

Univerzita Karlova v Praze Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geologie
Studijní obor: Geologie



Maxym Karvatsky

Výstroj hydrogeologického vrtu
Equipment of hydrogeological well

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce:
RNDr. Josef Datel, Ph.D.

Praha, 2014

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 9.3.2014

Podpis

Poděkování

Poděkování patří mému školiteli RNDr. Josefu Datlovi, Ph.D. za rady a pomoc při psaní této bakalářské práce. Též bych rád poděkoval Mgr. Tomáši Ondovčínu a Bc. Pavlu Obořilovi za informace a čas věnovaný mým dotazům.

Abstrakt

Výstroj hydrogeologického vrtu je důležitou součástí pro správné fungování vrtu. Práce uvádí základní části výstroje, které se svými funkcemi liší. Jedná se o plnostěnné zárubnice, které mají funkci mechanické ochrany vyvrtaného prostoru. Další částí, jsou filtry, které chrání před vniknutím mechanických nečistot do prostoru uvnitř zárubnic. Poslední podstatnou částí výstroje je těsnění, jehož úkolem je oddělení a izolace vrstev a stabilizace zárubnic ve vrtu. Ke správnému vystrojení se užívá různých metod a používá se široká škála materiálů. Použití různých metod a materiálů je ovlivněno využitím vrtu a především geologickými a hydrogeologickými podmínkami v místě vrtu. Účelem je vždy umožnit bezproblémové a dlouhodobé využití vrtu.

Abstract

The hydrogeological borehole equipment is an important part for the good functioning of the borehole. The thesis introduces the basic parts of the equipment and identifies the functions in which they differ from each other. One part is the single-casing, which has the function of mechanical protection of the bored area. The second part is the filter which protects the casing area from the intrusion of mechanical impurities. The last and important part of the equipment is the seal which has the function to separate and isolate layers and to stabilise casings of the borehole. For the correct casing there are many methods used and a large scale of different types of material. The type of method and material used depends on the usage of the borehole and above all the geological and hydrogeological environment in which the borehole is set. The purpose is to always enable a problem-free and long term use of the borehole.

Osnova

1.	Úvod	1
1.1.	Pozice hydrogeologického vrtu ve využívání podzemních vod	1
1.2.	Pozice hydrogeologického vrtu v hydrogeologickém průřezu.....	2
1.3.	Typy hydrogeologických vrtů	2
1.4.	Konstrukce hydrogeologického vrtu.....	3
1.4.1.	Projekt vrtu.....	3
1.4.2.	Konstrukce vrtu.....	4
2.	Výstroj vrtu	5
3.	Vlivy ohrožující výstroj vrtu	8
4.	Materiály plnostěnných zárubnic.....	10
4.1.1.	Ocelové zárubnice.....	10
4.1.2.	Plastové zárubnice	10
4.1.3.	Sklolaminátové zárubnice	11
4.1.4.	Betonové zárubnice	12
4.1.5.	Porovnání materiálů zárubnic	13
5.	Filtry.....	14
5.1.1.	Materiály perforovaných zárubnic.....	14
5.2.	Typy filtrů	15
5.2.1.	Filtry z ocelových trub	15
5.2.2.	Filtry z lisovaného plechu	16
5.2.3.	Filtry z drátěného a prutového skeletu.....	18
5.2.4.	Filtry ze syntetického materiálu	20
5.2.5.	Filtry keramické	21
5.2.6.	Filtry s lepeným štěrkem	21
5.3.	Obsypávání filtru	22
6.	Pažnicová pata	25
7.	Spoje zárubnic.....	26
7.1.	Typy spojů	26
7.1.1.	Svařované spoje.....	26
7.1.2.	Závitové spoje.....	28
7.1.3.	Ostatní spoje.....	31
8.	Těsnění vrtu	32

8.1.	Uzávěry	32
8.2.	Cementace vrtu	34
8.3.	Vlastnosti cementu	34
8.4.	Aditiva	36
8.5.	Příprava vrtu na cementaci	36
8.6.	Technologie cementací	38
8.6.1.	Primární cementace	38
8.6.2.	Sekundární cementace	40
9.	Závěr a diskuse	41
10.	Seznam literatury	43

1. Úvod

Voda je jednou z nejdůležitějších složek pro všechny živé organismy na Zemi. Voda v přírodě se dělí na tři základní typy: podzemní, atmosférickou a povrchovou. Podzemní voda se jímá několika způsoby. Jedním ze způsobů je jímání vertikálními objekty. Mezi vertikální objekty patří i vrtané vrty. Vznik vrtu je složitý proces a každá z fází vzniku je důležitá. Vrtání a vystrojování vrtu provádí odborné společnosti, které se zaměřují na tuto činnost. Vedoucím projektu a odborným dozorem je hydrogeolog, který má dostatečné znalosti a zkušenosti, aby zajistil správné vystrojení vrtu ve spolupráci se zkušeným vrtným technikem. Jako problém se jeví skutečnost, že není vždy na pracovišti přítomen a nemůže tak kontrolovat každé rozhodnutí. Tím vzniká nebezpečí, že pracovníci provádějící vrtné a vystrojovací práce a další lidé, podílející se na tomto procesu se mohou v dobré víře ve své zkušenosti a praxi dopustit chyb. Proto je potřeba, aby s technologickým procesem prováděné práce byly seznámeny i osoby bez hydrogeologického vzdělání nebo neorientující se v této činnosti. Jelikož vystrojení vrtu má být i finančně úsporné je důležité mít přehled o materiálech, postupech a rizicích. Tím se vyhnout zbytečným chybám v procesu vystrojování.

1.1. Pozice hydrogeologického vrtu ve využívání podzemních vod

Lidská populace se neustále od historických dob až do současnosti rozrůstá a obydluje oblasti s nedostatkem vody nebo vodou nevhodnou pro živý organismus. Pro životní potřeby lidí je však nezbytná kvalitní voda. Lidstvo mělo zkušenosti s tím, že povrchová voda není vždy kvalitní a je náchylná k znečištění, což vedlo k odhalení poznatku o podzemní vodě a možnostech využití této vody. Kdy přesně tyto poznatky byly objeveny se nedá datovat, ale víme s jistotou, že se jedná o tisíciletí. Důkazy o využívání podzemních vod máme již ze starověku, a to především z dob antiky, starověké Číny a dalších oblastí na Zemi (NGWA, 2008).

Vznik hydrogeologie jako vědního oboru se řadí až do druhé poloviny 19. století (Krásný, et al., 2012). Hlavním záměrem hydrogeologického vrtu je jímání podzemní vody a tedy využití zdrojů pitné vody. Efektivním způsobem, jak jímát podzemní vodu, je využití vertikálních, horizontálních a kombinovaných jímadel (Jedlička, et al., 1981). Mezi vertikální jímací objekty patří: vrtané studny, trubkové studny a šachtové studny.

Mezi horizontální jímací objekty patří: jímací zářezy, galerie. Kombinované jímací objekty jsou studny s radiálními sběrači (Datel, 2014). Hydrogeologický vrt řadíme mezi vertikální jímadla a patří mezi nejvíce používaná vodní díla pro jímání podzemních vod (Jedlička, et al., 1981).

1.2. Pozice hydrogeologického vrtu v hydrogeologickém průzkumu

Průzkumný vrt má za úkol dosáhnout hodnověrných poznatků o podmínkách výskytu a oběhu prostých podzemních, minerálních a termálních vod v horninovém prostředí. Takové poznatky jsou důležité pro využívání a doplňování zdrojů podzemní vody. Napomáhá k objasnění a řešení hydrogeologických otázek při výstavbě inženýrských, báňských a jiných staveb. Výsledky hydrogeologického průzkumu slouží též k ochraně zdrojů vod a tvorbě hydrogeologických map (Sarga, 1983).

1.3. Typy hydrogeologických vrtů

Hydrogeologické vrty se dělí na vrty jímací, monitorovací, odvodňovací a průzkumné (Jedlička, et al., 1981).

Účelem jímacích vrtů je zásobování obyvatelstva, průmyslu a zemědělství vodou. Oproti ostatním metodám jímání vody má jímání podzemních vod jisté výhody. Získáváme vodu z téměř libovolných hloubek, chráněnou proti povrchovým a podložním vlivům, se stálou teplotou (Jedlička, et al., 1981).

Odvodňovací vrty se nevyskytují tak často jako jímací a jejich úkolem je odvodnění stavebních jam, staveb, podzemních a hornických děl. U těchto vrtů je důležité maximálně snížit hladinu, při co nejmenším čerpání. V některých případech se nečerpá, ale využívá gravitace a úhlu spadu potrubí (Jedlička, et al., 1981).

Průzkumné hydrogeologické vrty slouží ke komplexnímu řešení hydrogeologických a geologických problémů (Pražský, 1964).

Monitorovací vrty mají za úkol zjistit hydrologické, hydrogeologické a geologické poměry daného území a poskytnout informace o zkoumaných poměrech a jejich

změnách v čase. Získané poznatky slouží k projektování dalších průzkumů a racionální výstavbě nových vodních děl (Klempa, et al., 2011).

U všech hydrologických vrtů je důležité dosáhnout zastižení a provrtání vodonosné vrstvy. Dále je důležité vystrojit stěny vrtu tak, aby byl umožněn přítok vody do vrtu, aniž by docházelo k migraci jemnozrnné frakce hornin z okolí výstroje (Jedlička, et al., 1981).

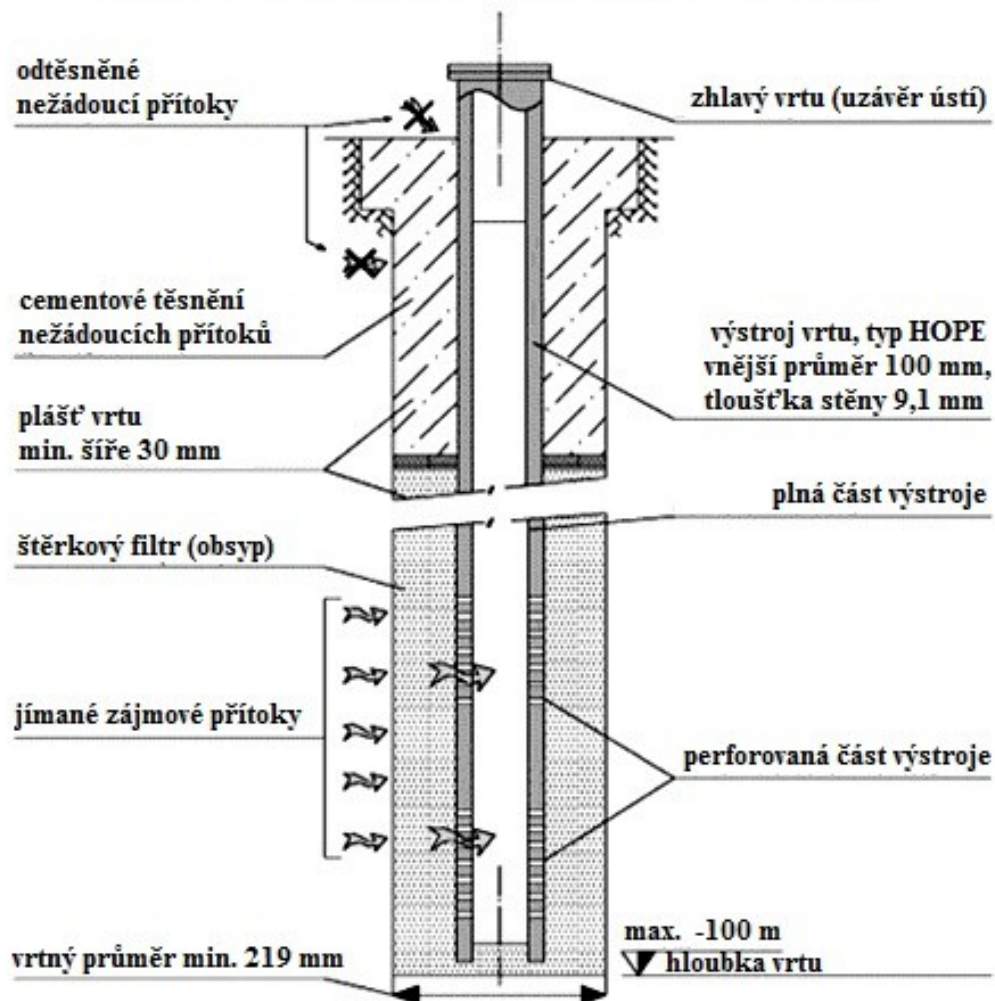
1.4. Konstrukce hydrogeologického vrtu

1.4.1. Projekt vrtu

Vrtné práce řídí hydrogeolog, který vyhotoví projekt vrtu na základě známých geologických a hydrogeologických poměrů pro dané území se zřetelem na účel využití vrtu (Pražský, et al., 1969). Na základě těchto údajů je geolog schopen stanovit průměr, hloubku vrtu, statickou (ustálenou) hladinu, možný odběr vody, technologii vrtání, pažení vrtu, druh filtru, těsnění vrtu a izolaci vrstev (Zeman, 1985).

