel, tedy pouze jeden kužel, který má vrcholový úhel 78° až $96,55^\circ$. Dláta s těmito kužely jsou určena pro tvrdé a abrazivní horniny, mají však malou životnost.
- Dvoukuželová dláta mají vrcholový úhel hlavního kužele 83° až 92° , doplňující kužel má vrcholový úhel 25° až 35° . Žádný z uvedených vrcholů kuželů neleží ve středu dláta. Tím je kužel nucen odvalovat se po jiné dráze, než odpovídá délce povrchy kuželů. Tak nastává smyková činnost zubů po počvě vrtu a je tím větší, čím menší je vrcholový úhel kužele. S růstem pevnosti horniny se mění konstrukce celého kužele tak, že vrcholy kuželů konvergují. Existují dvě provedení těchto kuželů, a to pro tvrdé a velmi tvrdé horniny, které je bez vyosení kuželů, druhé provedení dlát je pro měkké a středně tvrdé horniny s vyosením kuželů vzhledem ke středu vrtu v hodnotě 8–10 mm.
- Tříkuželová dláta mají zvýšený štípací a smykový účinek zubů na počvě vrtu, což je vhodné zejména do měkkých a středně pevných hornin. Vrcholový úhel hlavního kužele je 86° až 94° , první doplňující kužel má vrcholový úhel 44° až 76° a druhý doplňující kužel má vrcholový úhel 20° až 60° .

Základním faktorem pro konstrukci valivých dlát je velikost prostoru, ve kterém nástroj vykonává práci a který je určen průměrem vrtu. Pro efektivní práci dláta je důležitá vyváženost proporcí jednotlivých částí dláta, které nachází v daném omezeném prostoru. Nejrozšířenějším typem konstrukce je tříkuželové dláto, protože uspořádání jeho jednotlivých součástí umožňuje maximální využití dostupného prostoru. Navíc má tříkuželové dláto největší životnost a zajišťuje dokonalou kruhovou kalibraci vrtu [5].

Kužely jsou upevněné k ložiskovým čepům, které jsou součástí nosičů tělesa. To nástroji zajišťuje pevnost při zatížení. Zatížení dláta je poté přebíráno válečkovým ložiskem, které se nachází poblíž základny kužele, a kluzným ložiskem, které leží na vrcholu kužele. Dalším používaným ložiskem je kuličkové, které udržuje kužel na ložiskovém čepu. Na vrcholu kužele je opěrný uzávěr ložiska tvořený kluzným axiálním přítlačným ložiskem. To zároveň poskytuje i další nosnou kapacitu při zatížení [5].

Pracovní orgány valivých dlát vytvářejí ozubení kuželů. Podle tvaru se rozdělují na [31]:

- Klínové zuby, nástroje s těmito pracovními orgány se nazývají valivá dláta zubová (viz obr. 3.2a), zuby jsou vyfrézované ve válečkách z legované nástrojové oceli, případně jsou opatřeny návary ze slinutých karbidů.
- Roubíky, kdy kuželové segmenty jsou osazené roubíky ze slinutých karbidů, tyto nástroje se nazývají valivá dláta roubíková (viz obr. 3.2b).



Obr. 3.2 Valivá dláta od firmy Varel International Energy Services, Inc.
a) zubové valivé dláto [32], b) roubíkové valivé dláto [33]

Výška pracovních orgánů je různá a od vrcholu kužele k jeho základně stoupá. Nejvyšší jsou zuby kalibračních věnců. Výška zubů se volí v závislosti na pevnosti horniny. Pro vrtání v měkkých horninách se používají valivá dláta s vyššími zuby, naopak v tvrdých horninách valivá dláta s nižšími zuby [27].

U valivých dlát se rozlišují typy výplachových systémů:

- centrální,
- tryskový.

Valivá dláta s centrálním výplachem, též nazývaným konvenčním, mají vyvrtané otvory přímo v tělese dláta. Poměrně rozměrnými otvory, které bývají tři nebo i méně, se přivádí mezi kužely výplach. Proud výplachu čistí a chladí kužely dláta, avšak na počvu vrtu dorazí jen menší část proudu. Na počvě vrtu postupuje výplach směrem ke stěnám vrtu a sbírá vrtnou drť do cirkulačního okruhu [5, 27].

Valivá dláta s tryskovým výplachem mají hydrodynamicky dokonalejší tvar kanálků uvnitř dláta. Tvarování probíhá už při výrobě výkovek jednotlivých třetin dláta. V těle dláta jsou vytvarovány výstupky. V těchto výstupkách jsou upevněny trysky, které proud výplachu usměrňují přímo k počvě vrtu. Výplach protéká vysokou rychlostí mezi zuby dláta a vynáší horninovou drť do mezikruží. Trysky jsou v těle dláta upevněny závitovou přídržnou maticí a utěsněny O – kroužkem [5, 27].

Pro vrtání v měkkých a středně tvrdých horninách se doporučuje používat zubová valivá dláta. Roubíková valivá dláta se používají pro středně pevné a pevné abrazivní horniny. Výrobci valivých dlát produkují své nástroje ve čtyřech základních stupních vzhledem k pevnosti rozpojovaných hornin [27, 34].

3.4.2 Kompaktní dláta

Kompaktní dláta jsou nástroje řezného typu. Pracovní orgány kompaktních dlát jsou tvořeny syntetickými kompozitními materiály. Tělo kompaktních dlát je masivní, nemá pohyblivé části. Tělo dláta je z legované oceli, případně ze slinutých karbidů. Na konci nástroje se nachází kanálky, které vedou vrtný výplach na počvu vrtu. Obecně je snadou dostat trysky k počvě co nejbližší. Řezné válečky kompaktních dlát jsou zalisovány na boky dlát bez vysazení, což

zajišťuje ochranu proti ztrátě průměru. Na obr. 3.3 je zobrazen příklad kompaktního dláta od firmy Ulterra Drilling Technologies L.P. Obr. 3.4 dále ukazuje různé konstrukce kompaktních dlát od tohoto výrobce [27, 35].



Obr. 3.3 Kompaktní dláto od firmy Ulterra Drilling Technologies L.P. [36].



Obr. 3.4 Různé konstrukce kompaktních dlát od firmy Ulterra Drilling Technologies L.P. [36].

Řezné elementy jsou tvořeny dvěma složkami tvrdých materiálů většinou kruhového tvaru. Spodní část je ze slinutých karbidů, na které je pod vysokým tlakem a za vysoké teploty nanášena druhá část ze supertvrdých materiálů. Většinou se jedná o polykrystalickou vrstvičku syntetických diamantů různé tloušťky (běžně třeba 0,64 mm). Tyto elementy jsou nazývány jako tzv. blanky. Významným výrobcem blanků je Sandvik Hyperion AB, příklady jejich produktů jsou uvedeny na obr. 3.5. Blank tvoří společně s nosným válečkem řezný zub. Řezné zuby jsou do dláta vsazovány tak, aby při jedné otáčce pokryly celou plochu počvy [27, 35].

Zvýšením počtů zubů se zvyšuje životnost dláta a klesá rychlost vrtání. Dláto určené pro tvrdší horninu je osazené větším počtem řezných elementů. Kompaktní dláto je charakterizováno druhem, počtem a průměrem řezných elementů. Řezné elementy tvaru válečku mají nejčastěji průměr 19 mm, 13 mm nebo 9 mm [27].

Kompaktní dláta se dělí na [27]:

- PDC dláta (Polycrystalline Diamond Bits),
- TSP dláta (Thermally Stable Polycrystalline Bits) – kompaktní dláta osazená teplotně stabilními polykrystalickými diamanty.



Obr. 3.5 Řezné elementy Stratapax od výrobce Sandvik Hyperion AB [37].

PDC dláta se používají spíše ve středně tvrdých až tvrdých horninách vzhledem k větším rozměrům řezných zubů, kdežto dláta TSP jsou vhodné pro vrtání ve velmi tvrdých a abrazivních podmínkách [27].

3.4.3 Diamantová dláta

Diamantové dláto se skládá z ocelového těla s přípojovacím závitem a vsazovanými řeznými elementy z diamantů. Diamanty musí být rozmístěny tak, aby bylo zajištěno pokrytí celé plochy počvy vrtu řeznými drahami jednotlivých diamantů. Na obr. 3.6 je zobrazen příklad diamantového dláta od výrobce Geoproduct Inc. Velikost vsazených diamantů výrazně ovlivňuje řezné podmínky. S rostoucí tvrdostí horniny se používají diamantové řezné elementy menších velikostí [27, 38].



Obr. 3.6 Diamantové dláto společnosti Geoproduct Inc. [39].

Důležitým konstrukčním parametrem je i vysazení diamantů. Při vrtání v měkkých horninách bývá vysazení diamantu 25 % jeho průměru, při vrtání ve středně tvrdých okolo 15 %, pro vrtání v tvrdých horninách je vysazení diamantu 10 % průměru. Výjimkou jsou diamanty na boční kalibrující části dláta, kde je vysazení diamantu 10 % průměru u všech diamantových dlát. Okamžitá hloubka řezu jednotlivých diamantů závisí na hustotě osazení, profilu dláta a na

přítlaku. Hloubka řezu bývá 1 % až 10 % vysazení diamantů, zbývající prostor mezi povrchem matrice nástroje a čelem vrtu je využívána pro průtok výplachu [27].

Průtokové kanálky diamantových dlát jsou navrhovány tak, aby bylo zabráněno druhotnému rozrušování horniny, která už byla odvrtná, a to z důvodu dosažení maximální možné rychlosti vrtání. Velmi důležité je také dostatečné stejnoměrné ochlazování vsazovaných diamantů [38].

Největší předností diamantových dlát je vysoká životnost. Použitím těchto dlát se dosahuje vyššího odvrtnu na jeden záběr, čím se snižuje počet zapouštění náradí a těžení. Vrtání diamantovými dlátami je výhodné ve velkých hloubkách [27].

3.4.4 Listová dláta

Břity listových dlát jsou osazené navařenými elementy ze slinitých karbidů. Vyrábějí se v provedení dvou, tří (viz obr. 3.7) nebo čtyřlístých dlát. Použití listových dlát se omezuje na vrtání v měkkých horninách, při vrtání v tvrdších horninách se s nimi nedosahuje požadovaný vrtný postup [8, 27].



Obr. 3.7 Třilísté dláto [40].

Břity těchto dlát jsou tvořeny klíny. Geometrický tvar ostří břitu je dán úhlem ostří břitu a řezným úhlem. Listové dláto do rozpojované horniny vniká působením osové síly na čele břitu, a to po celé jeho délce. Tvar listu a jeho provedení má významný vliv na efektivnost vrtného procesu. Čím menší úhel ostří břitu, tím je třeba menší síly pro docílení stejné třísky. Úhel ostří však nelze zmenšovat neomezeně, po překročení určité meze je pevnost břitu výrazně menší. Určení úhlu ostří břitu a tvaru listu vychází z pevnostních předpokladů [8].

Podle úhlů jednotlivých listů se rozlišují listová dláta používaná [27]:

- pro velmi měkké horniny – úhel ostří břitu 20°, úhel řezu 70°,
- pro měkké horniny – úhel ostří břitu 22°, úhel řezu 75°,
- pro středně tvrdé horniny – úhel ostří břitu 25°, úhel řezu 85°.

3.5 Vrtné nástroje pro jádrové vrtání

Vrtné nástroje používané pro jádrové vrtání se nazývají vrtné korunky. Většinou mají válcovitý tvar, na okraji mají řezné elementy, uprostřed jsou duté. Korunky odvrátávají mezikruží, střed počvy vrtu zůstává neporušen, čímž vzniká jádro. Otvorem korunky proniká odvrátané jádro do jádrováku. Jádrovák je zařízení, ve kterém je vrtné jádro uschováno a chráněno. Následně také slouží pro vytažení jádra na povrch.