1.4.2. Konstrukce vrtu

Standardní provedení vrtu pro jímání podzemní vody



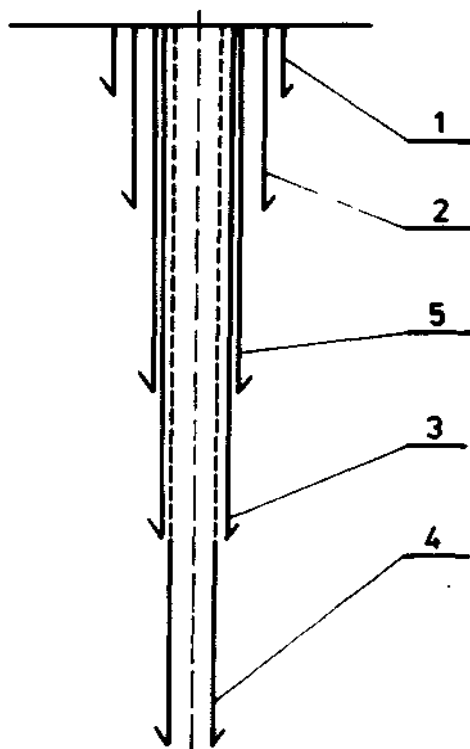
Obrázek 1 - Ukázka jednoduché konstrukce vrtu pro jímání podzemní vody (zdroj: Technika a technologie hlubinného vrtání, Univerzita Masaryková, 2011, <http://geologie.vsb.cz/TECHHLDOB/hlubinneVrtani/vrtani/vrtyHydrogeologicke.html>)

2. Výstroj vrtu

Běžný proces vystrojování vrtu můžeme rozdělit do čtyř fází:

1. Zapažení vrtu pažnicemi,
2. vystrojení vrtu definitivními zárubnicemi,
3. vytvoření štěrkového obsypu,
4. těsnění vrtu.

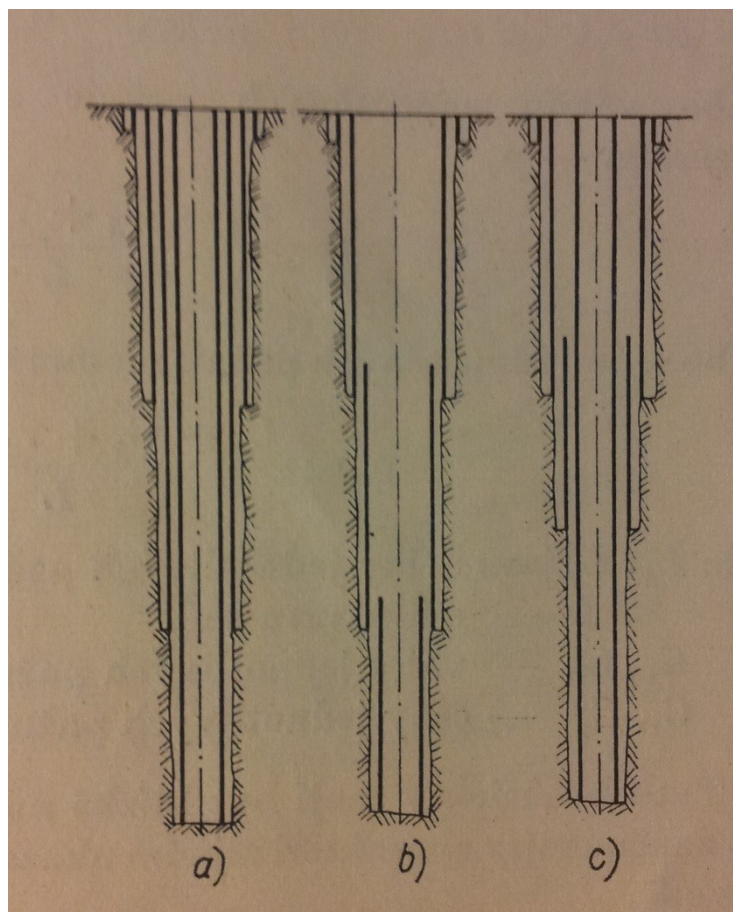
První fáze vystrojování probíhá během vrtných prací a užívá se k tomu pracovního pažení, které je zobrazeno na obrázku 2. Vrtáním dochází k narušení masivu v okolí vrtu, který se tak stává nestabilním. Účelem pracovního pažení je poskytnout ochranu především před zavalením vrtu během vrtných prací a vystrojování zárubnicemi. Po dokončení vrtných prací a vystrojení zárubnicemi se pracovní pažení odstraní. Jako vhodné se jeví vystrojovat vrt co nejmenším možným počtem pažnic, jelikož to vede k úspoře času a materiálu, a to nejen při zapouštění, ale i při vytahování pažnic. Užití pracovního pažení je podmíněno geologickými podmínkami (Pražský, et al., 1969).



Obrázek 2 - Schéma pracovního pažení vrtu; 1 - řídicí kolona, 2 - úvodní kolona, 3 - těžební kolona, 4 - kolona filtru, 5 - technická kolona. (Zdroj: <http://geologie.vsb.cz/TECHHLDOB/hlubinneVrtani/vrtani/vrtyHydrogeologicke.html>; 2011)

Řídicí kolona se zapouští do vrtu jako první. Je zapuštěna do hloubky několika metrů a jejím úkolem je usměrňovat vrtné nářadí v počátcích vrtání a chránit vrt před zavalením. Další v pořadí je *úvodní kolona*, jejímž úkolem je zabránit komunikaci mezi vrtem a vodonosnými vrstvami. Úkolem *technické kolony* je zabezpečit průběh vrtání do konečné hloubky. *Těžební kolona* její úkolem je zajistit těžbu kapalných a plyných užitkových nerostů. *Kolona filtru* i po odstranění pažnic zůstává ve vrtu. (Pražský, et al., 1969).

Existují tři druhy zapažení - úplné, teleskopické a smíšené (viz obrázek 3). Každý vrt nemusí být zapažen úplně, míra zapažení je ovlivněna především geologickými podmínkami, ve kterých se vrtá. Nejvíce se používá úplné a smíšené pažení. Teleskopické pažení se již nevyužívá z důvodu častých poruch a náročnosti odstranění z vrtu (Pražský, et al., 1969).



Obrázek 3 - Druhy pracovního pažení, a – úplné; b – teleskopické; c – smíšené

Zdroj: (Prražský and Jedlička 1969), obrázek byl pozměněn.

Konečná výstroj vrtu se skládá z kolony trubek, označovaných pojmem zárubnice. Zárubnice jsou z různého materiálu a vyrábí se různými způsoby. Výběr materiálu je především ovlivněn geologickým prostředím, účelem vrtu a parametry jako je průměr a hloubka vrtu. Zárubnice musí odolávat nejen napětí stěn vrtu, ale musí se konstruovat tak, aby se nebortila i pod vlastní váhou. Používají se zárubnice plné a zárubnice perforované. Plné se nachází v částech, nad zvodnělým kolektorem a pod zvodnělým kolektorem. Pod zvodnělým kolektorem se označují též jako kalník (slouží k sedimentaci kalu). Perforované zárubnice se umísťují v části zvodnělého kolektoru, umožňují vstup vody dovnitř, ale zároveň by měly bránit vstupu jemnozrnného materiálu. Perforované zárubnice obsahují vstupy různých velikostí a tvarů. Tyto parametry se určují tak, aby vyhovovaly účelu využití vrtu a hydrogeologickým podmínkám. Perforovaná část kolony se též označuje jako filtr. Materiál filtru je použit stejný jako u plných zárubnic, nicméně někdy se volba materiálu pro výrobu filtru liší,

např. z důvodu agresivních vod. Jelikož každý vrt má své specifické vlastnosti, byla vyvinuta široká škála filtrů pro různá prostředí. Vrt může být úplný či neúplný. Úplný vrt využívá celou mocnost kolektoru, zatímco neúplný ji nevyužívá (Jedlička, et al., 1981); (Betuš, et al., 1998).

Další fází vystrojování vrtu je šterkový obsyp, který je umístěn v mezikruží mezi stěnami vrtu a zárubnicemi. Jeho účelem je bránit vstupu písku a jemných pevných částic do vrtu, přičemž je důležité, aby bylo docíleno nízkého vtokového odporu. Úspěch správného obsypu je ve volbě nejvhodnější velikosti šterku (Betuš, et al., 1998). Někdy se též volí několikanásobný obsyp s nejjemnější frakcí na vnější části obsypu a hrubší frakcí u stěny filtru (Jedlička, et al., 1981).

Vrt je namáhán hned několika faktory. Musí odolávat vnitřnímu tlaku ve vrtu, vlastnímu tíhovému napětí, silám tepelného namáhání a silám technologického původu. Za účelem prodloužení životnosti a spolehlivosti vrtu je proto potřeba jej utěsnit. Těsnění stabilizuje vrt a zároveň musí izolovat vrstvy, tudíž zamezuje jakémoliv spojení provrtaných vrstev přes mezikruží (Betuš, et al., 1998).

3. Vlivy ohrožující výstroj vrtu

Koroze, kolmatace a inkrustace jsou tři hlavní faktory, které mají vliv na volbu konstrukce, výběr materiálu a způsob provozování vrtu. U starších vrtů je koroze častou příčinou selhání vrtu, zatímco u mladších vrtů koroze obvyklou příčinou není. Častějšími příčinami jsou kontaminace kolektoru, diferenční tlak v důsledku čerpání nebo pokles nadložních zemin. V místech kolísání hladiny podzemní vody jsou zárubnice nejvíce ohrožené korozí (Company, 1990).

I když jen málo studen zcela selže kvůli inkrustaci nebo kolmataci jsou tyto jevy škodlivé. Mnoho zkušeností ukazuje, že dochází k poklesu vydatnosti vody v důsledku těchto jevů (Company, 1990).

Kolmatace (mechanické zanášení) může být způsobena únikem korozních látek ze zárubnic, nánosy písku a bahna či přítomností bakteriálních kolonií (Company, 1990).

Inkrustace (chemické zanášení) je způsobena vysrážením minerálních látek. Nesetrválé odčerpávání vody a velká vtoková rychlost jsou procesy, které též mohou vést k inkrustaci nebo kolmataci (Company, 1990).

Inkrustace a kolmatace způsobují zmenšení plochy otvoru v perforované části zárubnice (nebo v štěrkovém obsypu), zatímco koroze způsobuje zvětšení otvoru v perforované části zárubnice a tím snižuje pevnost a účinnost této části (Company, 1990).

Ohrožené jsou i zárubnice přesahující úroveň terénu. Hrozí zde mechanické poškození všech druhů zárubnic. V případě plastových zárubnic navíc hrozí při dlouhodobém působení slunečního světla oslabení materiálu (Company, 1990).