Nejpoužívanější jsou dvojité jádrováky. Klasická konstrukce dvojitého jádrováku má na vnitřní části, nazývané vnitřní jádrovnice, v dolním prostoru patu s trhačem jádra. Horní část je našroubována k vřetenu ložiskového uzlu. Ložiskový uzel se skládá z ložiska, vnitřního upevňovacího náboje, průvlečné matice, vřetena ložiskového uzlu, šroubu zpětného ventilu, kuličky zpětného ventilu a sedla zpětného ventilu. Průvlečná matice ložiska je sešroubována k horní části ložiskového uzlu, která je spojena s čepem bezpečnostního spojníku. Ve vřetenu ložiskového uzlu se nachází otvory, které umožňují cirkulaci výplachu po dosednutí kuličky zpětného ventilu do sedla. Ložisko je výplachem chlazené a zároveň mazané. Mezi čep bezpečnostního spojníku a horní část ložiskového uzlu jsou vloženy vymezovací kroužky různé délky, které slouží ke korekci délky vnitřní jádrovnice [15].

Bezpečnostní spojník je přes třecí kroužek sešroubován k matici bezpečnostního spojníku, která tvoří horní část vnější jádrovnice. Vnější jádrovnice je dále tvořena navzájem spojenými částmi, konkrétně horním stabilizátorem jádrováku, trubkou vnější jádrovnice, dolním stabilizátorem a patou vnější jádrovnice. Stabilizátory se starají o to, aby se jádrovák neohýbal, a umožňují odběr dlouhých jader. Na dolní části paty vnější jádrovnice se nachází závit, na který se našroubuje vrtná korunka [15].

Základní délka jádrováku je přizpůsobena k odběru 9 metrů jádra. Jádrovák lze však spojovat do delších celků na odběr jader až 27 metrů dlouhých. V tuzemských podmínkách je nejpoužívanějším typem jádrováku dvojitý jádrovák Christensen P 250. Všechny části jádrováku se vyrábí z kvalitní oceli třídy 15 142 dle označení ČSN [15].

Vrtné korunky pro jádrové vrtání lze rozdělit na [27]:

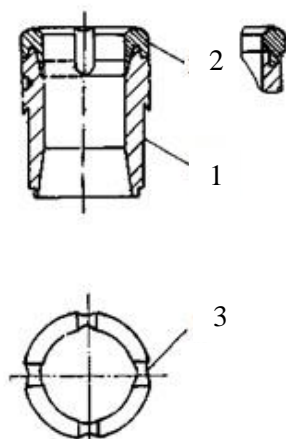
- diamantové vrtné korunky,
- vrtné korunky ze slinutých karbidů,
- valivé vrtné korunky,
- šrotové vrtné korunky.

3.5.1 Diamantové vrtné korunky

Diamantové korunky se skládají z pracovní části, těla a výplachových kanálek (viz obr. 3.8). Pracovní část je tvořena nosnou maticí a diamanty. Jedná se o polykrystalické diamanty, méně často o zrna přírodních diamantů. Tělo je spojovacím článkem mezi vrtnou kolonou a pracovní částí nástroje [27].

Pracovní část diamantových korunek tvoří jeden celek. Podle způsobu umístění diamantů v matici se diamantové korunky dělí na [12]:

- vsazované korunky, které jsou povrchově osazeny řeznými diamantovými orgány,
- impregnované korunky, u kterých je matrice směsí slinutých karbidů a diamantového prachu (případně drobných diamantů).



Legenda: 1 – tělo, 2 – pracovní část, 3 – výplachové kanálky

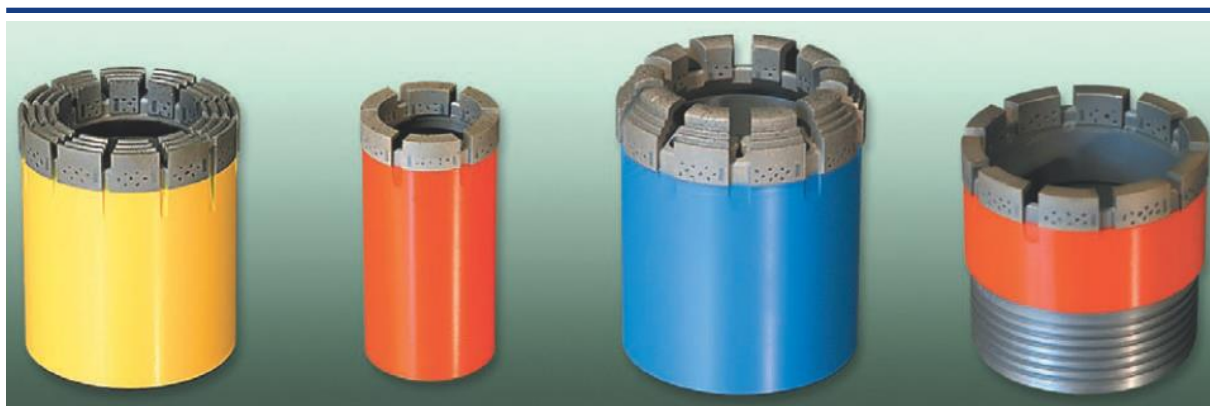
Obr. 3.8 Schéma diamantové vrtné korunky se základními částmi [27].

U vsazovaných korunek se řezné elementy rozmísťujú na pracovném povrchu tak, aby se z řezných drah jednotlivých orgánů vytvořila celistvá řezná plocha. Na obr. 3.9 je zobrazen příklad vsazované diamantové korunky od výrobce Boart Longyear Ltd. U impregnovaných korunek je rozmístění diamantů na pracovní ploše náhodné a je závislé na množství použité diamantové suroviny a na kvalitě promísení diamantového prachu s materiálem matrice. Na obr. 3.10 jsou pro ilustraci zobrazeny impregnované diamantové korunky od firmy Urdiamant, s. r. o. U vsazovaných korunek je úplné opotřebení diamantových orgánů nepřípustné a je snahou chránit nosnou matici před opotřebením, zatímco u impregnovaných korunek je opotřebení matrice v souladu s opotřebením diamantových zrn [12].

Pracovní část diamantových korunek je charakterizována kvalitou diamantů, zrnitostí diamantové suroviny, výškou vsazení diamantů z matrice, rozmístěním diamantů na pracovní ploše nástroje a tvarem profilu čela nástroje. Dále záleží na upínací schopnosti matrice a její tvrdosti [27].



Obr. 3.9 Vsazovaná diamantová vrtná korunka firmy Boart Longyear Ltd. [41].



Obr. 3.10 Různé konstrukce impregnovaných diamantových korunek od výrobce Urdiamant, s. r. o. [42].

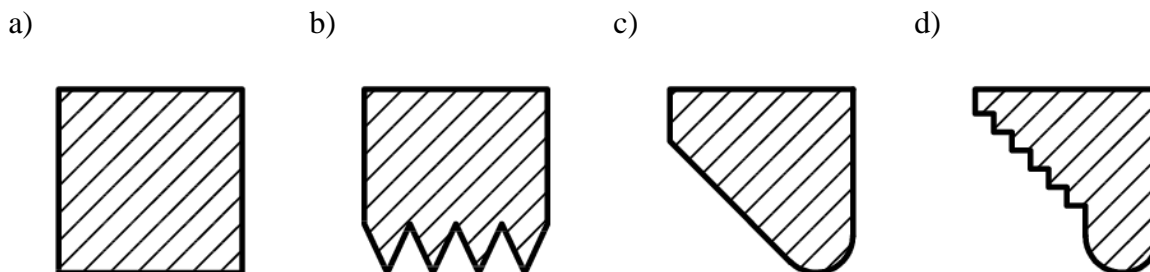
Zrnitost diamantů je udávána v počtech kusů na jeden karát. U vsazovaných nástrojů se zrnitost pohybuje v rozmezí 4–80 ks/crt, u impregnovaných pak v rozmezí 80–400 ks/crt. Korunky se podle zrnitosti rozdělují do tří skupin, a to na hrubozrnné, střednězrnné a jemnozrnné. Zrnitost diamantů se volí podle pevnosti vrtané horniny. Čím víc je hornina pevnější, tím se volí menší průměr diamantového zrna [12].

Základními parametry matrice jsou tvrdost a upínací schopnost. Platí, že čím je hornina abrazivnější, tím musí být použita tvrdší matrice. Ovšem čím je tvrdost matrice vyšší, tím vyšší jsou teploty spékání a tím je i větší tepelné ovlivnění diamantů [27].

Matrice se podle tvrdosti dělí na [27]:

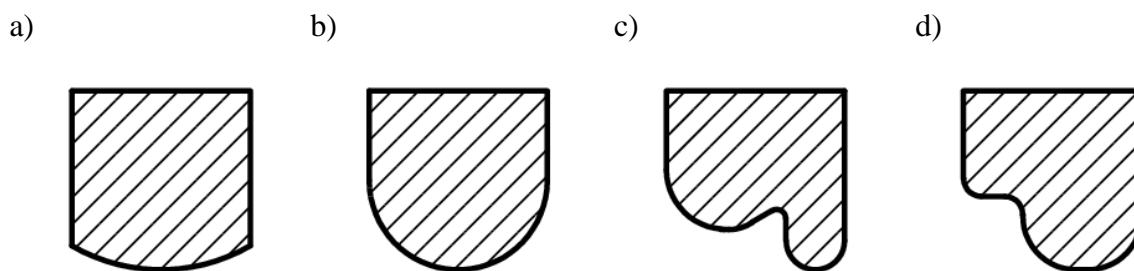
- velmi tvrdé – okolo 650 HV, jsou vyráběny ze slinutých karbidů skupiny K,
- středně tvrdé – 300–400 HV, vyráběny ze slinutých karbidů K prosycených mědí,
- měkké – asi 250 HV, vyráběny z hliníkového bronzu.

Tvar profilu čela může mít různou podobu. Impregnované korunky mají standardně plochý profil pro úzkobřité provedení, pro širokobřité pilový profil. Pro velmi tvrdé horniny se doporučuje stupňovitý profil. Pro porušené horniny se používá konický profil. Tvary těchto profilů jsou uvedeny na obr. 3.11. Vsazované diamantové korunky mají nejčastěji profil čela kruhový nebo poloplochý pro tvrdé a abrazivní horniny. Pro měkké až středně tvrdé horniny se používá konický profil, úzký pilotový nebo široký pilotový profil čela. Znázornění těchto profilů je na obr. 3.12 [42].



a) plochý profil, b) pilový profil, c) konický profil, d) stupňovitý profil

Obr. 3.11 Tvary profilu impregnovaných diamantových korunek [42].



a) poloplochý profil, b) kruhový profil, c) úzký pilotový profil, d) široký pilotový profil

Obr. 3.12 Tvary profilu vsazovaných diamantových korunek [42].

Použitelnost diamantových korunek je téměř neomezená, jsou vhodné pro hlubinné vrtání ve velmi tvrdých a abrazivních horninách. Jedná se však o dražší nástroje, a tak se nehodí pro vrtání v nenáročných podmínkách [27].

3.5.2 Vrtné korunky se slinutými karbidy

Jedná se o vrtné korunky s řeznými elementy vyrobenými ze slinutých karbidů. Pro hlubinné vrtání se používají karbidy wolframu s příměsí práškového kobaltu (WC + Co). Jde především o slinuté karbidy skupiny K 10 (6 % Co), K 40 (9–11 % Co) a K 50 (15 % Co). Větší obsah kobaltu již není žádoucí, z důvodu klesající tvrdosti a pevnosti v tlaku. Lze použít i karbidy K 05 a K 10, které obsahují karbidy tantalu (K 05 – 0,6 % TaC, K 10 – 1,1 % TaC) [27].