Je důležité znát chemické složení, kvalitu vody a interakci vody s materiály, což umožňuje správnou volbu materiálu pro výstroj vrtu. Na tom závisí délka životnosti a správný provoz vrtu. Významným pomocníkem je chemický rozbor vody. Hydrogeolog by měl být schopen pomoci rozboru odhalit, zdali je ve vrtu abnormální množství některých chemických látek nebo bakterií. Existují normy, které určují povolená množství látek nebo bakterií ve vodě. Každá abnormalita může alarmovat problém ve vrtu. Např. v případě tvrdé vody (což bývá způsobeno nejčastěji vysokým obsahem kationtů vápníku a hořčíku) hrozí nebezpečí inkrustace nebo voda může obsahovat příliš mnoho bakterií, což vede ke kolmataci (Company, 1990).

Dalším častým problémem je koroze. Koroze se týká nejen kovu, ale hornin i plastu. Kovy však trpí korozí nejvíce. Koroze vzniká při kontaktu materiálu se vzdušným kyslíkem a vodou, což je ještě zhoršováno přítomností kyselin (Mudra, 2007). Abychom předešli těmto nežádoucím účinkům vody na výstroj, musíme mít určité znalosti z hydrochemie. Tyto poznatky nechrání pouze výstroj vrtu, ale určují i k jakému účelu je voda vhodná (např. voda s vysokým obsahem síranu není vhodná pro využití ve stavebnictví) (Company, 1990).

4. Materiály plnostěnných zárubnic

Hlavními požadovanými vlastnostmi materiálu výstroje jsou fyzikální a chemická odolnost a finanční dostupnost. Výběr materiálu pro výstroj vrtu závisí na kvalitě vody, hloubce vrtu, finančních nákladech, vrtném průměru, postupu při vrtání a na místních normách. Mezi typy materiálů používaných ve vrtech se řadí ocel, plast, laminát, eternit, keramika a neželezné kovy (Driscoll, 1986).

4.1.1. Ocelové zárubnice

Ocel je využívána pro vystrojování vrtu díky svým vlastnostem, jako je fyzikální odolnost. Z hlediska chemické odolnosti nastává problém při styku s agresivními vodami, jelikož ocel podléhá korozi. V takovém případě osoba zodpovědná za projektování vrtu může volit oceli s příměsí jiných kovů. Takové oceli jsou odolnější vůči korozi. Mezi kovy zlepšující vlastnosti oceli patří např. chrom, molybden, nikl, atd. Pořizovací ceny ušlechtilých ocelí jsou vyšší než u běžných ocelí, avšak tato investice z hlediska času se vyplácí, jelikož zárubnice z ušlechtilé oceli mají delší životnost (Driscoll, 1986).

4.1.2. Plastové zárubnice

Plast jako materiál pro zárubnice se začal používat v pozdních 40. letech 20. století v agresivních vodách, tam kde ocelová výstroj by podlehla velice rychle korozi. Plast se využíval nejen pro výrobu zárubnic (viz obrázek 4), ale i filtru, viz kapitola 2.5.4. Výrazný nárůst využití nastal od roku 1960, kdy technologie pokročily k výrobě odolnějších plastů. Využívají se především tyto materiály ABS (akrylonitril butadien styren), PVC (polyvinylchlorid) a SBR (butadien styren kaučuk). Plast se hodí pro vystrojování vrtu, jelikož má následující vlastnosti: odolnost proti korozi, nízká hmotnost, relativně nízká cena, snadná instalace a odolnost proti působení kyselin. Při využití plastové výstroje se musí brát zřetel na hloubku a průměr vrtu. Jelikož odolnost vůči tahu (u PVC, ABS a SBR pohybují od 21,4 MPa do 48,3 MPa), tlaku na svou spodní část a odolnost vůči bočnímu zemnímu geostatickému tlaku je nízká. V důsledku toho je riskantní vystrojovat vrty hlubší než 100 m a s průměrem větším než 200 mm plastovými zárubnicemi, jelikož by mohlo dojít k havárii i v důsledku tlaku dlouhé

kolony zárubnic. Existují speciálně vyztužené plasty pro velmi hluboké a široké vrty, které se používají v případě, že ocelové zárubnice nemůžeme použít z důvodu extrémně agresivní vody v daném vrtu (Driscoll, 1986).



Obrázek 4 - Plastové zárubnice, (Zdroj: Borehole-Driller.co.uk, http://www.borehole-driller.co.uk/Pages/Borehole_Water_Well_Casing_Supplier.aspx, 2012)

4.1.3. Sklolaminátové zárubnice

Sklolaminátové zárubnice (viz obrázek 5) jsou vyrobeny z plastových materiálů vyztužených sklolaminátem. Tento materiál je velice odolný proti korozi, chemikáliím, není vodivý a jeho hmotnost je nízká. Odolnost vůči tlaku je vysoká, ale s působením tepla klesá. Vyšší pořizovací cena je vyrovnávaná dlouhou životností (Driscoll, 1986).



Obrázek 5 - Laminátové zárubnice. (Zdroj: National oilwell varco, http://www.nov.com/tubular_and_corrosion_control.aspx, 2014)

4.1.4. Betonové zárubnice

Betonové konstrukce je možné využívat v některých mělkých vrtech, ale jejich hmotnost způsobuje potíže při manipulaci a speciální spojovací požadavky ho činí nepraktickým pro všeobecné použití. Eternit je materiál z cementu, který je vyztužen vlákny, nejčastěji azbestu. (Company, 1990) Vzhledem k prokázaným škodlivým účinkům azbestu na životní prostředí a zdraví člověka se však v dnešní době nepoužívá tento typ zárubnic (Moldan, 1989).

4.1.5. Porovnání materiálů zárubnic

Tabulka 1 - Porovnání materiálů pro výrobu zárubnic, (zdroj: Groundwater and wells, Fletcher G. Driscoll, 1986), tabulka byla pozměněná

Materiál	Specifická váha [kg/m ³]	Tahové napětí [MPa]	Odolnost vůči nárazu [J/cm]	Horní mez teploty [°F]
ABS	1,04	31	3,204	82
PVC	1,40	62	0,534	65
Eternit	1,85	20,6	0,534	121
Ocel s nízkým obsahem uhlíku	7,85	241,3 - 413,6	*	426-537
Sklolaminát	1,89	115,5	10,68	148
SBR	1,06	26,2	0,4272	60

* Testovací metody pro ocel a jiné materiály nejsou stejné a výsledky proto nejsou srovnatelné.

5. Filtry

Filtry (perforované zárubnice) môžu tvořit perforované trubky a štěrkový obsyp nebo tkaninový obmot, instalovaný v úrovních zvodněného kolektoru. Jeho funkcemi je vyztužovat danou část vrtu a bránit vstupu písku a jiných mechanických nečistot do vrtu. Filtr klade hydraulický odpor vstupující kapalině zbavené mechanických nečistot. Správné je, když hydraulický odpor není velký, avšak mohou nastat potíže v jemnozrnných zvodněných horninách, jelikož pro jemnozrnné horniny je potřeba filtru s jemnými vstupy a tím pádem se zvyšuje hydraulický odpor. Geolog musí v takové situaci určit nejvhodnější typ filtru. Musí zhodnotit chemické složení vody a granulometrické složení hornin. Zvodněné horizonty tvořené pevnými, rozpukanými horninami nepotřebují filtr, avšak zkušenosti nám ukazují, že odběrem vody v těchto horninách dochází k zvětrání a hrozbě nestability nebo vniku mechanických nečistot do vrtu, proto je filtr důležitý i v takových horninách při dlouhodobém odběru. V současné době se vystrojuje téměř každý vrt a nejčastěji se instaluje filtr se štěrkovým obsypem. Takovýto filtr se skládá z kolony zárubnic, usazených centricky a obsypaný štěrkem. Filtr musí plnit tyto následující požadavky: nepropouštět písek do vrtu, mít nízký vstupní odpor, být hospodárný, odolný vůči korozi, inkrustaci a kolmotaci a být mechanicky pevný (Betuš, et al., 1998).

5.1.1. Materiály perforovaných zárubnic

Jak již bylo zmíněno, filtr musí být odolný korozi, inkrustaci a kolmotaci a zároveň musí být pevný, aby zabránil zborcení vrtu. Používají se nebo se používali materiály jako je dřevo, sklo, plast, ocel, neželezné kovy či kamenina (Betuš, et al., 1998). U ocelí se vyplatí využívat nerezové ocele z důvodu ochrany před korozi. Též se používají ochranné nátěry (pozn.: je zde však nebezpečí, že se časem uvolní látky z nátěru do vody), avšak nejsou tak spolehlivé jako nerezová ocel; rozdíl je v pořizovacích nákladech (Podhorský, 1963). Dřevo má dobré vlastnosti pro využití jako filtr: nepůsobí na ně agresivní prostředí, je odolné vůči inkrustaci, perforace nezarůstá, hmotnost je nízká (1 až 1,4 g/cm³), montáž rychlá a jednoduchá. Používá se tvrdé dřevo dubu, buku a podobných dřevin. Potíže u dřevěného filtru nastávají v případě poklesu hladiny a styku dřeva s kyslíkem, který umožňuje hnití dřeva

(Pšross, et al., 1971). Dřevo se též využívalo při výrobě lisovaného dřeva s umělými pryskyřicemi. Jednalo se o dřevo nasáklé pryskyřicemi, které bylo formováno do různých tvarů za tlaku 20 MPa a teplot okolo 150 °C. Znakem těchto zárubnic byla jejich segmentová stavba. Dřevo se již pro tento účel nevyužívá, a proto se ani tento druh filtru již nevyrábí (Klempa, et al., 2011). Skleněné filtry se používaly zpravidla pro zřídelnictví, byly chráněny ocelovými filtry. Jejich uplatnění však zůstalo pouze v rámci pokusů. Filtry z litin měly výborné antikorozi vlastnosti, nicméně se jich nevyužívá vzhledem k jejich náchylnosti k mechanickému poškození, způsobené jejich křehkostí (Мусский [Muskij], 2005). Vyráběly se i filtry z azbest-betonových trub, avšak po prokázání škodlivých vlivů azbestu na zdraví, se již tento typ filtru nepoužívá (Podhorský, 1963). Pro materiály filtru z plastických hmot platí podobné poznatky jako pro plnostěnné zárubnice (Company, 1990).

5.2. Typy filtrů

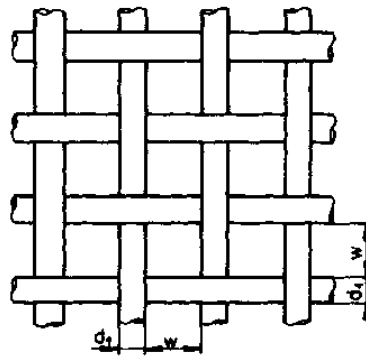
5.2.1. Filtry z ocelových trub

Patří mezi nejpoužívanější. Otvory se vyrábí vrtáním, frézováním nebo se vypalují autogenem. Všeobecně se dosahuje 6-15% perforace. Pro přibližný výpočet procenta perforace se využívá tento vzorec:

$$P_v = \frac{90,6 \times d^2}{t^2} [\%]$$

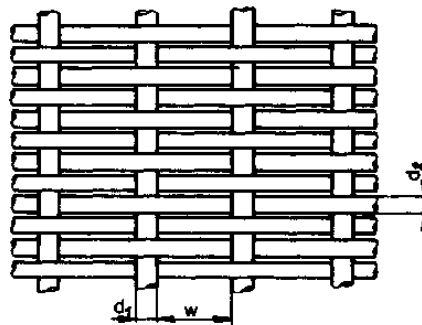
P_v – procento perforace, d – průměr vrtané díry, t – vzdálenost středu dvou nejbližších děr. Vrtáním se vytváří otvory o průměru 7-25 mm. Frézováním se dosahuje šířky štěrbin 4,6,8 mm a lze dosáhnout až 20% perforace. Tento typ filtru je vhodný do méně agresivních vod. V některých případech se filtry chrání nanesením povrchové vrstvy např. zinkem, asfaltem nebo epoxidehem. Aby se dosáhlo větší efektivity při bránění vniknutí mechanických nečistot a písku do vrtu, používá se tkaninový obmot nebo štěrkový obsyp. Mezi trubkou a tkaninou se nachází kovové spirály, které oddělují trubku od obmotu a tím pádem snižují filtrační odpor. Obmot tvoří podkladová nebo prýmková tkanina (viz obrázek 6 a 7). Vyrábí se obvyklé z hutnické mědi. Velikost otvoru tkaniny závisí na velikosti zrn horniny ve vrtu. Za využití granulometrického rozboru zvolí geolog nejvhodnější rozměr otvoru. U štěrkového obsypu není možné

vytažení výstroje za účelem oprav a čištění. U filtru s tkaninovým obmotem je to možné, ale pouze u kolon zapuštěných do ztracena (Betuš, et al., 1998).



Obrázek 6 - Podkladová tkanina, (zdroj:

<http://geologie.vsb.cz/TECHHLDOB/hlubinneVrtani/vrtani/vrtyHydrogeologicke.html>, 2011)



Obrázek 7 - Prýmková tkanina, (zdroj:

<http://geologie.vsb.cz/TECHHLDOB/hlubinneVrtani/vrtani/vrtyHydrogeologicke.html>, 2011)

5.2.2. Filtry z lisovaného plechu

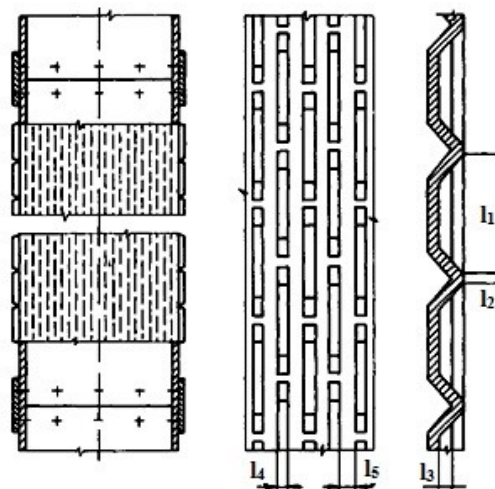
Je to skupina filtrů, kde se k získání perforace využívá lisu, který lisuje otvory různých velikostí a tvarů (Betuš, et al., 1998).

Jednoduché filtry s lisovanými otvory dosahují perforace 20-39%. Přibližné procento perforace lze vypočítat podle tohoto vzorce:

$$P_v = \frac{\left(\frac{a}{b} - a\right) \frac{\pi a^2}{4}}{t_1 \times t_2}$$

P_v – procento perforace [%], a – šířka štěrbin [mm], b – délka štěrbin [mm], t_1 – vzdálenost středu dvou nejbližších štěrbin v horizontálním směru, t_2 – vzdálenost středu dvou nejbližších štěrbin ve vertikálním směru (Betuš, et al., 1998).

Lisované můstkové filtry se vyrábí z plechu o síle 3 mm s neúplnými prolisky tvaru tzv. můstku (viz obrázek 8). Mezi výhody těchto filtrů patří zvýšená pevnost a také skutečnost, že štěrkopískový obsyp se nemůže uložit tak, aby ucpal štěrbinu a bránil vstupu vody. Výšku můstku regulujeme podle velikosti obsypu nebo granulometrického rozboru zvodnělé horniny (Betuš, et al., 1998).



Obrázek 8 - Můstkový štěrbinový filtr, l_1 – výška otvoru můstků, l_2 – šířka můstků, l_3 – šířka mezery mezi můstky, l_4 – délka můstku, l_5 – vzdálenost mezi můstky po délce filtru, (zdroj:

<http://geologie.vsb.cz/TECHHLDOB/hlubinneVrtani/vrtani/vrtyHydrogeologicke.html>, 2011)

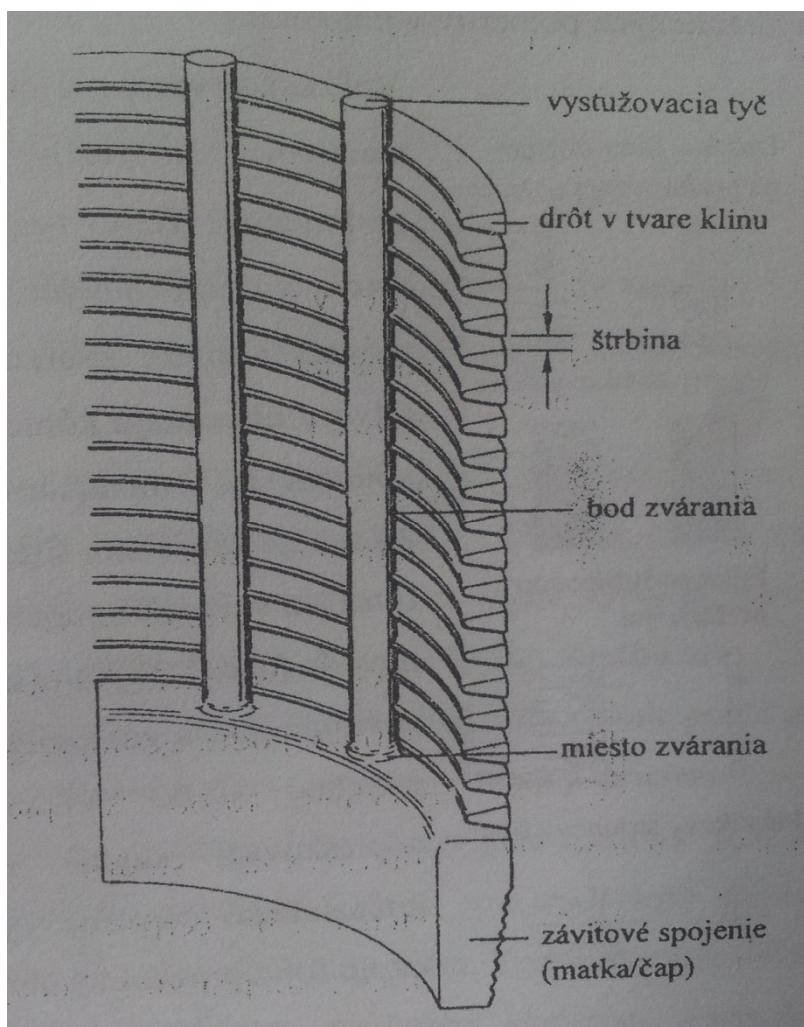
Filtry FKO se vyrábí z pozinkovaného plechu o síle 0,5 až 0,7 mm. Na tomto plechu jsou pravidelně uspořádány kuželovité otvory, které vystupují menší základnou do zvodněné horniny a širším otvorem vstupují do filtru. Tento typ filtru je účinný, jelikož využívá principu rozšiřující se trysky. Ten spočívá ve snížení rychlosti proudění v místě výstupu kapaliny do prostoru uvnitř filtru. To zaručuje minimální energetické ztráty a maximální přítok. Tento typ filtru se hodí pro čerpání vod z pískových až prachovitých kolektorů a zamezuje pískování vrtu. Tento typ filtru je bezobsypový, a tak je jeho aplikace v hlubokých vrtech jednoduchá, jelikož nevyžaduje obsypu. Konstrukce tohoto filtru se skládá z nosné trubky, která má perforaci 20-25% a z pláště

s kuželovými vstupy, který je připevněn objímkami k nosné trubce. Velikost otvorů se volí podle granulometrického rozboru tak, aby nedocházelo k pískování nebo kolmataci filtru (Betuš, et al., 1998).

5.2.3. Filtry z drátěného a prutového skeletu.

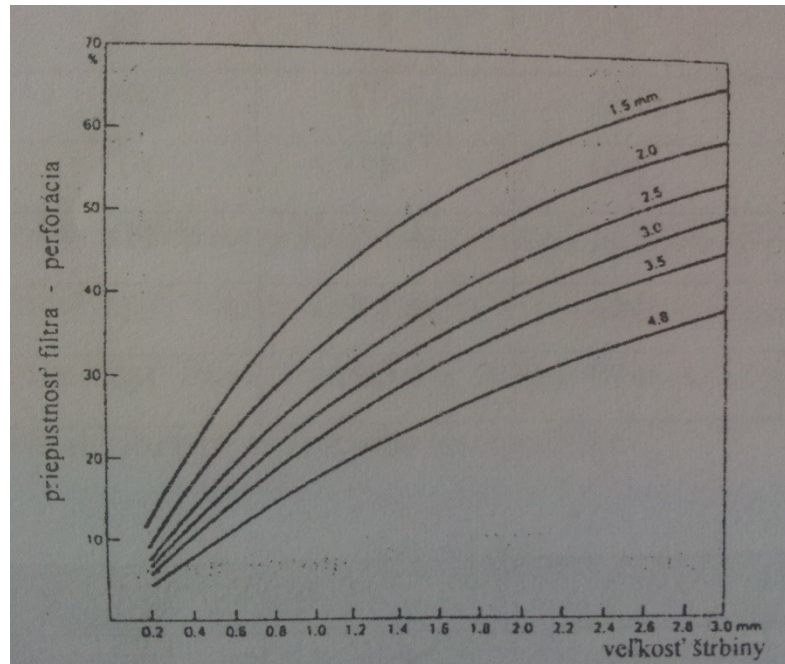
Tento typ filtru je v dnešní době velice používaný díky jeho hydraulickým a antikorozním vlastnostem. Využívá se pro průzkumné práce při vyhledávání ropy, plynu nebo též pro geotermální a balneologické vrty, avšak je vhodný i pro běžný odběr podzemních vod (Betuš, et al., 1998).

Konstrukce jsou buď samonosné, nebo se drát namotává na zárubnici s velkými perforovanými otvory. Velice známým a používaným zástupcem samonosných filtrů jsou Johnsonové filtry. Všeobecně se samonosné filtry skládají z nosných ocelových prutů, vertikálních ke směru vrtu a na tyto pruty je horizontálně vinut ocelový drát s profilem „V“. Širší strana drátu směřuje ke stěně vrtu, užší směřuje dovnitř do filtru (viz obrázek 9). Místo dotyku ocelového prutu s drátem o profilu „V“ se svařuje bodovým svarem, zaručuje to větší pevnost (Betuš, et al., 1998).



Obrázek 9 - Štěrbinový drátěný filtr, (zdroj: Hydrogeologické vrty, Zvonimír Betuš, Jan Pinka, Košice 1998).

Vinutím vznikají štěrbiny stejné šířky. Šířka je ovlivněna geologickými podmínkami a účelem vrtu, navrhuje se tak aby 40 – 60 % písku ze zvodnělé vrstvy prošlo. Při odpískování vrtu se jemnější frakce odčerpají a hrubší frakce vytvoří přirozený obsypový filtr. U tohoto typu filtru platí, že propustnost roste přímo úměrně se zvětšováním štěrbin a nepřímo úměrně se silou drátu. Závislost propustnosti drátěného filtru na šířce štěrbiny můžeme pozorovat na obrázku 10 (Betuš, et al., 1998).



Obrázek 10 - Závislost propustnosti drátěného filtru na šířce štrbiny, osa y – propustnost filtru (perforace) [%], osa x - šířka štrbiny, (zdroj: Hydrogeologické vrty, Zvonimír Betuš, Jan Pinka, Košice 1998)

Pro výpočet perforace u tohoto typu filtru platí vzorec:

$$P_v = \frac{S_s}{S_d + S_s} \times 100 [\%]$$

P_v – propustnost filtru (procento perforace), S_s – šířka štrbiny [mm], S_d – průměr drátu [mm] (Betuš, et al., 1998).

Pro výrobu těchto filtrů se používají legované oceli, slitiny nebo speciální bronzy, materiály odolné korozi. Tyto filtry se hodí do náročných podmínek, jelikož nám poskytují dobré hydraulické a antikorozi vlastnosti. Filtry se vystrojují zejména do vrtu v nestabilních horninách, kde je potřeba bránit ucpávání a zanášení vrtu (Betuš, et al., 1998).