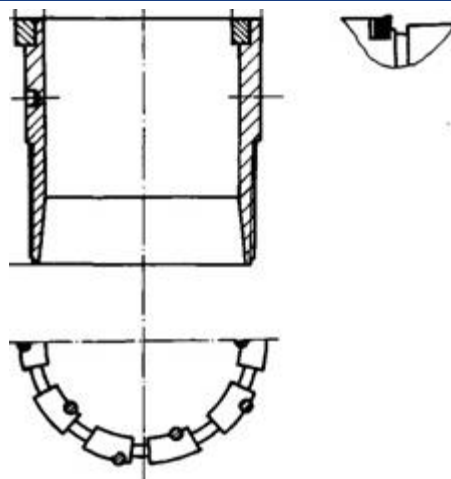
Vrtné korunky se slinutými karbidy jsou určeny pro vrtání v měkkých, případně středně tvrdých neabrazivních až středně abrazivních horninách [12].

Konstrukční parametry vrtných korunek se slinutými karbidy jsou řezný a jádrový průměr korunky, vnější a vnitřní průměr tělesa korunky, rozmístění řezných elementů ze slinutých karbidů, tvar řezných elementů, jejich materiál, velikost a počet, výška tělesa korunky, tvar a rozměry kanálků pro vedení výplachu [27].

Podle rozdílné konstrukce se tyto vrtné korunky dělí na [12]:

- roubíkové,
- destičkové,
- zubové,
- žebrové.

Nejpoužívanějším typem konstrukce vrtných korunek ze slinutých karbidů jsou roubíkové vrtné korunky. Schéma roubíkové korunky je uvedeno na obr. 3.13. Roubíkem se označuje řezné tělísko ze slinutého karbidu, které může mít tvar válečku, osmihranu, šestihranu, případně čtyřhranu. Roubíky se vyrábějí v různých velikostech, průměr se většinou pohybuje v rozmezí 5–10 mm, roubíky menších průměrů bývají nazývány jehličkami. Délka roubíků se upravuje podle potřeb provozu, většinou bývá 4–16 mm. Je dána ekonomickými hledisky a požadovanou životností korunky [12, 27].



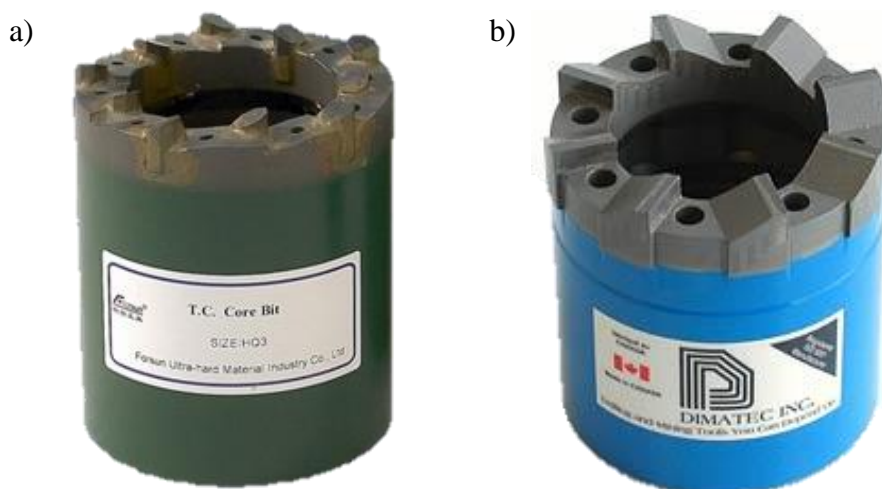
Obr. 3.13 Schéma roubíkové vrtné korunky [12].

Roubíky jsou na čele korunky rozloženy symetricky, úhlová vzdálenost roubíků je tedy stejná. Roubíky se na čele korunky rozsazují tak, aby se kružnice opracovávané roubíky na počvě vrtu překrývaly. Příklad roubíkové vrtné korunky je zobrazen na obr. 3.14a [12].

Počet roubíků závisí na průměru vrtné korunky. Pro běžně používané roubíkové vrtné korunky se nejčastěji používá následující počet roubíků [27]:

- vrtné korunky o průměru 93 mm – 8 kusů roubíků,
- vrtné korunky o průměru 112 mm a 137 mm – 10 kusů roubíků,
- vrtné korunky o průměru 156 mm a 175 mm – 12 kusů roubíků,
- vrtné korunky o průměru 195 mm a 220 mm – 14 kusů roubíků.

Destičkové korunky mají čelo osazené destičkami ze slinutých karbidů, které jsou vysazené o několik milimetrů na vnějším průměru. Tyto destičky se hodí pro vrtání v sytkých a měkkých horninách. To platí i pro žebrové korunky, což jsou korunky se čtyřmi navařenými žebry, na kterých jsou vsazeny řezné elementy ze slinutých karbidů. Zubové vrtné korunky jsou na čele osazeny zuby ze slinutých karbidů. Na obr. 3.14b je zobrazena zubová vrtná korunka od výrobce Dimatec Inc. [3, 43].

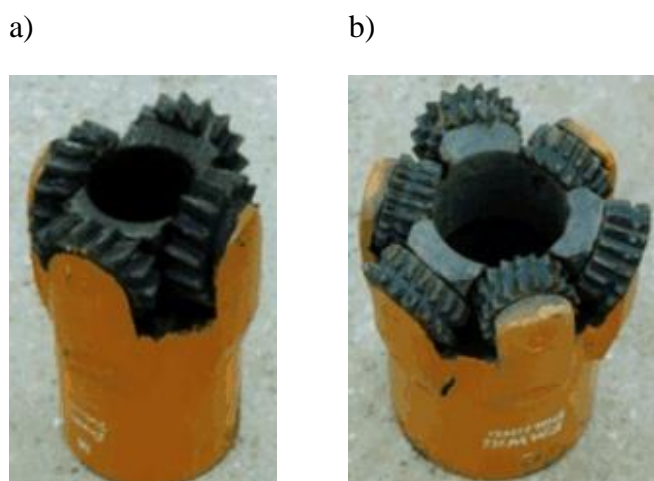


Obr. 3.14 Vrtné korunky se slinutými karbidy.
a) Roubíková vrtná korunka [44] b) Zubová vrtná korunka [43]

3.5.3 Valivé vrtné korunky

Valivé vrtné korunky se používají hlavně jako alternativa k rotarovému způsobu vrtání hlubokých vrtů, kdy je potřeba tzv. intervalového jádrování, tedy nutnost získání kvalitního vzorku vrtného profilu pro prověření změny geologického podloží po vyvrtání určité hloubky valivými dláty. Řezné elementy valivých korunek jsou podobné těm u valivých dlát, konstrukce se liší ve středovém otvoru, kdy valivé korunky mají zvětšený střední otvor dovolující vniknutí jádra do jádrovnice. Na rozdíl od ostatních vrtných korunek nemají valivé korunky rozpojovací orgány ve tvaru ozubených kuželů ani nemají vsazované řezné elementy, ale mají rozpojovací orgány ve tvaru válečků s vyfrézovanými zuby. Počet válečků záleží na řezném průměru, nejčastěji se vyrábí čtyř-válečkové a šesti-válečkové valivé korunky.

Valivé vrtné korunky se používají pro vrtání v měkkých horninách a středně pevných horninách. Na obr. 3.15 jsou zobrazeny valivé korunky od firmy NIUW Glinik Sp.z o.o., čtyř-válečková korunka je vhodná pro vrtání v měkkých horninách, šesti-válečková je určena pro vrtání ve středně tvrdých horninách [15].



Obr. 3.15 Valivé korunky od výrobce NIUW Glinik Sp.z o.o. [15].
a) čtyř-válečkové provedení, b) šesti-válečkové provedení

3.5.4 Šrotové vrtné korunky

Šrotové vrtné korunky mají tvar dutého válce na spodní straně opatřeného výřezem na zásobník vrtného šrotu. Na vrchním konci je korunka opatřena přípojovacím závitem pro jádrovnicí. Vrtný šrot, který je dodáván do mezikruhového prostoru pod čelo korunky, představuje při rozpojovacím procesu pracovní element. K vrtání dochází prostřednictvím přitlaku na válec korunky, který poté vrtný šrot tlačí na počvu vrtu za současné rotace [12, 27].

Pro šrotové vrtání se rozeznávají následující druhy vrtného šrotu [12]:

- litinový,
- ocelolitinový,
- ocelový sekaný,
- ze slinutého karbidu.

Základními mechanickými vlastnostmi charakterizující vrtný šrot jsou tvrdost a pevnost částice šrotu na rozdrčení. Litinový vrtný šrot může být tvořena litinou s lupínkovým grafitem nebo litinou s kuličkovým grafitem. Ocelolitinový vrtný šrot je nutné před použitím tepelně upravit, a to zakalením a popouštěním. Tento vrtný šrot se musí chránit před korozi povlakem olejového filtru. Ocelový sekaný vrtný šrot se vyrábí z ocelových drátů. Výhodou použití tohoto vrtného

šrotu je menší spotřeba. Vrtný šrot ze slinutých karbidů se vyrábí drcením opotřeбенých roubíků a destiček z použitých korunek na částice nepravidelných rozměrů. Používá se vždy ve směsi, většinou s ocelolitinovým šrotem v poměru 1:8 až 1:10 [27].

Dávkování vrtného šrotu může být buď návrtové, nebo periodické. U jednoduššího návrtového je větší dávka vrtného šrotu umístěna do zásobníku před zapuštěním nářadí. U periodického dávkování se dopraví na dno vrtu pouze menší dávka tak, aby pokryla počvu vrtu, zatímco nepatrný zbytek šrotu zůstává v zásobníku korunky. Takto se dál v určitých časových intervalech přidávají další dávky. Tak vzniká kvalitnější jádro, je však nutné správně volit interval dávek, jelikož opoždění může zapříčinit zaklínění jádra [27].

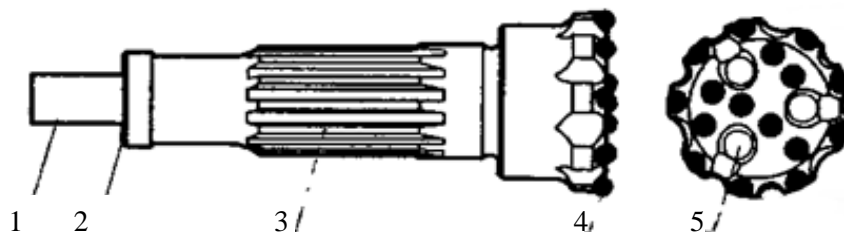
Vrtání šrotovými korunkami je na ústupu a jeho použití je spíše výjimečné. Je vhodné pro vrtání velkých průměrů, nevýhodou je značné křivení vrtů a nedostatečná kvalita vrtného jádra [27].

3.6 Vrtné nástroje pro nárazový způsob vrtání

Jedná se o nástroje, které při rozpojovacím procesu nevyužívají souvislé odvrtávání, ale k vrtání dochází v rázech.

3.6.1 Vrtné nástroje pro ponorná kladiva

Při vrtání s ponornými kladivy jsou používanými nástroji vrtná dláta. Vrtný proces je rotačně-příklepný. Vrtná dláta pro ponorná kladiva se rozdělují podle druhu rezných elementů na čele, a to na dláta břitová a dláta roubíková. Použití břitových dlát, vyznačujících se křížovým ostřím, je v současnosti na ústupu a tento starší typ je nahrazován roubíkovými dláty. Schematické znázornění roubíkových dlát pro ponorná kladiva je zobrazeno na obr. 3.16 [27].



Legenda: 1 – centrální trubka pro vedení výplachu, 2 – nárazová plocha pro píst, 3 – drážky pro vedení dláta, 4 – roubíky ze slinutých karbidů, 5 – výplachové kanálky

Obr. 3.16 Schematické zobrazení roubíkového dláta pro ponorná kladiva [27].

Roubíková dláta jsou charakterizována pracovními elementy ze slinutých karbidů. Tyto roubíky mohou mít různou velikost a různý tvar, nejčastěji však kulovitý nebo kuželovitý. Roubíky jsou rozmístěny tak, aby počva vrtu byla rozrušována rovnoměrně a aby po jedné otáčce byla rozrušená celá plocha počvy. Nejvíce jsou namáhány obvodové roubíky, která jsou z tohoto důvodu větší než ostatní [27].