5.2.4. Filtry ze syntetického materiálu

V době, kdy se velmi rozšířilo používání umělých hmot, nachází se uplatnění i pro výrobu filtrů, především díky jejich antikorozi vlastnostem, ale také díky nízké hmotnosti a rychlosti výroby vstupních otvorů. Z materiálů se nejčastěji používá PVC (polyvinylchlorid), PE (polyetylen), PP (polypropylen). Vstupní otvory se vyrábějí

vrtáním nebo řezáním kotoučovými pilami. Zlepšováním vlastností plastů dochází k rozšiřování využití tohoto typu filtrů i v náročnějších geologických podmínkách (Betuš, et al., 1998).

5.2.5. Filtry keramické

Tyto filtry byly vyvinuty pro vrty s potřebou dlouhé životnosti nebo pro vrty ve velice agresivních vodách. Používají se především filtry z kameniny a mikroporézní keramiky. Porézní keramika se vyrábí z drti (drcené vypálené keramické střeby), která se mísí s vhodným tmelem. Vzniknuvší směsí se naplní formy. Po vyschnutí směsi se vyjmou z forem a vypálí. Tyto filtry jsou odolné vůči všem agresivním látkám ve vodách a prakticky nestárnou (Pštross, et al., 1971).

5.2.6. Filtry s lepeným štěrkem

Filtry s lepeným štěrkem vznikly díky snaze o vytvoření výrobku s kladnými vlastnostmi štěrkového obsypu, ale které zároveň budou eliminovat záporné vlastnosti obsypu. Skládají se z materiálu vhodného pro obsyp spojený pojídlem a nanesený na perforovanou zárubnici (viz obrázek 11). Získáme tak homogenní obsyp s maximální propustností odolný vůči dlouhodobému pískování, agresivním vodám a tlakovým vlivům. Při výrobě se používají štěrky třídy VP – II a VP – III (VP je vodárenský písek – vedlejší produkt při těžbě sklářských písků). Tyto štěrky se lepí na plastové a ocelové perforované zárubnice (Betuš, et al., 1998).



Obrázek 11 - Zárubnice s lepeným štěrkem, (zdroj:

<http://geologie.vsb.cz/TECHHLDOB/hlubinneVrtani/vrtani/vrtyHydrogeologicke.html>, 2011)

Tabulka 2 - Granulometrické rozbory štěrku VP - II a VP - III, (zdroj: Hydrogeologické vrty, Zvonimír Betuš, Košice 1998), tabulka byla pozměněná

Granulometrický rozbor štěrku VP - II		Granulometrický rozbor štěrku VP - III	
Zrnitost [mm]	Zastoupení [%]	Zrnitost [mm]	Zastoupení [%]
> 3	0,5	7	1,4
3 – 2	28,0	7 – 6	0,6
2 – 1	60,5	6 – 5	2,2
1 – 0,5	9,5	5 – 4	12,3
< 0,5	1,5	4 – 3	7,0
-	-	3 – 2	48,8
-	-	2 – 1	19,0
-	-	1 – 0,5	9,0

5.3. Obsypávání filtru

Štěrkový obsyp má zajišťovat bezproblémový odběr vody z vrtu. Proces vytvoření tohoto obsypu je složitý a musí se řídit některými zákonitostmi (Klempa, et al., 2011).

Lokalizace štěrkového obsypu se nachází v mezikruží mezi zárubnicemi a stěnou vrtu. Zасыpávají se části, kde je zárubnice perforovaná. Analogicky to znamená, že se

jedná o zvodnělé vrstvy, u kterých je požadováno, aby voda z nich vstupovala do vrtu (Betuš, et al., 1998).

Hloubka obsypu závisí na hloubce vrtu. Čím hlubší je vrt, tím je výška obsypu vyšší. U hlubokých vrtů je to např. 5 – 10 m a u vrtů kolem 50 m postačí 1 - 2 m obsypu nad úroveň perforované zárubnice. Důvodem je, že při čerpání se určité procento obsypu vyčerpá nebo prosedne, a tak hrozí pokles úrovně obsypu. Štěrkový obsyp se neprovádí v každém vrtu. Vrty v tvrdých a soudržných horninách se nemusí obsypávat, jelikož riziko zapáskování vrtu je malé. Nicméně je lepší zasypávat i tyto vrty, jelikož časem dochází ke korozi horninového prostředí a opět vzniká hrozba zapáskování. Obsyp též není potřeba ve vrtech, u kterých je zvodnělá vrstva situovaná v hrubozrnných horninách, je zde potřeba odpískování, kterým se zároveň vytvoří přírodní filtr. Naopak je obsyp filtru důležitý pro vrty v nesoudržných a písčitých horninách. Účelem obsypu, ale není pouze ochrana před páskováním, je to i ochrana před kolmatací a inkrustací (Betuš, et al., 1998).

Pouze při správné volbě štěrkového obsypu se dosáhne požadovaného výsledku. To zahrnuje volbu velikosti zrn obsypu, volbu materiálu, složení obsypu a jeho množství (Betuš, et al., 1998).

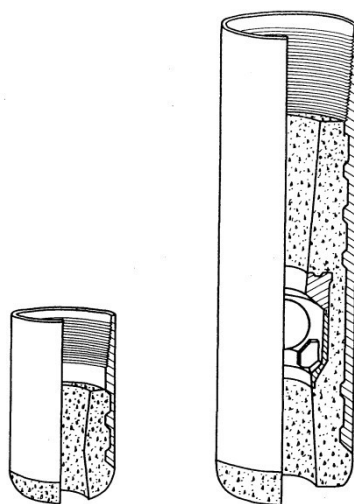
Volba velikosti zrn v obsypu je ovlivněná velikostí zrn ve zvodnělé vrstvě. Musí se zvolit takový průměr, aby propustnost byla maximální, ale aby nedocházelo k páskování při dlouhodobém a intenzivním čerpání ze zvodnělé vrstvy. Proto je nezbytné provést granulometrický rozbor horniny. Šířka obsypu je ovlivněná průměrem zrn; čím hrubší zrna, tím větší musí být šířka obsypu. *„Je přijata zásada, že propustnost obsypu musí být podstatně vyšší než propustnost zachycené zvodnělé vrstvy.“* (Betuš and Pinka 1998). Materiály, hodícími se na obsyp, jsou přírodní písky a štěrky s oblým tvarem, neměly by to být drcené materiály. Obsyp by měl být tvořen z křemičitých materiálů a neměl by obsahovat více než 4 % cizích látek jako jsou jíly, slídy, živce, vápence a železo. Je optimální používat materiály vyráběné do vodárenských filtrů pro úpravu pitné vody, jelikož u nich je obsah příměsí minimální (Betuš, et al., 1998).

U nehlubokého vrtu je dostačující obsyp nasypat do mezikruží. U hlubšího vrtu se k tomuto úkonu používají trubky o průměru 38 až 50 mm, kterými se do vrtu přivádí po malých dávkách obsypový materiál (Klempa, et al., 2011).

Lze konstatovat, že volba důležitých parametrů pro obsyp (velikost zrn, šířka obsypu a volba materiálu) je ovlivněná horninou, ve které se nachází vrt. Při správné volbě vytvoříme obsyp s dlouhou životností, který zaručí správný a bezproblémový odběr vody z vrtu (Betuš, et al., 1998).

6. Pažnicová pata

Když se vrt osazuje pažnicovou kolonou je důležité, aby byla osazena pažnicovou patou. „Řídící a technická kolona bývá obvykle opatřena řeznou patou, která má dole ostrou hranu seřezávající nerovnosti ze stěn vrtu.“(Pražský and Jedlička 1969). Při zapouštění delších technických kolon se, ale volí vodící pata (viz obrázek 12), která klouže po stěnách vrtu a lépe splní svůj účel (Pražský, et al., 1969). Kolona, která se bude cementovat, se osazuje cementační patou, která je podobná vodící patě, avšak s tím rozdílem, že je v ní instalován zpětný ventil (viz obrázek 12), který má za úkol bránit vstupu výplachu do kolony při jejím zapouštění do vrtu a také má zamezit vracení cementové směsi do pažnic po dokončení cementace (Klempa, et al., 2011).



Obrázek 12 - nalevo - pažnicová pata (vodící), napravo - pažnicová pata se zpětným ventilem, (zdroj: Technika a technologie hlubinného vrtání, Masaryková univerzita, 2011 <http://geologie.vsb.cz/TECHHLDOB/hlubinneVrtani/vrtani/cementaceVrtu.html>)

7. Spoje zárubnic

Spoje zárubnic nebo filtrů a zárubnic jsou neodmyslitelnou součástí výstroje, jelikož by bylo velice nepraktické a skoro neproveditelné vystrojovat hluboké vrty např. zárubnicemi o délce 200 m. Proto se obvykle vyrábí zárubnice v délkách 3-6 m, tak aby byly funkční a jejich aplikace jednoduchá. K tomu všemu je ovšem potřeba spojů, které budou splňovat požadavky na pevnost (odolnost vůči tlaku), hermetičnost, hladkost vnitřní stěny, minimalizaci vnějšího průměru, snadnou instalaci a nízké náklady (Company, 1990).

Havárie výstrojí jsou z 90 % způsobeny spoji, proto je této části výstroje věnována velká pozornost (Hansen, 2014).

Spoje můžeme rozdělit do několika skupin. Existují závitové spoje, které se dále dělí podle provedení závitů. Používají se také spoje bez závitů, to jsou např. spoje hrdlové, objímkové, svařované, přírubové atd. Dělí se podle tvaru trubek na: hrdlové spojení, spojnicové spojení, nátrubkové spojení (někdy též objímkové), (Klempa, et al., 2011). Mezi starší typy spojů patří např. spoje šroubem nebo nýtem. Tyto spoje se projeví jako nevhodné, jelikož na šrouby a nýty v důsledku tíhy zárubnic působí střížné napětí a též není dosaženo hladkosti vnitřních stěn. Díky tomu může dojít k poškození čerpací techniky a ostatních zařízení zapouštěných do vrtu (Podhorský, 1963).

7.1. Typy spojů

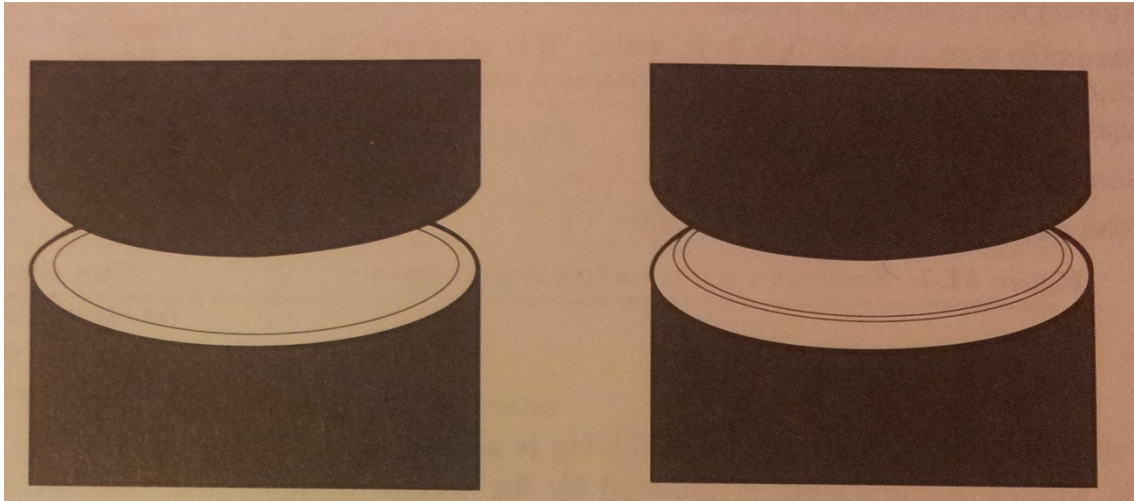
Spoje tvoří několik kategorií: svařované, závitové a ostatní např. příruby a jiné (Company, 1990).

7.1.1. Svařované spoje

Svařované spoje spojují dva stejné materiály, nelze kombinovat např. kovy a plasty nebo běžnou ocel a nerezovou ocel (vlivem odlišné vodivosti může dojít k poškození výstroje). Lze svařovat kovové zárubnice a též se dají svařovat i plastové, ovšem jiným způsobem (Company, 1990).