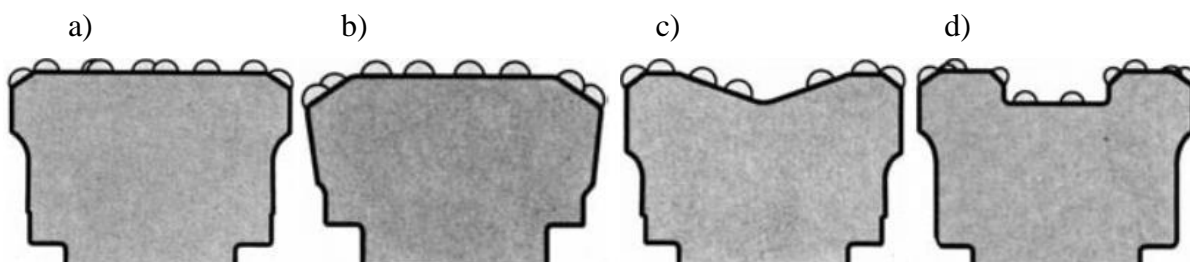
Další důležitou částí vrtných dlát pro ponorná vrtná kladiva jsou drážky v těle dláta. Tyto drážky umožňují dláto zasunout do objímky ponorného kladiva a zajišťují přenášení rotace na dláto a jeho vedení ve vrtu. Na konec dláta naráží píst, je proto důležité, aby byla nárazová plocha bez výstupků. Na obvodu rozšířené části dláta se nalézají zářezy, které umožňují snadnější odvod vrtné drti do mezikruží. U pneumatických ponorných kladiv se pro odnos horninové drti používá proud plynu, který navíc vrtné kladivo uvádí do chodu. Výfukové kanálky musí být rozmístěny tak, aby dokázaly zajistit dokonalé očištění počvy vrtu. Na obr. 3.17 je roubíkové dláto od firmy Sandvik AB, která patří mezi nejvýznamnější výrobce dlát pro ponorná kladiva [27].



Obr. 3.17 Roubíkové dláto pro ponorná kladiva od firmy Sandvik AB [45].

Základní typy tvaru čelní plochy roubíkových dlát (viz obr. 3.18) jsou [46]:

- dláta s rovnou čelní plochou,
- dláta s vypouklou čelní plochou,
- dláta s pokleslou čelní plochou,
- dláta se stupňovitě pokleslou čelní plochou.



Obr. 3.18 Tvary čelní plochy roubíkových dlát pro ponorná vrtná kladiva [46].

a) dláto s rovnou čelní plochou, b) dláto s vypouklou čelní plochou,
c) dláto s pokleslou čelní plochou, d) dláto se stupňovitě pokleslou čelní plochou

Dláta s rovnou čelní plochou jsou vhodná pro vrtání v pevných a abrazivních horninových formacích. Tvar čela zajišťuje vysokou odolnost proti opotřebení. Pro tento typ se používají především roubíky kulovitého tvaru menších průměrů pro vrtání ve středně pevných, mírně abrazivních horninách při nižším tlaku vzduchu. Kulovité roubíky větších průměrů se používají pro vrtání v pevných a abrazivních horninách za vysokého tlaku vzduchu. Dláta s pokleslou čelní plochou se vyznačují širokou použitelností, nejvíce se používají pro vrtání ve středně pevných homogenních horninových formacích. Dláta s vypouklou čelní plochou se vyznačují velmi dobrým účinkem očišťování počvy vrtu a prostorem pro osazení obvodu dláta roubíky velkých průměrů. Tato dláta bývají osazena roubíky kulovitého tvaru pro vrtání velmi pevných a vysoce abrazivních hornin při vysokém tlaku vzduchu. Dále se používají s roubíky kuželovitého tvaru pro vrtání v neabrazivních horninách při vysokých vrtných rychlostech. Dláta se stupňovitě pokleslou čelní plochou jsou určena pro vrtání v měkkých až středně pevných rozpukaných horninách za dosažení vysokých rychlostí vrtání při nízkých a středních hodnotách tlaku. Tato dláta zajišťují dokonalé vedení směru vrtu [46, 47].

3.6.2 Vrtná nástroje pro vrtání na laně

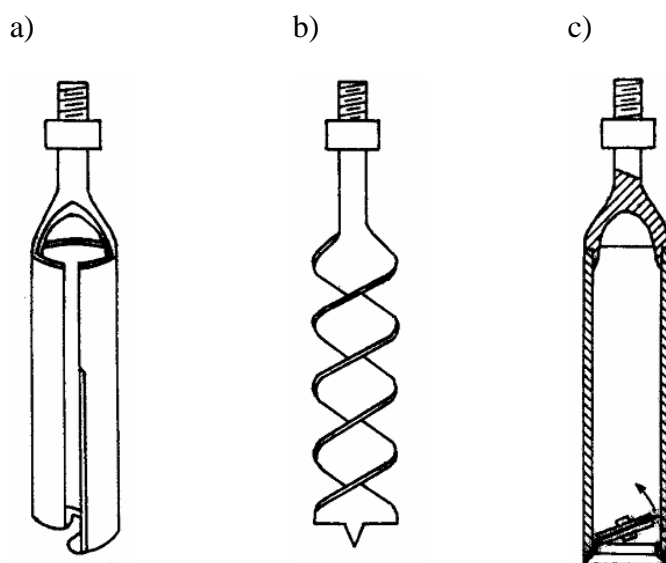
Nárazovým způsobem vrtání lanem je hornina na počvě vrtu rozpojována padajícím vrtným nástrojem zavěšeným na laně. Tímto nástrojem je dláto vybavené různým počtem břitů [12].

Dláta pro vrtání na laně se nejčastěji vyrábí kováním z nástrojové oceli (příklad uveden v příloze č. 10). Na horním konci dláta je čep se závitem, pomocí kterého je dláto připojeno k zátěžce. Pod ním se nachází krček s plochami pro manipulační klíče. Břity dláta jsou zaostřené pod úhlem 60° až 140° . Velikost úhlu závisí na tvrdosti rozpojované horniny, čím tvrdší hornina, tím se volí tupější úhel [9, 27].

Pro vrtání v málo tvrdých horninách a ve štěrčích je vhodné použít dláto ploché. Dláto s dvěma krátkými obvodovými břity se nazývá zárubní. Obvodové břity, které jsou vysunuté před hlavní břit dláta, opracovávají stěnu vrtu do kruhovitěho tvaru. Dalším typem dláta pro nárazové vrtání je dláto křížové. Pracovní plocha křížového dláta tvoří rovnoramenný kříž. Podobná dláta se používají i pro nárazové vrtání na vrtných tyčích [9].

3.7 Vrtné nástroje pro náběrové vrtání

Tyto nástroje jsou charakteristické tím, že horninu nejprve rozpojují a poté i vynášejí na povrch. Použití vrtných nástrojů pro náběrové vrtání je omezeno pouze pro rozrušování měkkých hornin a vrtání v zeminách v malých hloubkách. Mezi vrtné nástroje pro náběrové vrtání se řadí nástroje různých konstrukcí, vyrobených z nástrojových ocelí. Do nástrojů pro náběrové vrtání patří lžicové vrtáky, spirálové vrtáky, talířové vrtáky nebo klapkové lžice. Schematické zobrazení některých těchto nástrojů je na obr. 3.19 [27].



Obr. 3.19 Schematické zobrazení nástrojů pro náběrové vrtání [48].

a) lžicový vrták, b) šroubovitý vrták, c) klapková lžice

Lžicový vrták je též nazýván jako tzv. šapa nebo jako vrtný hrnec. Jedná se o válec vyrobený ze silného ocelového plechu, který je po délce pláště rozřezaný. Na dolním konci je břit, který horninu rozpojuje a nahrnuje ji dovnitř pláště. Na horní konec vrtáku je přivařena vidlice se závitovým čepem, pomocí kterého je nástroj připojen k vrtnému soutyčí [9, 49, 50].

Šroubovitý vrták tvaru šroubovice, známý i pod nesprávným názvem spirálový vrták, je vyráběn kováním ze silného ocelového pásu. Použití tohoto vrtáku je závislé na stoupání šroubovice. Čím soudržnější hornina, tím se používá nástroj s větším stoupáním. Poslední závit přechází v břit [9, 49].

Talířový vrták se podobá šroubovitému. Odlišnost spočívá v tom, že spirálová plocha je samostatnou stočenou částí a je ke středové trubce přivařena. Talířový vrták má navíc i boční nože, které odřezávají horninu i na stěně vrtu. Dále má menší sklon šroubovice než vrták šroubovitý [9, 49].

Klapkové lžice jsou vhodné pro vrtání ve zvodněných a nesoudržných horninách. Dále se používají k odstranění kalu na dně vrtu, podle toho se jim také občas říká kalovky. Jsou to ocelové trubky, které jsou na spodním konci opatřené břitem. Nad břitem je klapkový ventil, který se při spuštění na dno otevře. Znovu se zavře při vytahování klapkové lžice tak, aby mohla být rozpojena drť dopravena na povrch [49].

Mezi nástroje pro náběrové vrtání se dají zařadit i drapáky. Hloubení vrtů pomocí drapáků využívá kromě náběrového způsobu vrtání i principy nárazového vrtání. Drapák se skládá z hlavičky a pohyblivých lopat (čelistí). Způsob hloubení spočívá v spuštění drapáku z určité výšky, který nárazem lopat rozpojí horninu. Následně se lopaty při zvedání zavřou a zadrží tak zeminu uvnitř tělesa nástroje do doby, než je vytěžena na povrch. Čelisti drapáku se uzavírají buď mechanicky nebo hydraulicky. Při mechanickém systému se čelisti uzavírají až při výzdvihu drapáku díky jeho vlastní váze. Hydraulické drapáky využívají k uzavření čelistí hydraulické písty, použití těchto drapáků je výhodné hlavně v tom, že k uzavření dochází přímo na počvě vrtu, a ne až při zdvižení, což umožňuje zamezení ztráty zemin. U hydraulického drapáku navíc nezávisí na hmotnosti nástroje. Pracovní energie je přivedena přenosem ze závěsného zařízení, které je napojeno na hydrauliku vrtné soupravy. Po dopadu drapáku se akumulovaná energie využije k nabrání zemin. Čelisti drapáků se vyrábí buď jako tříčelist'ové nebo dvoučelist'ové půlkruhové či trojúhelníkové. Drapáky se používají pro hloubení vrtů v nesoudržných zeminách. Výhodou drapákového vrtání je možnost vrtat velkých průměrů, drapáky se často používají pro stavební práce, například pro hloubení velkopřůměrových pilotů [27, 49, 50].

4 VRTNÉ REŽIMY

Režim vrtání je soubor technologických parametrů, kterými se provádí řízení výkonových parametrů během procesu rozpojování hornin. Vrtný režim je možné na rozdíl od jiných činitelů podílejících se na rozpojovacím procesu průběžně regulovat podle potřeby a vlastního uvážení [5, 12].

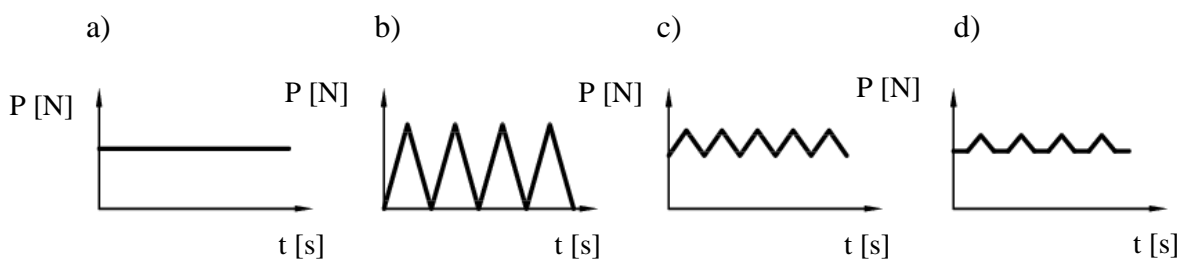
4.1 Parametry režimu vrtání

Režim vrtání je dán vzájemnou souhrou na sobě nezávislých složek. Každá ze složek je samostatně regulovatelná, cílem při rozboru je určení nejefektivnější kombinace parametrů režimu vrtání. Těmito parametry jsou přítlak na vrtný nástroj, otáčky vrtného nástroje, průtok a jakost výplachu [5, 49].

4.1.1 Přítlak na vrtný nástroj

Přítlak na vrtný nástroj je základní složkou vrtného režimu zajišťující překonávání odporu horniny, a tím proniknutí břitu vrtného nástroje do horniny. Jedná se o sílu, kterou je nástroj přitlačován na rozpojovanou horninu na počvě vrtu. Velikost přítlaku rozhoduje o hloubce vniknutí břitu vrtného nástroje do horniny. K rozrušení horniny dochází, jestliže je velikost přítlaku dostatečně velká, aby překonala pevnost horniny. Příliš velký přítlak však způsobí rychlé opotřebení vrtného nástroje. Existují čtyři druhy přítlaku na vrtný nástroj, a to stálý, kmitavý, příklepný a nárazový (viz obr. 4.1) [49].

Stálý přítlak je dán tíhou vrtné kolony. V závislosti na čase se jeho velikost mění jen málo a pomalu pomocí zátěží nebo hydraulicky. Kmitavý přítlak je součet stálého přítlaku a rázů vibračního zařízení, které v jedné poloze zvětšují a v opačné zmenšují hodnotu stálého přítlaku. Tyto změny probíhají ve velmi krátkém časovém okamžiku. Podobný průběh má i příklepný přítlak. Ten je výslednicí součtu stálého přítlaku a přítlaku od účinku úderníku. Údery se projeví místním zvýšením stálého přítlaku. Posledním druhem je nárazový přítlak, který se charakteristicky mění od nuly po maximum a zpět [1].

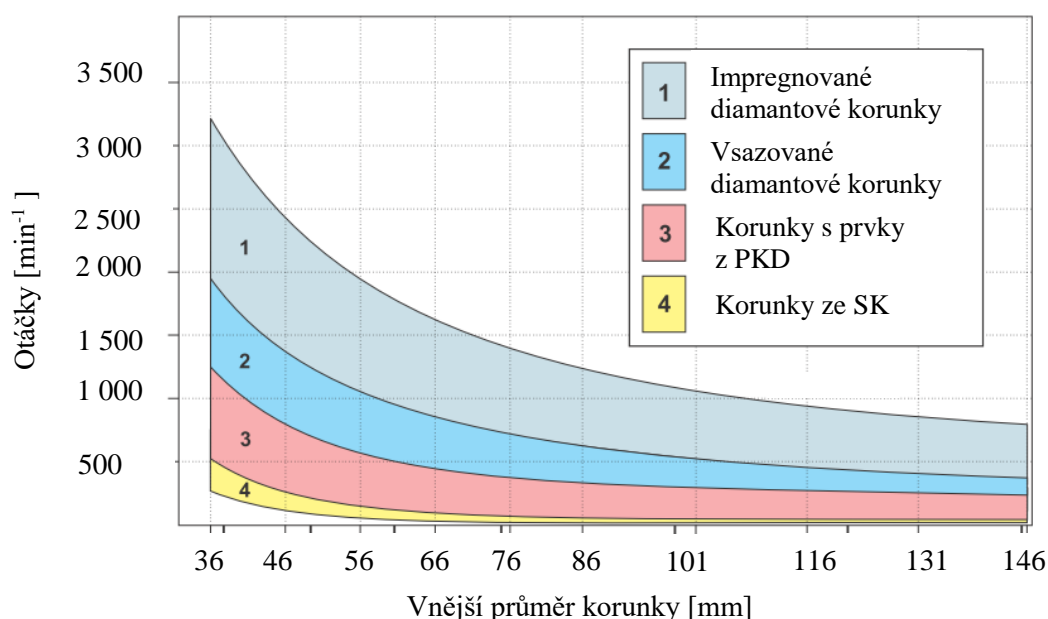


Obr. 4.1 Průběhy druhů přítlaku na vrtný nástroj v závislosti na času [1].

a) stálý, b) nárazový, c) kmitavý, d) příklepný

4.1.2 Otáčky vrtného nástroje

Otáčky vrtného nástroje spolu s jeho průměrem definují řeznou rychlost. Je potřeba zvolit dostatečné otáčky, aby odpovídající vzniklý krouticí moment dokázal překonat smykovou pevnost horniny. S rostoucími otáčkami klesá posuv na jednu otáčku. Příliš velký počet otáček vede k rychlejšímu opotřebení vrtného nástroje. Na obr. 4.2 je graf orientačních hodnot otáček vrtných korunek v závislosti na vnějším průměru korunky [49].



obr. 4.2 Graf orientačních hodnot otáček vrtných korunek v závislosti na průměru korunky [42].

4.1.3 Parametry výplachu

Hlavním parametrem výplachu je průtok, který se udává v litrech za minutu. Je nutné zvolit dostatečný průtok výplachu, aby svým hydraulickým výkonem zajišťoval očišťování plochy vrtného nástroje a počvy vrtu od horninové drtě a odnos rozpojené drti na povrch. Dalším regulovatelným parametrem je tlak výplachu. Záleží také na jakosti výplachu, která je dána řadou jeho fyzikálních a chemických vlastností. Používají se různé druhy kapalných výplachů, ale i pěnové nebo ve speciálních případech i plynné [1, 27].

4.2 Rozdělení režimů vrtání

Režimy vrtání se obecně dělí na:

- normální,
- speciální.

4.2.1 Normální režimy vrtání

Normální režimy vrtání by měly respektovat tři hlavní požadavky [27]:

- maximální rychlost vrtání,
- maximální hloubka vrtu,
- minimální spotřeba energie.

Normální režimy vrtání jsou podřízené třem na sobě nezávislým omezujícím činitelům [27]:

- možností vrtné soupravy,
- možností vrtné kolony,
- možností vrtného nástroje.

Rozhodujícím činitelem jsou možnosti vrtného nástroje. Na jejich základě se normální vrtné režimy dělí na neomezené a omezené. U neomezených normálních vrtných režimů splňují vrtná kolona i vrtná souprava všechny požadavky vhodně zvoleného nástroje. Naproti tomu u omezených vrtných režimů je některý z uvedených činitelů poddimenzován. V tab. 4.1 je uveden příklad doporučených hodnot vrtného režimu nástrojů od výrobce Urdiamant, s.r.o. [27].

Tab. 4.1 Doporučené rozmezí parametrů vrtného výplachu pro nástroje od Urdiamant, s.r.o. [42].

Průměr nástroje [mm]	Přítlak P [kN]	Otáčky n [min ⁻¹]	Průtok výplachu Q [l·min ⁻¹]
Vrtná dláta osazená prvky z přírodních diamantů			
26	3,6–6,0	360–1100	3–6
32	3,8–6,0	300–890	5–9
42	4,7–9,0	230–680	9–15
56	7,6–13,0	170–510	19–32
65	9,5–15,0	150–440	24–41
76	13,3–18,0	125–380	22–80
93	22,8–32,4	100–390	53–145
112	30,4–43,1	85–260	108–211
Vrtná dláta osazená prvky z PKD			
46	11,0–14,0	230–700	20–30
59	13,0–18,0	170–520	30–50
76	16,0–20,0	130–380	50–70
93	29,0–36,0	100–310	80–140
112	44,0–52,0	60–230	120–220

4.2.2 Speciální režimy vrtání

Speciální režimy vrtání zahrnují režimy vrtání v komplikovaných podmínkách nebo režimy vrtání při usměrněném vrtání (zakřivené vrty) [27].

5 POSOUZENÍ VRTNÝCH SITUACÍ

Kromě samotného procesu rozpojování hornin a odstranění vrtné drtě zahrnuje vrtný proces další důležité části. Aby si vrt udržel tvar a nezbortil se, je nutné ho pažit. Dále je nutné chránit vrt a vrtný výplach před účinky okolního horninového prostředí. To platí i naopak, je třeba dbát ekologických zásad a neznečišťovat okolí vrtným a těžebním procesem. Izolace vrstev je docíleno cementací.

Před zahájením vrtných prací se musí provést přípravné práce tak, aby okolní prostředí nebylo kontaminováno. Dále je třeba se postarat, aby vrtný proces nezpůsobil příliš velký hluk. Ke snižování hlučnosti zařízení se mohou použít zvukově izolované kontejnery. Důležité je dbát zásad sofistikovaného odpadového hospodářství a snažit se o minimalizaci a ekologickou likvidaci vznikajících odpadů. Vrty, které už splnili svůj účel, se musí likvidovat v souladu s ekologickými nároky.

5.1 Přípravné práce

Vrtné práce mohou být zahájeny až po vypořádání střetů zájmů všech dotčených organizací a příslušných složek státní správy. Při přípravě projektu jsou důležité dostatečné podklady z geofyzikálního průzkumu. Místo vrtu je vybráno s ohledem na životní prostředí tak, aby zásah do okolí byl co nejmenší a aby nedošlo ke kontaminaci vodních zdrojů. Důležitá je také přístupnost lokality vrtu [2].

Vrtné pracoviště je budováno tak, aby bylo schopno plnit funkci bariéry mezi vrtnou soupravou, půdou a vodami. Nejdřív se provádí skrývka, ornice se ukládá na skládce. Podložní zemina se zhutňuje, aby byla snížena propustnost. Poté se celý prostor pokrývá panely. Spáry panelů jsou izolovány pomocí cementové směsi. Pod panely, které se nachází v prostoru pohonných jednotek vrtné soupravy a v manipulačním prostoru, kde se nakládá s látkami ohrožujícími prostředí, se umísťuje izolační fólie. Ta zabraňuje případnému znečištění podzemních vod. Celá plošina musí být vyspádována k jímkám tak, aby bylo okolí chráněno před únikem znečištěných dešťových vod [2].

5.2 Pažení vrtů

Vrtné stěny jsou chráněny proti zhroucení a bobtnání tzv. pažnicovou kolonou. Ta zároveň chrání vrtný výplach před přítokem vrstevních tekutin do vrtu a zabraňuje úniku výplachu. Pažnicová kolona dále zajišťuje zachování tvaru a rozměru vrtu a usměrňuje vrtnou kolonu. Funkcí pažnicové kolony může být i vytvoření dopravního kanálu pro těžbu. Pažnicovou kolonu tvoří sestava vzájemně spojených tlustostěnných trubek. Jsou válcované, bezešvé, vyrobené z legované oceli. Nejčastěji jsou spojeny oblým závitem podle normy API. V hydrogeologii se běžně používají i pažnice z polyetylénu [27, 38].

Pažnicová kolona je tvořena z několika částí, které se liší podle funkce, kterou zajišťují. Dle tohoto kritéria se pažnicové kolony dělí na [15]:

- řídicí,
- úvodní,
- technickou,
- těžební.

Úkolem řídicí pažnicové kolony je zajištění prvotního směru vrtu a usměrnění vrtné kolony. Zároveň chrání vrtný výplach před vlivem okolí a naopak. Na úvodní pažnicovou kolonu se nasazují preventry, které zabraňují úniku kapaliny z vrtu. Na úvodní pažnicovou kolonu jsou dále navěšeny další části pažnicové kolony. Technická pažnicová kolona zabezpečuje dosažení požadované hloubky. Má za úkol zpevnit a izolovat výše se nacházející horninový profil. Těžební kolona, používající se pro vrty těžební, zajišťuje izolaci těženého horizontu a vytváří jeho spojení s povrchem [15].