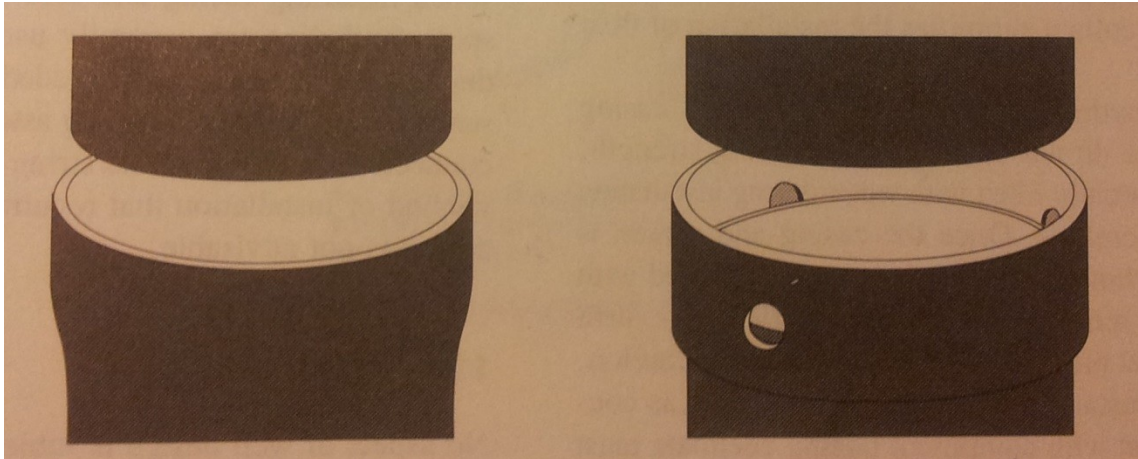
Stykově svarné spojení (viz obrázek 13) využívá tupého svaru, určeno pro kovové materiály (Hlavatý, 2014). U zárubnic se silou stěny do cca 5 mm je svařování

bezproblémové. U větších šířek stěn musíme stěnu zkosit a tím dosáhneme svaru typu „V“ nebo „Y“. Účelem je, aby svar spojoval co největší plochu. Výhodou tohoto typu je úspornost nákladů a hladkost zárubnic (výhoda při montáži.). Nevýhodami jsou časová náročnost (doba svařování a dosažení vertikální rovnosti u celé výstroje), náchylnost místa svaru ke korozi, nemožnost demontáže a opětovné montáže (Company, 1990).



Obrázek 13 - stykově svárné spojení, nalevo rovná styčná plocha, napravo zkosená styčná plocha, (zdroj: Handbook of ground water development, Roscoe Moss Company, 1990)

Hrdlový spoj a spoj pomoci límce (viz obrázek 14), lze označit za prakticky stejné. U obou typů se využívá přeplátovaný svar, určeno pro kovové materiály (Hlavatý, 2014). Jsou výhodnější než stykově svárné spojení, jelikož přeplátovaný svar je jednodušší než svar tupý a zároveň se zde naskytuje možnost demontáže, kdy se svar uřízne ve vrchní části hrdla nebo límce, aniž bychom poškodili původní koncové plochy trubek. Při správném provedení límcového spoje dosáhneme větší odolnosti vůči tahu než má samotná zárubnice. Nevýhodou je opět časová náročnost pro dobu svařování a dosažení vertikální rovnosti u celé výstroje (Company, 1990).



Obrázek 14 - Hrdlový spoj nalevo a límčový spoj napravo, (zdroj: Handbook of groundwater development, Roscoe Moss Company, 1990)

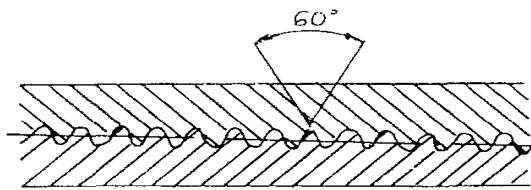
7.1.2. Závitové spoje

Závitové spoje se vyrábějí v různých modifikacích; existuje několik kritérií pro jejich dělení. Rozlišujeme tvar závitu, jeho rozměry, počet závitu, atd. Používají se normované spoje API, Buttress, Extreme-line a Omega (viz obrázky 15,16,17,18). Existují i jiné závitové spoje (Klempa, et al., 2011).

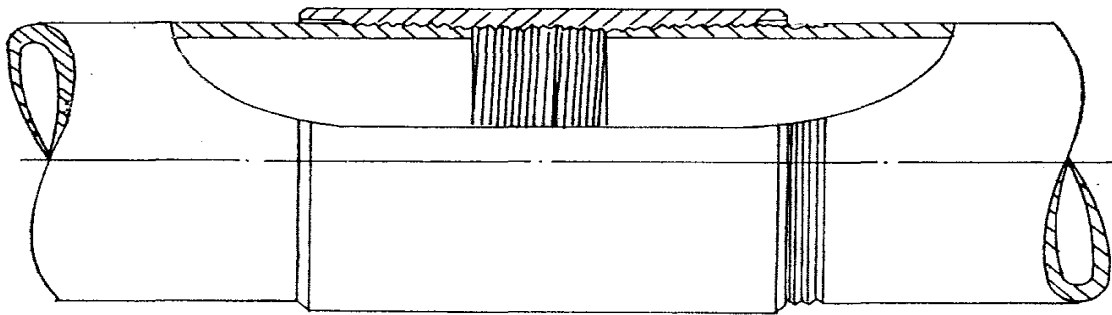
Pro dosažení těsnosti je důležité správně sešroubovat zárubnice dohromady a zároveň je utáhnout momentovým klíčem na určitý odtahový moment. „Podle normy API Bull.5C1 vyhovuje s dostatečnou přesností krouticí moment odvozený od únosnosti závitového spoje dané zárubnicové trubky empirickým výrazem

$$M_k = 0,305 \times \left(\frac{Q_z}{100} \right) [Nm]$$

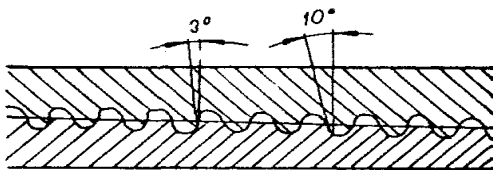
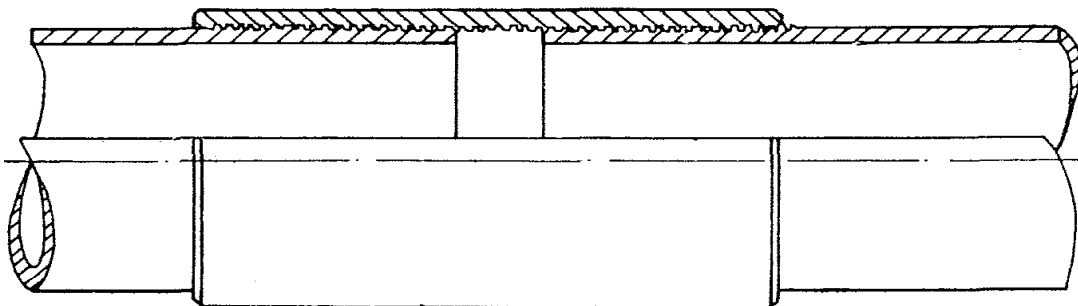
kde, Q_z – únosnost závitového spoje dané trubky (Klempa, et al., 2011).



8 chodů / 1"	
4 1/2" - 20"	1 : 16 oblý
18 5/8"	1 : 16 hrot
21 1/2"	
24 1/2"	

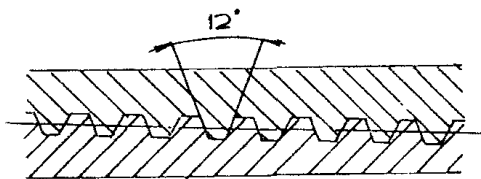
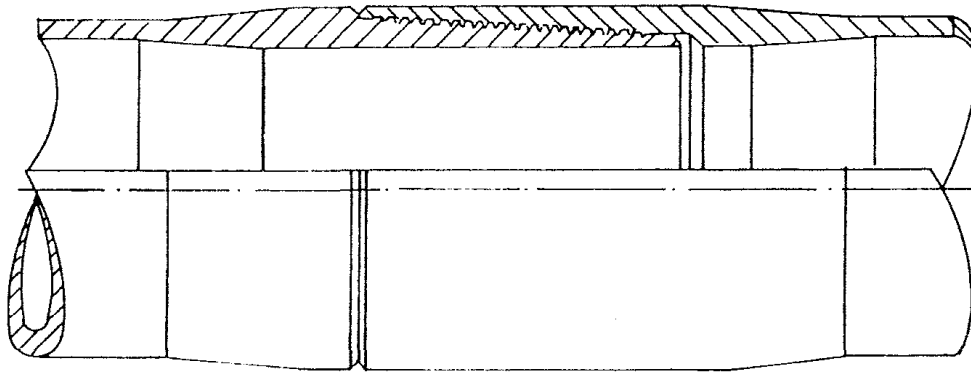


Obrázek 15 - závitový spoj API, (zdroj: Technika a technologie hlubinného vrtání, Masaryková univerzita 2011, <http://geologie.vsb.cz/TECHHLDOB/hlubinneVrtani/vrtani/paznicovaKolona.html#h32>)



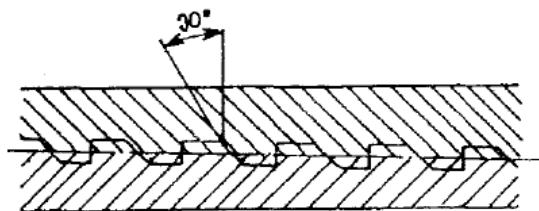
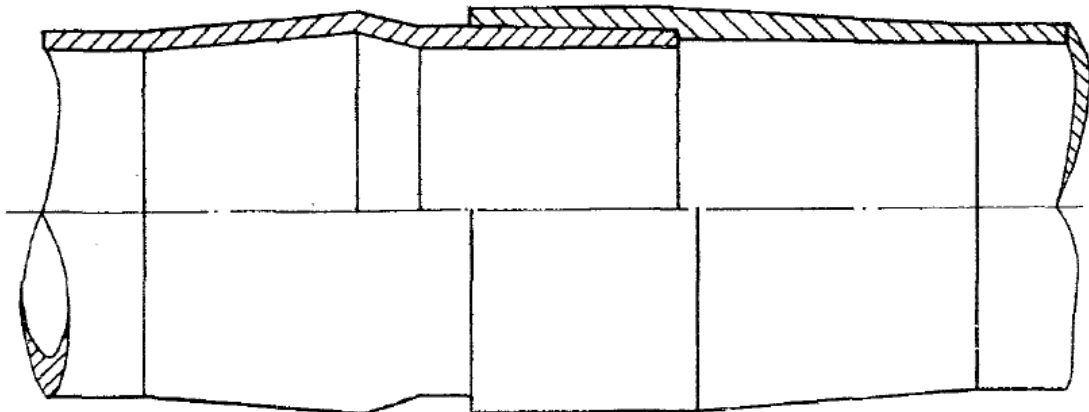
4 1/2" - 10 3/4"	5 chodů/palec	1 : 16
------------------	---------------	--------

Obrázek 16 - závitový spoj Buttress, (zdroj: Technika a technologie hlubinného vrtání, Masaryková univerzita 2011, <http://geologie.vsb.cz/TECHHLDOB/hlubinneVrtani/vrtani/paznicovaKolona.html#h32>)



4 1/2" – 7 5/8"	6 chodů/palec	1 : 8
8 5/8" – 10 3/4"	5 chodů/palec	1 : 9,6

Obrázek 17 - závitový spoj Extreme - line, (zdroj: Technika a technologie hlubinného vrtání, Masaryková univerzita 2011, <http://geologie.vsb.cz/TECHHLDOB/hlubinneVrtani/vrtani/paznicovaKolona.html#h32>)



4 1/2" – 9 5/8"	4 chody/palec	1 : 10
-----------------	---------------	--------

Obrázek 18, závitový spoj Omega, (zdroj: Technika a technologie hlubinného vrtání, Masaryková univerzita 2011, <http://geologie.vsb.cz/TECHHLDOB/hlubinneVrtani/vrtani/paznicovaKolona.html#h32>)

Závitové spoje se běžně používají ve vrtech s menším průměrem; ve vrtech s průměrem nad 300 mm nejsou obecně dostupné. Náklady se zvyšují s průměrem výstroje. Vyrábí se tak, že závity jsou vyřezávány do materiálu potrubí, aby po sešroubování bylo uvnitř potrubí hladké. Závitové spoje se používají u železného i plastového materiálu (Company, 1990). Nároky jsou kladeny na pevnost v tahu a na minimální mez kluzu. Cílem je dosáhnout spojů, které i po delším čase neztratí na kvalitě a splní svůj účel (Klempa, et al., 2011).