U vrtů geologicko-průzkumných, které plní funkci jen během vrtání, se zajišťuje pouze minimální nutná výztuž. U provozně-technických vrtů musí být konstrukce pažnicových kolon přizpůsobena dlouhodobým podmínkám funkce. Při pažení vrtů je nutné volit vhodný průměr pažnicových trubek ve vztahu ke stěně vrtu tak, aby šířka vzniklého mezikruží byla vyhovující. Pažnicová kolona musí mít vyhovující pevnostní vlastnosti vzhledem k namáhání na tah a vzpěr. Navíc je ještě zatížena vnitřním a vnějším přetlakem [38].

Pažnicovou kolonu lze dostat na místo určení buď postupným nebo kolonovým zapažováním. U postupného zapažování visí pažnicová kolona volně ve vrtu a je postupně podvrtávána. Při kolonovém zapažování je vrt hlouben do určité hloubky bez pažení určeným průměrem a až poté je celý odvrtaný úsek zapažen [27].

5.3 Cementace

Prostor mezikruží mezi stěnou vrtu a pažnicemi je utěsněn tak, aby vyhloubený a zapažený vrt plnil svůj účel. Proces utěšňování se nazývá tamponáž nebo častěji cementace, jelikož se k tomuto účelu běžně používají cementové směsi. Cementace vrtu slouží k ochraně pažnic před hydrostatickým přetžením a před korozním působením složek hornin nebo hlubinných vod, dále pažnice ve vrtu upevňuje a zajišťuje je před pohybem. Mezi účely cementace patří i izolace málo zpevněných hornin před namáháním vznikajícím při dalších operacích ve vrtu a zábrana komunikace kapalin a plynů mezi vrstvami hornin s odlišným tlakem nebo mezi vrstvou a povrchem [9].

Hlavním představitelem cementačních materiálů je portlandský cement, do něhož se ještě kromě vody přidávají další aditiva. Pro zvýšení měrné hmotnosti se do cementů přidává jemně mletý baryt nebo ferofosfor, naopak pro snížení se užívá bentonit, expandovaný perlit nebo petrolej. Pro urychlení tuhnutí se do směsí přidává např. chlorid sodný, vodní sklo nebo sádra. Cementové směsi se dělí podle normy ČSN EN ISO 10426-1 (viz příloha č. 11). Vhodný cement se volí podle hloubky vrtu a podle podmínek ve vrtu, rozhodující je především teplota a přítomnost síranů [27].

Připravená cementační směs je do vrtu dopravována pomocí cementačních agregátů. Cementační agregáty, umístěné většinou na podvozku nákladního automobilu, mají dvě čerpadla. První čerpadlo, které bývá vysokotlaké plunžrové, čerpá cementovou směs a zatlačuje výplach. Druhé, nízkotlaké zubové čerpadlo, čerpá vodu k míšení. Dále jsou na plošině motory a dvě nádrže [9].

Vysokotlaké vedení cementačních agregátů a výplachových čerpadel je napojeno na pažnice přes cementační hlavu. V cementační hlavě jsou navíc uloženy cementační zátky, které jsou mechanickým oddělením cementové směsi a výplachu při pohybu pažnicemi. Hlavními typy cementace hloubkových vrtů jsou cementace patou a cementace oknem [27].

Při cementaci patou se využívá pažnicové paty se zpětným ventilem, která se nachází na spodním konci pažnicové kolony. Zpětný ventil umožňuje proudění cementové směsi do mezikruží a zároveň zabraňuje vrácení směsi do pažnic po skončení cementace. Po otevření středního ventilu cementační hlavy se přivádí stanovené množství cementové směsi, než se střední ventil uzavře a uvolní se spodní ventil se spodní cementační zátkou. Dále se uvolní

pojistka horní zátky a otevře se horní ventil cementační hlavy a poté se začne zatlačet výplach. Až spodní zátka narazí na zpětný ventil cementační paty, tak se zvýšeným tlakem přetrhne membrána zátky a cementová suspenze vtéká cementační patou do mezikruží. Cementace je ukončena, když dosedne horní zátka na spodní, což je na povrchu registrováno jako tlakový náraz [27].

Podobný průběh má i cementace oknem, kdy cementační směs nevychází do mezikruží patou, nýbrž otvory ve stěně pažnic. Tento způsob cementace dovoluje vícestupňovou cementaci za použití nárazových desek a vícestupňových objímek s prstenci, které lze podle potřeby otevřít či zavřít [27].

5.4 Likvidace vrtu

Jakmile hloubkový vrt splní svůj účel, a už se nepředpokládá, že by měl další využití, je potřeba provést jeho likvidaci z hlediska ochrany životního prostředí. Hlavním cílem likvidace vrtu je spolehlivé utěsnění vrtu tak, aby nemohlo dojít k průniku škodlivin na zemský povrch a k přetoku do jiných podzemních struktur. Vrtná díla představují ekologickou zátěž jak vlastním vrtem, tak i ovlivněním povrchu okolí v místech pracovních ploch a příjezdových cest.

Likvidační práce zahrnují vlastní likvidaci vrtu, technickou rekultivaci a biologickou rekultivaci. Nejprve se provádí umrtvení sondy, odřezávání a vytažení pažnic. Poté se provádí izolace cementovými mostky, ústí vrtu musí být hermeticky uzavřeno navařeným ocelovým víkem nejméně dva metry pod terénem. Víko je následně zalité cementovou kaší [2].

Proces technické rekultivace má za úkol odstranit zbytky těžebního zařízení a panelové plochy, dále rozbourat betonový sklep vrtu a základy. Technická rekultivace zahrnuje i vyčištění plochy, odstranění kontaminované zeminy a její nahrazení nezávadnou zeminou. Pozemek musí být uveden do původního stavu terénními úpravami. Závěrečnou etapou je biologická rekultivace, která vychází z ekologické charakteristiky lokality. Častá je zemědělská rekultivace, při které je cílem orná půda, nebo lesní rekultivace s cílem lokalitu zalesnit [2].

6 DISKUZE

6.1 Geologické hledisko hloubkových vrtů

Hloubkové vrty přináší důležité geologické poznatky nejen o stavbě vrtaného profilu. Z hlubokých vrtů se získávají cenné informace o vývoji na Zemi, vrty pomáhají objasnit vznik a předpokládaný vývoj planety. Ačkoliv jsou v současnosti prováděna kvalitní nedestruktivní měření a mapování, teprve provedené hloubkové vrty mohou tato měření objasnit a hloubkové vrty tak stále představují základní metodu geologického poznání. Je však třeba uvést, jak málo toho o litosféře Země opravdu víme. Hloubkové vrty dávají možnost poznat geologickou stavbu do hloubky přes 12 km, což představuje jen nepatrnou část zemského tělesa, jelikož zemská kůra dosahuje hloubky až 70 km, pod ní se nachází zemský plášť s mocností až 2 900 km, kde přechází v zemské jádro.

U hloubkových vrtů pro geologické účely hraje klíčovou roli výběr území, kde bude vrt proveden. I přes podrobné mapování a měření je stále důležité mít štěstí s výběrem umístění vrtu. Komplikací může být špatná dostupnost lokality, kde má být vrt proveden. Vrty dále nemohou být realizovány na místech, kde by z geologického hlediska byly nejvýhodnější, ale s vrtáním nesouhlasí vlastníci pozemků, nebo protože by se vrtalo v chráněné případně politicky citlivé oblasti.

6.2 Výhled do budoucnosti

Vzhledem k ubývání surovin z dosud těžených ložisek a zvětšující se poptávce, je potřeba najít další místa, kde by bylo možné tyto suroviny těžít. Dá se předpokládat, že v blízké budoucnosti se bude více vrtat na moři, zvláště z důvodu těžby ropy. Další perspektivní oblastí jsou vrty pro využití geotermální energie, stále častěji se provádí vrty pro tepelná čerpadla.

Předpokládá se častější využití moderních vrtných technologií na úkor konvenčních. Zvláště ultrazvukové vrtání a vrtání pomocí plazmy mají velký potenciál pro vrtání tvrdých hornin v krátkém čase. Pracuje se i na zdokonalení vrtání pomocí laseru, které je vhodné pro rozpojování velmi tvrdých a abrazivních hornin.

6.3 Ekologické aspekty

Vrtný proces bezprostředně ovlivňuje životní prostředí v blízkém okolí vrtných pracovišť. Při odborném provedení a respektování příslušných předpisů je však tento vliv pouze velmi malý a krátkodobý. K závažnějšímu znečištění životního prostředí dochází pouze v případě havárie, proto je v oboru hloubkových vrtů věnována značná pozornost na bezpečnost práce. Za nevyhnutelné vlivy na životní prostředí se považuje hlukové znečištění a světelné znečištění při nepřetržitém provozu, dále provoz vozidel na komunikačních cestách. Při hloubení vrtu vzniká vrtný odpad, který je třeba převážet na skládku. Vrtný odpad je směs odvrtné horniny a znehodnoceného výplachu, který se odděluje v čistících zařízeních od cirkulujícího výplachu. Je snahou dosahovat větší účinnosti očišťování, aby tak docházelo k podstatnému snížení produkce odpadu.

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce obsahuje přehled běžně používané techniky a technologií hloubkového vrtání v geologii. Pro hloubkové vrty neexistuje univerzální vrtný nástroj a vrtná souprava. Při výběru vrtné soupravy je důležité zohlednit účel vrtu, prioritou při vrtání může být získání co nejkvalitnějšího horninového vzorku, nebo docílení rychlého postupu vrtání, případně dosažení velmi hlubokých vrtů. Vrtná souprava určuje způsob hloubení vrtů, musí mít dostačující technické parametry k dosažení požadovaných rozměrů vrtu a musí splňovat všechny požadavky vhodně zvoleného nástroje. Zásadním faktorem při výběru vrtné techniky jsou fyzikální a mechanické vlastnosti vrtných hornin, které určují energetickou náročnost při procesu rozpojování hornin. Důležitá schopnost je reakce na změnu vlastností vrtného horninového profilu, a to pomocí regulace vrtných režimů, proto musí mít vrtné soupravy kvalitní měřicí techniku. Klíčovým kritériem pro výběr vrtné techniky jsou ekonomické aspekty. Kromě pořizovací ceny vrtné soupravy a nákladů na provoz hraje zásadní roli výběr vrtného nástroje do daných podmínek.

Nejpoužívanější metodou pro hloubení velmi hlubokých vrtů je rotarové vrtání. Tato metoda vrtání umožňuje dosahovat velkých hloubek za poměrně krátkou dobu. Nevýhodou je omezený průměr vrtu a nekvalitní horninové vzorky. Vrtnými nástroji jsou vrtná dláta. Nejběžnější je použití valivých vrtných dlát s vrtnými elementy ze slinutých karbidů, kterými lze dosáhnout vyšších posuvových rychlostí než u dlát diamantových. Výhodou diamantových dlát je vysoká životnost. Použitím těchto dlát se snižuje počet zapouštění vrtného nástroje, tyto nástroje jsou vhodné především pro vrtání ve velkých hloubkách v tvrdých a abrazivních horninách. Kompromis mezi diamantovými a valivými dláty představují kompaktní dláta. Rozpojenou horninu z počvy vrtu odstraňuje vrtný výplach, časté je využití principů tryskového vrtání, kdy jsou horniny rozpojovány tlakem proudu výplachové kapaliny.

Jádrové vrtání umožňuje odběr kvalitních vzorků a jejich přesné zařazení. Pro vrtání hlubokých vrtů se osvědčila metoda wire-line, která umožňuje těžít jádrovnicí na laně, což dovoluje získávat vrtné jádro, aniž by bylo potřeba zvedat vrtnou kolonu s nástrojem. Nejkvalitnější jádro je získáváno vrtáním diamantovými korunkami, kterými lze dosáhnout vyšších řezných rychlostí než při vrtání korunkami ze slinutých karbidů. Diamantové korunky jsou však dražší a jejich použití je tak výhodné pouze pro vrtání ve velmi tvrdých a abrazivních podmínkách.

Pro rotačně-příklepné vrtání se používají ponorná kladiva s vrtnými dláty. Nejpoužívanějšími dláty jsou roubíková s pracovními elementy ze slinutých karbidů. Ponornými kladivy lze hloubit vrty větších průměrů v různých druzích horninového prostředí. Nejsou však vhodné pro vrtání nejtvrdějších typů hornin, lze s nimi dosahovat jen omezené hloubky vrtu. Horninové vzorky získané tímto vrtáním jsou silně porušené, nevýhodou představuje také vysoká hlučnost.

Pro hloubení mělkých vrtů v měkkých horninách a zeminách je vhodný náběrový způsob vrtání. Výhodou je finanční dostupnost a možnost hloubit vrty velkých průměrů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] PINKA, Ján, Martin KLEMPA, Jaroslav STRUNA a Vojtěch ZEMAN. *Technika a technologie vrtných prací. I. díl, Technika pro provádění vrtných prací*. Ostrava: Marionetti Press, 2014. ISBN 978-80-905737-0-3.
- [2] ĎURICA, Dušan a Miloš SUK. *Vrty v geologické praxi*. Brno: Moravské zemské muzeum, 2011. ISBN 978-80-7028-381-3.
- [3] ZEMAN, Vojtěch. *Průzkumné vrtání*. [Sv.] 1, Technika a technologie jádrového vrtání. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1983.
- [4] ZEMAN, Vojtěch. *Těžební vrtání*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1986.
- [5] ZEMAN, Vojtěch a Dalibor KALUS. *Hlubinné vrtání*. [Díl] 1., Základy projektování vrtů, rozpojitelnost hornin při vrtání, valivé vrtací nástroje, režim vrtání. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1987.
- [6] PRUŠKA, Jan. *Geomechanika: mechanika hornin*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02456-3.
- [7] CHABROŇOVÁ, Jana. *Mechanika hornin*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2012. Edícia skript. ISBN 978-80-227-3685-5.
- [8] ZEMAN, Vojtěch. *Hlubinné vrtání: vybrané kapitoly pro studijní obor 21-10-8 hlubinné dobývání ložisek*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1983.
- [9] BETUŠ, Zvonimír a Karel SOKOLA. *Hydro a hydrotermálne vrty*. Košice: Vysoká škola technická, 1990. ISBN 80-7099-046-5.
- [10] PINKA, Ján. *Nové technológie rozpojovania hornin pri vrtaní*. Košice: Technická univerzita, 2001. ISBN 80-89066-17-8.
- [11] PLASMABIT Drilling. *GA drilling* [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://www.gadrilling.com/geothermal-drilling-renewable-energy/#plasmabit-drilling>
- [12] MAZÁČ, Josef. *Hlubinné vrtání*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1991. Učební texty vysokých škol.
- [13] Rotary Tables & Well Drilling Hoisting Tools. *Steeldrillpipe.com* [online]. [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <http://www.steeldrillpipe.com/drilling-equipment/rotary-tables/>
- [14] TDS-8SA Top Drive. *National Oilwell Varco* [online]. [cit. 2018-02-08]. Dostupné z: https://www.nov.com/Segments/Rig_Systems/Offshore/Top_Drive_Systems/Fixed_Electric_Top_Drives/TDS-8_Top_Drive.aspx
- [15] PINKA, Ján. *Moderní technologie hlubinného vrtání*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2015. ISBN 978-80-248-3871-7.
- [16] BLAŽEK, Milan. *Vrtné súpravy*. Košice: Východoslovenské vydavateľstvo, 1978.

-
- [17] PINKA, Ján. *Fundamentals of petroleum engineering: monograph*. Ed. 1st. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-3243-2.
- [18] Diamec core drilling rigs. *Rockdrillsales.com* [online]. 2008 [cit. 2018-02-13]. Dostupné z: <http://www.rockdrillsales.com/fullpanel/uploads/files/diamec-brochure.pdf>
- [19] Vrtná souprava. *KAMAZ Česká republika* [online]. [cit. 2018-02-13]. Dostupné z: <http://www.kamaz.cz/vrtna-souprava-507/>
- [20] PINKA, Ján. *Hydrogeologické a inženýrské vrty*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2016. ISBN 978-80-248-3938-7.
- [21] WIRTH B3A - Mercedes. *BECON Anlagenbau Ges.m.b.H.* [online]. [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: <http://www.becon-anlagenbau.at/index.php/en/produkte2/drill-rigs/57-wirth-b3a-mercedes>
- [22] Vrtání. *MND Drilling & Services a.s.* [online]. 2015 [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: http://www.mnd.eu/wp-content/uploads/2015/03/Drilling_Vrtani.pdf
- [23] Seznam vrtných souprav. *MND Drilling & Services a.s.* [online]. [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <http://www.mnd-drilling.eu/cs/vrtani/seznam-vrtnych-souprav/>
- [24] Bentec Drilling Rigs. *Bentec GmbH Drilling & Oilfield Systems* [online]. 2016 [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: https://www.bentec.com/wp-content/uploads/2016/12/Bentec_Drilling_Rigs_EN_122016.pdf
- [25] IDECO H-1000 Drill Rig Package. *East West Machinery & Drilling, Inc.* [online]. [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <http://ewdrilling.com/Products/Details/3286/IDECO-H-1000-Drill-Rig-Package>
- [26] Drilling Rig BENTEC 250. *MND Drilling & Services a.s.* [online]. 2015 [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: http://www.mnd-drilling.eu/wp-content/uploads/2015/09/210x297_Drilling_Rig_BENTEC_250.pdf
- [27] PINKA, Ján, Martin KLEMPA, Jaroslav STRUNA a Vojtěch ZEMAN. *Technika a technologie vrtných prací*. II. díl, Základy technologie vrtných prací. Ostrava: Marionetti Press, 2014. ISBN 978-80-905737-1-0.
- [28] Vrtné tyče. *Stageo* [online]. [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: <http://www.stageo.cz/file.php?nid=8028&oid=1676126>
- [29] Vrtné trubky. *Silva ART s.r.o.* [online]. [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: http://www.silvaart.cz/Vyrobní_nabídka_Vrtne_trubky/0
- [30] Vrty a vrtání. *Petroleum.cz* [online]. [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/ropa/vrty-vrtani.aspx>
- [31] Valivá dláta. *Geosa Drilling s.r.o* [online]. [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: http://www.geosadrilling.cz/dlata_valiva.php
- [32] Workover Brochure. *Varel Oil & Gas Drill Bits* [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://www.vareloilandgas.com/index.php/en/brochures/116-workover-brochure-1/file>
- [33] Pilot Hole Bits. *Varel Mining and Industrial* [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://www.varelmining.com/index.php/roller-cone-bits/pilot-hole>
-

- [34] Valivá dláta. *Stageo* [online]. [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: <http://www.stageo.cz/file.php?nid=8028&oid=1544320>
- [35] What is a Polycrystalline Diamond Compact Drill Bit. *Ulterra* [online]. 2018 [cit. 2018-03-14]. Dostupné z: <http://ulterra.com/pdc-bit/pdc-drill-bit-101-what-is-a-polycrystalline-diamond-compact-drill-bit/>
- [36] Ulterra Drill Bit Portfolio. *Ulterra* [online]. 2016 [cit. 2018-03-09]. Dostupné z: <http://ulterra.com/wp-content/uploads/2016/09/Ulterra-Drill-Bit-Portfolio-online.pdf>
- [37] Stratapax diamond drill blanks for PDC bits. *Sandvik Hyperion* [online]. [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: <https://www.hyperion.sandvik.com/en/products/diamond-and-cbn/diamond/polycrystalline-diamond-pcd/stratapax-diamond-drill-blanks-pdc/>
- [38] SCHNEIDERWIND, Jaroslav. *Hloubení vrtů na ropu a zemní plyn*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1988.
- [39] Diamond bits. *Geoproduct Inc.* [online]. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://www.geoproduct-bg.com/en/products-diamond-bits.html>
- [40] Listová dláta. *Stageo* [online]. [cit. 2018-02-28]. Dostupné z: <http://www.stageo.cz/index.php?nid=8028&lid=cs&oid=1523067>
- [41] Diamond Products Catalog. *Boart Longyear* [online]. 2014 [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: <http://app.boartlongyear.com/brochures/Diamond%20Products%20Catalog%20September%202014.pdf>
- [42] Diamantové vrtací nástroje. *Urdiamant, s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2018-03-14]. Dostupné z: <http://www.urdiamant.cz/wpimages/other/doc2/GEO14.pdf>
- [43] Tungsten Carbide Core Bits. *Diamatec Inc* [online]. [cit. 2018-03-17]. Dostupné z: <http://www.dimatec.com/default4cd5.html?page=tungsten>
- [44] Tungsten Carbide Core Bit. *Forsun Ultra-hard Material Industry Co., Ltd* [online]. [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <http://www.forsun-tools.com/productsinfo.aspx?ViewCateID=180&ProductsID=226&productsCateID=180>
- [45] Down the Hole Rock Drilling Tools. *Sandvik Mining and Rock Technology* [online]. 2018 [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://www.rocktechnology.sandvik/globalassets/products/rock-tools/pdf/dth-brochure-english.pdf>
- [46] LYONS, William C. a Gary J. PLISGA. *Standard Handbook of Petroleum and Natural Gas Engineering*. 2nd ed. Oxford, UK: Gulf Professional Pub., 2004. ISBN 978-0750677851.
- [47] Product catalogue – DTH equipment. *Gill Drilling Services INC.* [online]. 2007 [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: http://www.gilldrilling.com/uploads/2/2/4/3/22433758/secoroc_catalog.pdf
- [48] Inženýrskogeologické průzkumné práce. *FSv ČVUT* [online]. [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: <http://departments.fsv.cvut.cz/k135/wwwold/webkurzy/ig/ig-web/sondy.html>
- [49] SARGA, Karel a Vladimír LETKO. *Technika průzkumných prací*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1983.
- [50] Speciální zakládání staveb. *Geoprůzkum.cz* [online]. [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: <http://geoprůzkum.cz/specialni-zakladani-staveb/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Jednotka	Popis
n	[min ⁻¹]	Otáčky nástroje
P	[N]	Přítlak na nástroj
Q	[l·min ⁻¹]	Průtok výplachu
t	[s]	Čas

Zkratka	Význam
ACS	Anti Collision System (systém sběru dat pro zabránění vzniku havárie)
API	American Petroleum Institute (Americký ropný institut)
HV	Tvrдость podle Vickerse
ks/crt	Kusů na karát
PDC	Polycrystalline Diamond Bits (kompaktní vrtná dláta osazená polykrystalickými diamanty)
PKD	Polykrystalický diamant
Rd	Oblý závit
SK	Slinutý karbid
TSP	Thermally Stable Polycrystalline Bits (kompaktní vrtná dláta osazená teplotně stabilními polykrystalickými diamanty)

SLOVNÍK GEOLOGICKÝCH POJMŮ

balneologie	nauka o léčivých vodách a lázních
biosféra	část planety Země, na které se vyskytují formy života
geofyzikální průzkum	nedestruktivní metody zkoumání prostředí na základě měření měnících se fyzikálních vlastností
geologie	věda zabývající se složením, stavbou a historickým vývojem Země
geotechnika	vědní obor zabývající se návrhem a zkoumáním chování konstrukcí, které jsou tvořeny horninovým nebo zeminovým materiálem
nesoudržné horniny a zeminy	horniny nebo zeminy, které se skládají z jednotlivých pevných částic, které spolu nedrží pohromadě, např. písek nebo štěrk
počva	dno vrtu, kde vrtný nástroj rozpojuje horninu
porézní horniny	horniny obsahující množství dutin (pórů)
sedimentární pánev	místo na zemském povrchu, kde dochází k usazování množství sedimentů a jejich následné přeměně na usazené horniny
štěpnost	schopnost minerálů oddělovat se podél určitých ploch
zemská kůra	svrchní vrstva planety Země, její mocnost se pohybuje od 5 do 70 km
zemský plášť	vrstva Země mezi zemskou kůrou a zemským jádrem, tvoří asi 84 % objemu Země, sahá přibližně do hloubky 2 900 km
zvětrávání	proces působení chemických, fyzikálních a biologických sil na obnažené horniny

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Klasifikace hornin podle Protodjakonova
Příloha 2	Lauferova klasifikace hornin
Příloha 3	Klasifikace hornin podle abrazivnosti
Příloha 4	Technické parametry vřetenových souprav pro jádrové vrtání
Příloha 5	Technické parametry vrtných souprav Diamec
Příloha 6	Technické parametry vrtných souprav řady URB
Příloha 7	Technické parametry víceúčelových vrtných souprav Wirth
Příloha 8	Technické parametry vrtných souprav řady IDECO a National
Příloha 9	Technické parametry vrtných souprav Bentec
Příloha 10	Výběr z materiálového listu oceli 19 452 dle ČSN 41 9452
Příloha 11	Třídy cementů pro cementování vrtů dle ČSN EN ISO 10426-1

Klasifikace hornin podle Protodjakonova [6].