7.1.3. Ostatní spoje

Mezi ostatní spoje se dají zařadit přírubové spoje, které se využívají především pro dva různé materiály, které se nedají spojit ani závitem ani svarem. Do této kategorie se též řadí spoje pomocí objímek, lepené spoje (plastové zárubnice) nebo spoj typu Nolco. *"Spojení Nolco se vyznačuje tím, že konec trouby s půlkulovým lemem se zasune do konce druhé trouby s rozšířeným průměrem a spoj se zatemuje."* (Podhorský, 1963) Kameninové a keramické zárubnice se spojují buď objímkami, které se utemují nebo zalijí pojídlem např. pryskyřici (Podhorský, 1963).

V Česku se v dnešní době používají prakticky pouze závitové spoje, díky své spolehlivosti a jednoduchosti (Datel, 2014).

8. Těsnění vrtu

Kolona vrtu je namáhána různými silami. Tyto síly se mění s délkou kolony. Mezi ně se řadí např.: tlak okolní horniny, působení vlastní tíhy, síly technologického původu. To jsou důvody, proč těsníme vrt. Zároveň je důležité zamezit komunikaci navrtaných vrstev mezi sebou a povrchem. Chráníme tím kvalitu vody ve vrtu. Těsnit můžeme např.: cementací, jílovým materiálem, obturátory nebo vtlačení pažnic do měkkých, plastických hornin (Betuš, et al., 1998). Nejpoužívanější je cementace, jelikož její životnost je dlouhá a prakticky je vhodná do každých podmínek. Uzávěry mechanické, nebo-li obturátory, jsou využívány spíše pro dočasné účely. Ostatní metody jsou méně používané, jelikož se hodí jen pro těsnění vrtu v určitých podmínkách. Při pořizování vrtu patří etapa těsnění k nejdůležitějším (Pražský, et al., 1969).

8.1. Uzávěry

Uzávěry nebo též obturátory, pakry. Toto zařízení slouží k vodotěsnému uzavření určité části vrtu. Někdy slouží k utěsnění některých kolektorů a někdy k jejich dokonalému podchycení pro jímání vody a k zabránění nežádoucích úniků vody do dalších vrstev. Jejich použití je většinou dočasné a někdy slouží též k čerpacím zkouškám. Široké využití mají uzávěry nejen v hydrogeologii, ale i balneologii a stavební geologii. Uzávěry jsou konstruovány z různého materiálu a fungují na rozličných principech, ale hlavním účelem všech je utěsnit co nejdokonaleji meziprostor mezi stěnou vrtu a výstrojí (pažnice, zárubnice). Jako příklad se dají uvést pryžové (viz obrázek 19), ječmenové, jílové a jiné uzávěry (Pšross and Pšross 1971).



Obrázek 19 - Pryžový uzávěr, (zdroj: <http://rockwill.tradeget.com/F57738/packers.html>, 2011)

8.2. Cementace vrtu

Ke správnému fungování vrtu je velice důležité utěsnění provrtané vrstvy. *“Izolaci vrstev chceme dosáhnout nejen utěsnění vrtu, ale též zabránit jakékoliv komunikaci mezi navzájem provrtanými vrstvami a povrchem přes mezikruží vrtu.”* (Betuš and Pinka 1998) Pojem „cementace“ se vžil, jelikož se k těsnění používá ve velké míře cementu, avšak novější pojem tamponáž je vhodnější, jelikož se aplikují i jiné materiály nebo směsi cementu (Klempa, et al., 2011). Cementace má za úkol:

- předejít zavalení stěn ve vrtu,
- chránit pažnice před hydrostatickým přetížením a před korozním působením složek hornin nebo hlubinných vod,
- upevnění kolony pažnic ve vrtu a její zajištění vůči pohybu,
- zabránění migrace kapalin a plynů mezi vrstvami hornin s různým tlakem nebo mezi některou vrstvou a povrchem.

8.3. Vlastnosti cementu

„Vlastnosti provrtávaných hornin mají vliv na kvalitu cementové směsi a tím i na cementaci.“ (Klempa, et al., 2011). Z tohoto důvodu se zkoušely různé materiály a jako nejvhodnější se všeobecně osvědčily anorganické materiály. Představitelem se stal portlandský cement. Vyrábí se z hornin s vysokým obsahem uhličitanu vápenatého (Klempa, et al., 2011). Tyto horniny se spečou při teplotách 1500°C na cementový slínek. Kvalita výsledného cementu je ovlivněna i chladnutím slínku. Je doporučeno do 1250°C chladit pomalu a potom zchladit rapidně rychlostí 18 – 20°C/min. Dalším krokem je mletí a přidání sádry v hmotnostním poměru 1,5 až 3 % (Nelson, 1990). Při mletí se musí dosáhnout určité hrubosti. *„Sítem o 900 otvorech na 1 cm² musí propadnout 98% prášku a sítem o 4900 otvorech na 1 cm² 80% prášku.“* (Pražský, et al., 1969).

Existuje několik klasifikací, které přesně uvádí požadavky a normy pro cementy užívané pro cementaci vrtu. Předpis API Spec 10 A, rozlišuje 8 tříd cementu a označuje je písmeny A až H. Každá třída má jiné vlastnosti a je vhodná pro jiný vrt. Třída A je určena pro použití do hloubek cca 1830 m bez nároku na speciální vlastnosti. Třída B je

určena pro vrty do 1830 m s vyššími koncentracemi síranu. Třída C se užívá ve stejných hloubkách ovšem s nárokem na zvýšenou počáteční pevnost v tlaku. Třída D, od 1830 m do 3050 m je vhodná pro vrty se středně vysokými hodnotami tlaku a teploty. Třída E, od 3000 m do 4270 m vhodná pro vrty s vysokými tlaky i teplotami. Třída F, od 3050 m do 4880 m, je vhodná pro extrémní tlaky a teploty. Třída G a H, do 2440 m, vhodná pro velkou škálu tlaku i hloubek a pro vrty s vysokými koncentracemi síranu (King 2014); (Hewlett 2003). Obvykle se nejvíc užívá tříd A a C. Existuje i klasifikace podle ASTM (American Society for Testing Materials), která klasifikovala cementační směsi do tříd označených římskými čísly od I do V. Třídy I, II, III podle ASTM jsou prakticky totožné s třídami A, B, C podle klasifikace API. Třída IV je specifická pro vrty, kde je potřeba nízká teplota hydratace. Třída V je specifická odolností vůči vysokým koncentracím síranu (ASTM 2014). Kritéria pro volbu určité třídy jsou ovlivněny hloubkou vrtu, teplotou ve vrtu, přítomností síranu, apod (Company, 1990).

Tuhnutí a tvrdnutí cementové směsi je složitý chemicko-fyzikální proces. Jeho průběh se prakticky může rozdělit na tři období:

1. tekuté – doba čerpatelnosti,
2. rosolovitě – doba tuhnutí,
3. pevné – doba tvrdnutí

(Pražský, et al., 1969).

„Měrná hmota cementového prášku je 3,05 až 3,2 g/cm³, průměrně lze počítat s hodnotou 3,15 g/cm³.“(Pražský and Jedlička 1969). Obvykle se pro těsnicí a izolační práce používá tzv. 50% směsi, tj.

Váhově: 1 kg cementu + 0,5 kg vody = 1,5 kg směsi.

Objemově: 0,318 l cementu + 0,5 l vody = 0,818 l směsi

(Pražský, et al., 1969).

Z čehož vychází měrná hmota směsi γ_c :

$$\gamma_c = \frac{1,5 \text{ kg}}{0,818 \text{ l}} = 1,835 \text{ kg/l}$$

Užívá se i jiných poměrů než 50%. V ropném průmyslu je to často 40% (Pražský, et al., 1969). API spec 10 A uvádí pro každou třídu nejvhodnější množství vody (%) pro vytvoření cementační směsi. Toto množství se pohybuje od 38% do 56% (Lyons, et al., 2011).

8.4. Aditiva

Jelikož portlandský cement je spíše vhodný pro pozemní stavby, je někdy zapotřebí jeho vlastnosti trochu upravit, aby vyhovovaly podmínkám ve vrtu. Proto se používají aditiva, která se aplikují v koncentracích od setin až po jednotky % (Klempa, et al., 2011). Úkolem aditiv je např. urychlit nebo zpomalit tuhnutí cementu. Pro úpravu měrné hmotnosti se používají zatěžkávadla nebo odlehčovadla, atd (Pražský, et al., 1969).

Zatěžkávadla se používají tam, kde se vyskytují vysoké tlaky v napjatých kolektorech a je tam riziko, že by lehké těsnění mohly vyrazit (Datel, 2014). „*Jako zatěžkávadlo se osvědčil jemně mletý baryt nebo ferofosfor.*“ (Pražský, et al., 1969). Odlehčovadla se užívají u hlubokých vrtů, kde je potřeba zmenšit tlak na výstroj (Datel, 2014). „*Jako odlehčovadel se užívá bentonitu, puzzolánů, expandovaného perlitu, emulgovaného petroleje nebo nafty, apod.*“ (Pražský, et al., 1969).

Jako urychlovače tuhnutí se používají např. chlorid vápenatý, chlorid sodný, kyselina sírová, kyselina solná, vodní sklo nebo sádra (Pražský, et al., 1969).

8.5. Příprava vrtu na cementaci

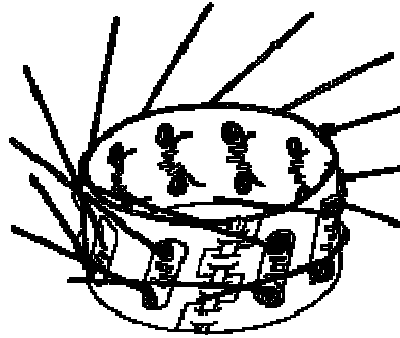
„*K základním informacím o stavu vrtu a jeho průběhu patří výsledek kavernometrického a inklinometrického měření.*“ (Klempa, et al., 2011). Kavernometrické měření nám poskytuje informace důležité pro objemovou cementovou bilanci. Inklinometrický záznam je důležitý pro rozmístění centrátorů (Klempa, et al., 2011).

„Centrické umístění pažnicové kolony v křivém vrtu je jednou z podmínek kvalitní cementace, které umožňují rovnoměrné zaplnění mezikruží cementovou suspenzí.“ (Klempa, et al., 2011).



Obrázek 20 - centrator, (zdroj: Drilling contractor, <http://www.drillingcontractor.org/new-swellable-system-seals-microannular-voids-centralizes-pipe-3943>, 2014)

Škrabadla nebo turbulizéry (viz obrázek 21) mají za úkol očistit stěny vrtu před cementací. Je potřeba provést tento úkon, jelikož na zdech je často krusta tvořená výplachem. To by bránilo dokonalému přilnutí cementační směsi ke stěně vrtu a vedlo k nedokonalému utěsnění (Lecourtier and pétrole 1993).



Obrázek 21 - škrabadlo, (zdroj: Technika a technologie hlubinného vrtání, Masaryková univerzita, 2011,

<http://geologie.vsb.cz/TECHHILDOB/hlubinneVrtani/vrtani/cementaceVrtu.html>)

8.6. Technologie cementací

Cementace se provádí jak u zapaženého vrtu tak i u nezapaženého. Podle rozdílnosti technologických metod cementace se dají rozdělit na dvě skupiny:

- Primární cementace – přímé metody.
- Sekundární cementace – slouží pro opravné účely.

(Klempa, et al., 2011).

8.6.1. Primární cementace

„Technologie primární cementace je založena na požadavku kvalitního zaplnění mezikruží cementovou suspenzí.“ (Klempa, et al., 2011). Způsoby cementace jsou rozdílné, klasifikují se podle místa a způsobu vtoku cementové směsi do mezikruží. Jelikož každý vrt poskytuje jiné podmínky, volbu vhodné metody ovlivňují parametry jako hloubka vrtu, hustota výplachu, teplota, apod. (Klempa, et al., 2011).

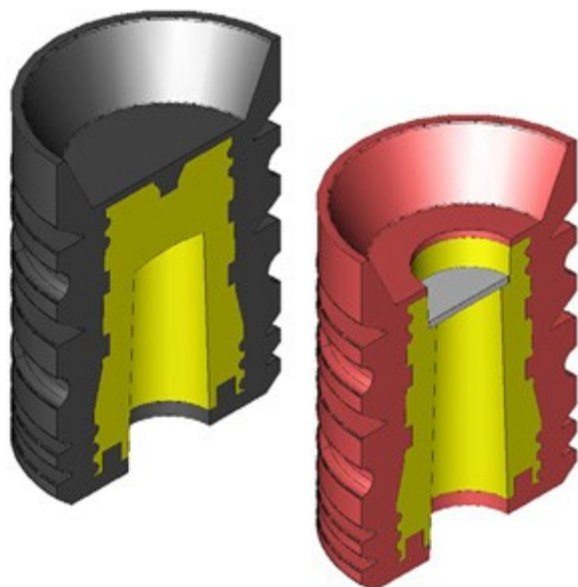
Mezi hlavní typy cementací patří:

- Cementace ústím
- Cementace patou
 - Pažnicemi (Perkinsova)

- Trubkami (Scottova)
- Cementace oknem.

Cementace ústím se provádí tak, že před zapuštěním pažnic se do vrtu nalije cementová směs nebo v případě zapaženého vrtu se směs lije ústím do prostoru mezikruží. Vhodné pro mělké vrty (Pražský and Jedlička 1969).

Cementace patou odpovídá svému názvu, jelikož je zde nutnost dopravit cementační směs až k patě pomocí pažnic nebo trubek. Poté, co se směs dostane k patě, dochází k cementaci mezikruží. Existují dvě varianty provedení této cementace: jednozátková nebo dvouzátková cementace pažnicemi (podle Perkinse), cementace trubkami (podle Scotta). Při jednozátkové cementaci se do pažnic načerpá cement a poté se vloží cementační zátka, která pod tlakem výplachu projde celou pažnicí až k patě a tím vytlačí všechen cement do mezikruží. Dvouzátková cementace využívá k stejnému výsledku dvou zatek. První zátka na obrázku 21 vpravo vytlačuje čisticí chemikálie. Druhá zátka zobrazena na obrázku 21 vlevo vytlačuje cement. Když první zátka dosedne na cementační patu, membrána uvnitř se pod tlakem cementu protrhne a tak značně proudit cement skrz zátku a patu do prostoru mezi výstrojí a horninou (Nelson, 2014).



Obrázek 4 - Cementační zátky, (zdroj: <http://www.top-co.ca/Products.aspx>)

Cementace trubkami (podle Scotta) se hodí pro dopravu malého množství cementu na velké vzdálenosti (Pražský, et al., 1969). *„Je to umožněno tím, že hlavní vzdálenost, od ústí k patě kolony, urazí cement velmi rychle trubkami malého průměru a že množství výplachu, které je nutno načerpat za cementem, je velmi malé.“* (Pražský and Jedlička 1969).

Při cementaci oknem, cementační směs po načerpání do pažnic nevychází do mezikruží patou, ale otvory ve stěně pažnic. Tím se dosáhne toho, že se zacementuje mezikruží od okna nahoru. Používá se to např. u vrtů s několika zvodněnými vrstvami, kde však chceme využívat pouze 1 určenou vrstvu (Pražský and Jedlička 1969).

8.6.2. Sekundární cementace

„Většinou opravné cementace nebo cementace pro účelové, přípravné práce k dalším operacím.“ (Klempa, et al., 2011). Metoda se užívá např. při ztrátách cementové směsi nebo při docementování mezikruží (Klempa, et al., 2011).

9. Závěr a diskuse

Vystrojování vrtů je složitá činnost o více fázích. Ve výsledku by mělo být dosaženo funkčního vrtu. Toho lze dosáhnout pouze v případě, že každá z fází vystrojování se provede správně a odborně. Vystrojování má v dnešní době charakter manuální práce, což je navíc umocněno potřebou dosáhnout nízkých nákladů. Proto ve vrtných společnostech jsou často zaměstnáváni lidé bez potřebných znalostí nebo vzdělání, jelikož to je považováno za nepotřebné. Jako příklad manuálních prací je např. ruční obsypávání nebo ruční výroba perforace. Takto prováděné práce mají spoustu evidentních nevýhod a jsou v rozporu s touto bakalářskou prací.

Vystrojování vrtů je činnost, kterou vykonává více pracovníků. Tím se zvyšuje riziko výskytu lidské chyby. Z předkládané bakalářské práce je evidentní, že i menší chyba může zapříčinit nefunkčnost vrtu. Například nedotažení závitového spoje mezi zárubnicemi ohrozí vrt tím, že dovnitř se dostanou nečistoty nebo zárubnice visící na tomto spoji se utrhnou. Je to jen jeden příklad poruchy, která mohla být způsobena neznalostí určitých detailů.

Variabilita geologického prostředí je velice široká, a proto každý vrt je jedinečný projekt. Každá výstroj se musí přizpůsobit daným geologickým podmínkám. Avšak výstroj se též musí přizpůsobit využití vrtu. Je rozdíl ve výstroji mezi vrtem určeným pro zásobování vodou rodinného domku a výstrojí pro průmyslový objekt. Tato rozhodnutí činí vždy hydrogeolog, který má k tomu potřebné znalosti a zkušenosti.

Záměrem celé práce bylo seznámit osoby pohybující se v tomto oboru s těmito detaily, riziky a pracovními postupy při vystrojování, aby se zamezilo vzniku chyb a prohloubila se spolupráce mezi hydrogeologem a vrtnou posádkou.

V případě, kdy zainteresované osoby zabývající se touto činností budou obeznámeni s detaily a pracovními postupy, dosáhneme kromě jiných výhod i snížení nákladů na pořízení a provoz vrtu. Je otázkou, zdali počáteční náklady na odborně vystrojený vrt dokáží konkurovat ručnímu vystrojování. Nicméně z předkládané práce je zřejmé, že údržba správně vystrojeného vrtu je mnohem méně nákladnější než v opačném případě.

Dle mého názoru je vystrojování ve fázi, kdy se ustoupí od lehčí manuální práce a přejde se především k odborné výrobě výstroje s potřebnými vlastnostmi a parametry

vhodnými pro určitý vrt. Vrtné posádky pak budou mít za úkol takto vyhotovenou výstroj pouze zkompletovat a spustit do vrtu, čímž se minimalizuje riziko chyby.

Do budoucna je důležité se i nadále zabývat touto tematikou, jelikož kvalitní voda bude vždy potřeba a může jí být v budoucnu méně v důsledku znečišťování lidskou činností. Proto se mohou i požadavky na pevnost, odolnost, a jiné vlastnosti materiálů zvyšovat. Je reálné, že bude potřeba hlubších vrtů a na výstroj budou působit větší vnější síly a agresivnější prostředí. Proto je zde stále prostor pro zlepšování využívaných materiálů. Například pro plnostěnné zárubnice a filtry by se v budoucnu mohly využívat uhlíková vlákna nebo pro filtry se mohou uplatnit nanomateriály. Zatím jsme limitováni především náklady na pořízení těchto materiálů, ale i to se může změnit.

10. Seznam literatury

- ASTM. 2014.** ASTM international. *Standard Specification for Portland Cement*. [Online] 2014. [Citace: 10. Květen 2014.] <http://www.astm.org/Standards/C150.htm>.
- Betuš, Z. and Pinka, J. 1998.** *Hydrogeologické vrty*. s.l. : Štroffek, 1998.
- Company, R. M. 1990.** *Handbook of Ground Water Development*. místo neznámé : Wiley, 1990.
- Datel, Josef. 2014.** *Jimáci objekty*. Praha : autor neznámý, 2014.
- Driscoll, F.G. 1986.** *Groundwater and wells*. místo neznámé : Johnson Division, 1986.
- Hansen, Brad. 2014.** EPA. EPA. [Online] 15. Duben 2014. <http://water.epa.gov/type/groundwater/uic/class2/hydraulicfracturing/upload/productioncasingsdesignconsiderations.pdf>.
- Hewlett, Peter. 2003.** *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*. místo neznámé : Butterworth-Heinemann, 2003.
- Hlavatý, Ivo. 2014.** Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. <http://www.vsb.cz/cs/>. [Online] 2014. <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/3-2.pdf>.
- Jedlička, M. and Kožišek, J. 1981.** *Provozně geologická příručka*. s.l. : SNTL, nakl. technické literatury, 1981.
- King, E. George. 2014.** George E. King consulting. *Free download - Chapter 3: Cementing*. [Online] 2014. http://gekengineering.com/Downloads/Free_Downloads/Cementing_Chapter_3.pdf.
- Klempa, Martin, et al. 2011.** Technika a technologie hlubinného vrtání. *Technika a technologie hlubinného vrtání*. [Online] 2011. [Cited: 4 2, 2014.] <http://geologie.vsb.cz/TECHHLD0B/>.
- Krásný, Jiří, et al. 2012.** *Podzemní vody České republiky*. Praha : Česká geologická služba, 2012.
- Lecourtier, J. 1993.** *Cementing Technology and Procedures*. Paris : Editions TECHNIP, 1993.
- Lyons, William C. and Plisga, Gary J. 2011.** *Standard Handbook of Petroleum and Natural Gas Engineering*. s.l. : Gulf Professional Publishing, 2011.
- Moldan, Bedřich. 1989.** *Životní prostředí České republiky*. Praha : Academia Praha, 1989.
- Mudra, Miroslav. 2007.** *Platněství: výroba zbroje*. místo neznámé : Grada Publishing a.s., 2007.
- Nelson, Erik B. 2014.** Schlumberger. *Well Cementing Fundamentals*. [Online] 2014. [Citace: 3. Srpen 2014.]

http://www.slb.com/resources/publications/oilfield_review/~media/Files/resources/oilfield_review/ors12/sum12/define_cement.ashx.

Nelson, Erik. 1990. *Well cementing*. Sugar land : Newnes, 1990.

NGWA. 2008. National groundwater association. *Virtual Museum of groundwater history*. [Online] 2008. [Citace: 26. duben 2014.] <http://www.ngwa.org/Pages/default.aspx>.

Podhorský, Jiří. 1963. *Jimání a úprava vody*. Praha : SNTL, 1963.

Pražský, Jeroným and Jedlička, Miroslav. 1969. *Technologie jádrového vrtání*. Praha : SNTL, 1969.

Pražský, Jeroným. 1964. *Průzkumný vrt*. Praha : Statní nakladatelství technické literatury, 1964.

Pštross, Miloš and Pštross, Čeněk. 1971. *Domovní a vodárenské studny*. Praha : Nakladatelství technické literatury, 1971.

Sarga, K. 1983. *Technika průzkumných prací*. místo neznámé : UK, 1983.

Zeman, Vojtěch. 1985. *Vrtání na vodu a jimání podzemních vod*. Ostrava : Výsoka škola baňska v Ostravě, 1985.

Мусский [Musckij], Сергей Анатольевич. 2005. *100 великих чудес техники*. 2005.