Třída	Stupeň pevnosti	Horniny	Krychelná pevnost horniny v tlaku [MPa]
I.	nejtvrďší horniny	křemence, čediče, jiné mimořádně tvrdé horniny	200
II.	velmi tvrdé horniny	velmi tvrdé žulové horniny, křemitý porfyr, křemitá břidlice, nejtvrďší pískovce a vápence	150
III.	tvrdé horniny	celistvá žula, křemité rudné žíly, velmi tvrdé železné rudy	100
III. a		tvrdé vápence, méně tvrdé žuly, pevné pískovce, mramory, dolomity	80
IV.		obyčejný pískovec, železné rudy středně tvrdé	60
IV. a		písčité břidlice, břidličné pískovce	50
V.	středně	tvrdé hlinité břidlice, méně tvrdý pískovec a vápenec	40
V. a		nepříliš tvrdé břidlice, hutný slín	30
VI.		tvrdé horniny	měkké břidlice, měkký vápenec, křída, kamenná sůl, antracit, slín, rozrušený pískovec
VI. a		hlína se štěrkem, rozrušená břidlice, tvrdé černé uhlí	20
VII.	měkké horniny	hutný jíl, pevné hlín	10
VII. a		lehká písčitá hlína, štěrk, spraš, měkké uhlí	8
VIII.	soudržné zeminy	ornice, rašelina, lehká písčitá hlína	6
IX.	sypké zeminy	písek, drobný štěrk	5
X.	rozbředlé horniny	bahnité horniny, náplavy	3

Příloha 2

Lauferova klasifikace hornin [7].

Třída	Charakter horniny
A	pevná (celistvé vyvřelé horniny, masivní ruly)
B	rozpukaná nebo rozčleněná (rozpukané vyvřelé horniny, tenčeji vrstevnaté sedimenty, krystalické břidlice)
C	velmi rozpukaná nebo rozčleněná (silně rozpukané vyvřeliny, břidlice)
D	drobivá (jílovité břidlice, porušené a navětralé skalní horniny)
E	velmi drobivá, porušená (silně porušené a zvětralé skalní horniny)
F	tlačivá (zvětralé a porušené jílovité břidlice, pevná až tvrdé zeminy, písek a štěrk)
G	silně tlačivá (měkké zeminy, zvodněný písek a štěrk)

Klasifikace hornin podle abrazivnosti [5].

Stupeň	Slovní vyjádření stupně abrazivnosti	Hodnota koeficientu abrazivnosti [mg/min]
1	velmi slabě abrazivní horniny	0–1,3
2		1,3–5,0
3		5,0 –11,3
4		11,3–20,0
5	slabě abrazivní horniny	20,0–31,3
6		31,3–45,0
7		45,0–61,3
8		61,3– 80,0
9	středně abrazivní horniny	80,0–100
10		100–125
11		125–150
12		150–180
13	silně abrazivní horniny	180–213
14		213–245
15		245–281
16		281–320
17	velmi silně abrazivní horniny	320–360
18		360–405
19		405–450
20		450–

Technické parametry vřetenových souprav pro jádrové vrtání [1].

Parametry	DB 250	DB 850	DB 1200	DB 1500	Longyear 34	Longyear 38	Longyear 44
Hlubkový dosah [m]	300	1 440	1 670	1 720	530	935	1 325
Maximální otáčky vřetena [min ⁻¹]	1 345	1 200	1 200	1 220	1 850	1 850	2 200
Výkon [kW]/otáčky [min ⁻¹] pohonu	19/1500	42/2200	67/2200	42/2200	27/2200	39/2200	45/2200

Parametry	D 200	D 500	D 750	D 1000	D 1500
Hlubkový dosah [m]	200	550	1 000	1 500	1 800
Otáčky vřetena [min ⁻¹]	340–1285	140–1590	140–1590	130–1200	135–1620
Výkon [kW]/otáčky [min ⁻¹] pohonu					
vznětový motor	–	16,5/1800	27/1800	27/1800	36/1800
vzduchový motor	10/800	–	–	–	–
elektromotor	15/1450	18,5/1450	22,5/1450	22,5/1450	37,5/1470

Technické parametry vrtných souprav Diamec od společnosti Atlas Copco AB [1].

Parametry	Diamec 250	Diamec 700	Diamec 1000
Hlubkový dosah [m]	250	700	1 000
Otáčky vrtné hlavy [min^{-1}]	200–2100	750–2200	650–2100
Délka posuvu rotační hlavy [m]	1,6	3,2	6
Průchod rotační hlavy [mm]	58	92	92
Maximální tah na vrtné hlavě [kN]	24	34	35
Kroučící moment [$\text{N}\cdot\text{m}$]	8–25	180–850	500–900
Výkon pohonu [kW]	18,5	50	69
Délka vrtné lafety [m]	1,6	5,5	8,9
Délka zdvihu hlavy na lafetě [m]	1,1	3,2	6
Hmotnost [kg]	920	2 700	5 100

Technické parametry vrtných souprav řady URB [1].

Parametry	URB-2A	URB-2,5A	URB-2A-2	URB-3AM
Dosahovaná hloubka vrtu [m]	200	200	200	500
Počáteční průměr vrtu [mm]	146	146	92	300
Průměr vrtných trubek [mm]	50	60,3	60,3	73
Maximální tah na laně [kN]	25	30	22,7	30
Maximální otáčky rotačního stolu [min^{-1}]	300	300	325	314
Výška věže [m]	9,5	9,5	8,37	16
Nosnost věže [kN]	25	25	40	100
Maximální průtok výplachového čerpadla [$\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$]	300	300	320	300
Hmotnost [kg]	10 330	10 845	14 450	16 000

Technické parametry víceúčelových vrtných souprav Wirth [20].

Parametry	B-0	B-1A	B-2A	B-3A
Tah vrátku [kN]	8	22	50	70
Tah rotační hlavy [kN]	22	60	100	160
Maximální otáčky rotační hlavy [min⁻¹]	180	900	180	180
Přítlak rotační hlavy [kN]	30	36	58	100
Posuv rotační hlavy [m]	4,7	6,2	12,7	14
Maximální délka lafety [m]	6,2	7,8	15	18
Nosnost lafety [kN]	30	80	180	390
Výkon motoru [kW]	22	61	103	147

Technické parametry vrtných souprav řady IDECO a National [1, 22].

Parametry	DIR 806	BIR 7585	NATIONAL 1320 M
Nosnost na háku [kN]	1 510	1 510	3 800
Výška věže [m]	28,5	28,5	43,3
Průměr vrtného vrátku [mm]	28,6	28,6	35
Typ motorů/počet	CATD3408T/2	CATD3408TA/2	CATD398TA/3
Výkon motoru [kW]	317	336	535
Průchod rotačním stolem [mm]	698,5	520,7	698,5
Výkon výplachových čerpadel [kW]/počet	522/2	522/2	969/2
Maximální průtok výplachového čerpadla [l·min ⁻¹]	3 080	3 080	2 463

Technické parametry vrtných souprav Bentec [23, 26].

Parametry	Bentec 250	Bentec 350 AC	Bentec 450
Maximální zatížení na háku [kN]	3 000	3 500	4 500
Celková výška soupravy [m]	53	55	55
Výška vrtné věže [m]	42	43,3	43,3
Dosažitelná hloubka [m]	4 200	6 000	7 200
Typ motoru/počet	Caterpillar CAT 3512B + CAT C15/3 + 1	Caterpillar CAT 3512B + CAT C15/3 + 1	Cummins KTA50-DR-1750 + CAT C15/4 + 1
Výkon motoru [kW]	3× 1310 + 400	3× 1310 + 400	4× 1306 + 400
Výkon vrtného vrátku [kW]	920	1 150	1 470
System Top Drive	Bentec TD-350-HT	NOV Varco TDS 11SA	Bentec TD-500-HT
Typ výplachových čerpadel/počet	Bentec T-1600 AC/2	EWECO E-1600/3	Bentec T-1600 AC/3
Výkon výplachových čerpadel [kW]	2× 1200	3× 1200	3× 1200
Maximální tlak [MPa]	34,5	34,5	34,5
Objem aktivního výplachu [m ³]	150	205	360

Výběr z materiálového listu oceli 19 452 dle ČSN 41 9452.

Prvek	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
Chemické složení [%]	0,55 až 0,65	0,60 až 0,90	1,50 až 1,90	0,70 až 1,00	max. 0,35	max. 0,030	max. 0,035
Dovolené úchytky [%]	0,01	0,08	0,08	0,05	–	–	–

Výrobek	Výkovky		Plechý	
Provedení	kováno za tepla		válcováno za tepla	
Označení a stav materiálu	19452.3	19 452.4	19 452.3	19 452.4
Stav	žíhaný naměkko	kalený v oleji	žíhaný naměkko	kalený v oleji
Pro průměr [mm]	–	20	–	20
Tvrдость podle Brinella [HB]	max. 230	–	max. 230	–
Tvrдость podle Rockwella [HRC]	–	min. 58	–	min. 58

Charakteristika oceli: Chrom-křemíková ocel se střední prokalitelností ke kalení v oleji, velmi dobrá houževnatost při poměrně vysoké tvrdosti, dobrá odolnost proti dynamickému střídavému namáhání a namáhání úderem, velmi dobrá pružnost a odolnost proti opotřebení (i ve stavu tepelně nezpracovaném), dobrá tvárnost za tepla a obrobitelnost v žíhaném stavu.

Třídy cementů pro cementování vrtů dle ČSN EN ISO 10426-1.

	A	B	C	D	G	H
Obsah vody ve směsi [%]	54	54	44	62	56	62
Provedení O (ordinary)						
Max. obsah MgO [%]	6,0	–	6,0	–	–	–
Max. obsah SO₃ [%]	3,5	–	4,5	–	–	–
Max. obsah C₃A [%]	NV ^{a)}	–	15	–	–	–
Provedení MSR (moderate sulfate-resistant)						
Max. obsah MgO [%]	–	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Max. obsah SO₃ [%]	–	3,0	3,5	3,0	3,0	3,0
Max. obsah C₃A [%]	–	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Max. obsah C₃S [%]	–	NV	NV	NV	58	58
Min. obsah C₃S [%]	–	NV	NV	NV	48	48
Provedení HSR (high sulfate-resistant)						
Max. obsah MgO [%]	–	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Max. obsah SO₃ [%]	–	3,0	3,5	3,0	3,0	3,0
Max. obsah C₃A [%]	–	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Max. obsah C₃S [%]	–	NV	NV	NV	65	65
Min. obsah C₃S [%]	–	NV	NV	NV	48	48
Max. obsah C₄F [%]	–	24	24	24	24	24

^{a)} není vyžadováno