



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

CENTRUM EXPERIMENTÁLNÍ GEOTECHNIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

„Možnosti využití severočeských bentonitů
ve stavebnictví“

„Potential use of North Bohemian bentonites
in civil engineering“

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Vedoucí práce: Ing. Radek Vašíček, Ph.D.

MICHAEL TŮMA

2016



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: TŮMA Jméno: MICHAEL Osobní číslo: 410954

Zadávající katedra: Centrum experimentální geotechniky - K 220

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Možnosti využití severočeských bentonitů ve stavebnictví

Název bakalářské práce anglicky: Potential use of North Bohemian bentonites in civil engineering

Pokyny pro vypracování:

Přehled průmyslově produkovaných severočeských bentonitů

Přehled současného průmyslového využití bentonitů ve stavebnictví

Požadavky kladené na materiál dle jednotlivých aplikací

Reprezentativní laboratorní zkoušky vybraných severočeských bentonitů

Zhodnocení využitelnosti

Seznam doporučené literatury:

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Radek Vašíček, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 3.3.2016 Termín odevzdání bakalářské práce: 22.5.2016

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutně uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Možnosti využití severočeských bentonitů ve stavebnictví“ vypracoval samostatně s přispěním vedoucího bakalářské práce, poskytnutých konzultací a s použitím uvedené literatury v závěru této práce.

V Praze, dne

podpis

MICHAEL TŮMA

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Radku Vašíčkovi, Ph.D. za vedení při zpracovávání této bakalářské práce a za jeho cenné rady a zkušenosti, které mi předal. Dále bych rád poděkoval Ing. Lucii Hausmannové za poskytnuté konzultace a informace pro zpracování bakalářské práce. Poslední poděkování je Centru experimentální geotechniky, které bylo nedílnou součástí a místem pro vypracování experimentální části této práce.

ABSTRAKT

Tato práce řeší využití severočeských bentonitů do aplikací ve stavebnictví. Cílem této práce je zjistit, jestli jsou tyto bentonity vhodné pro použití ve stavebnictví a zároveň konkurence schopné v praxi. Na dnešním stavebním trhu je velké množství druhů bentonitů a směsí z bentonitů, ale většina těchto materiálů je dovážena ze zahraničních ložisek. V případě produktů a směsí z bentonitu jsou překupovány výrobky ze zahraničí a v ČR aplikovány.

Byla provedena analýza jednotlivých způsobů využití bentonitu ve stavebnictví. Pro jednotlivé aplikace jsou rozdílné požadavky na jeho vlastnosti. Tato práce se zaměřuje na výběr nejdůležitějších fyzikálních a hydrofyzikálních vlastností bentonitu a jejich hodnocení pro použití ve vybraných aplikacích. Pro tuto práci byly vybrány reprezentativní bentonity od největšího dodavatele v ČR Keramost a.s.: Sabenil, Bentonit 75, Bentonit GA, Bentonit GAE a bentonitový recyklát. Aplikace pro stavebnictví, které se v této práci posuzují: pažení podzemních stěn, pažení vrtů pilot, těsnění vrtaných studní, bentonitové rohože, pásy a konstrukce hlubinného úložiště.

Porovnáním požadavků pro aplikace se zjištěnými parametry je ověřena vhodnost severočeských bentonitů pro stavebnictví.

Podrobné výsledky jsou popsány v závěru této práce. Každý způsob využití bentonitu má specifické požadavky a technologické procesy při provádění. Z těchto důvodů lze upravovat vlastnosti bentonitu lisováním do formy prefabrikovaných tvárnic nebo pelet. Další možností úpravy parametrů bentonitu je přidáním aditiv. V rámci této práce nebyly vlastnosti bentonitu upravovány aditivami.

Klíčová slova: bentonit, hydraulická vodivost, bobtnací tlak, aktivace, viskozita, objemová hmotnost, stavebnictví, výplach, těsnění, inženýrská bariéra

ABSTRACT

The bachelor thesis is focused on applicability and competitive ability of North Bohemian bentonites in civil engineering. Nowadays many types of bentonites and mixtures based on bentonites are used by Czech construction companies but almost all of these materials are imported from foreign deposits.

The first part of this work is a research study of the various ways of using bentonite in construction. Following experimental part is oriented on several construction applications: support of diaphragm walls, support of pile's boreholes, sealing of drilled wells, bentonites mats and stripes and engineered barrier in the deep geological repository. For each application are different requirements for materials properties. This work focuses on the selected physical and hydro-physical properties of bentonite and their evaluation for use in certain applications.

For the experimental part were chosen representative bentonites (Sabenil, Bentonite 75 Bentonite GA and GAE) from the largest bentonite supplier in the Czech Republic Keramost Inc. No additives were used.

The evaluated results of key parameters of selected bentonites were compared to the requirements for the applications; it determines the suitability of the North Bohemian bentonite for civil engineering. Detailed evaluation for each application is described in the conclusion part.

Key words: bentonite, hydraulic conductivity, swelling pressure, activation, viscosity Marsh, density, civil engineering, drilling fluid, seal, engineered barrier

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Charakteristika bentonitu.....	1
1.2	Struktura montmorillonitu	1
1.3	Rozdělení bentonitů	2
1.4	Historie	2
1.5	Ložiska bentonitu v ČR.....	3
1.6	Využití bentonitu	3
2	Vybrané aplikace bentonitu ve stavebnictví	5
2.1	Pažení podzemních stěn.....	5
2.2	Pažení vrtů pilot	6
2.3	Těsnění vrtaných studní	7
2.4	Bentonitové rohože	8
2.5	Bentonitové těsnící pásy	9
2.6	Konstrukce hlubinného úložiště.....	10
2.6.1	Buffer	11
2.6.2	Backfill	11
3	Požadavky na vlastnosti bentonitu podle jednotlivých aplikací ve stavebnictví ...	13
3.1	Pažení podzemních stěn.....	13
3.2	Pažení vrtů pilot	13
3.3	Těsnění vrtaných studní	14
3.4	Bentonitové rohože	14
3.5	Konstrukce hlubinného úložiště.....	15
3.5.1	Buffer	15
3.5.2	Backfill	15

4	Přehled vybraných přísad (aditiv) do bentonitových suspenzí.....	16
5	Experimentální část	17
5.1	Přehled vybraných severočeských bentonitů	17
5.2	Základní fyzikální a hydrofyzikální vlastnosti bentonitu	18
5.2.1	Objemová hmotnost přirozeně vlhkého vzorku.....	18
5.2.2	Objemová hmotnost vysušeného vzorku	18
5.2.3	Hmotnostní vlhkost	19
5.2.4	Filtrace a filtrační koláč.....	19
5.2.5	Viskozita Marsh.....	20
5.2.6	Stanovení pH.....	21
5.2.7	Hydraulická vodivost a bobtnací tlak.....	21
5.2.8	Zrnitostní rozbor	23
5.3	Výsledky měření.....	25
5.3.1	Bentonitové suspenze	25
5.3.2	Bentonitové těsnění	27
5.3.3	Bentonitové rohože	28
5.3.4	Stříkaný backfill	28
6	Porovnání parametrů bentonitů podle aplikací ve stavebnictví	31
6.1	Bentonitové suspenze	31
6.2	Bentonitové těsnění	33
7	Závěr	35
	Seznam literatury	36
	Seznam obrázků	38
	Seznam grafů	39
	Seznam tabulek	39

1 Úvod

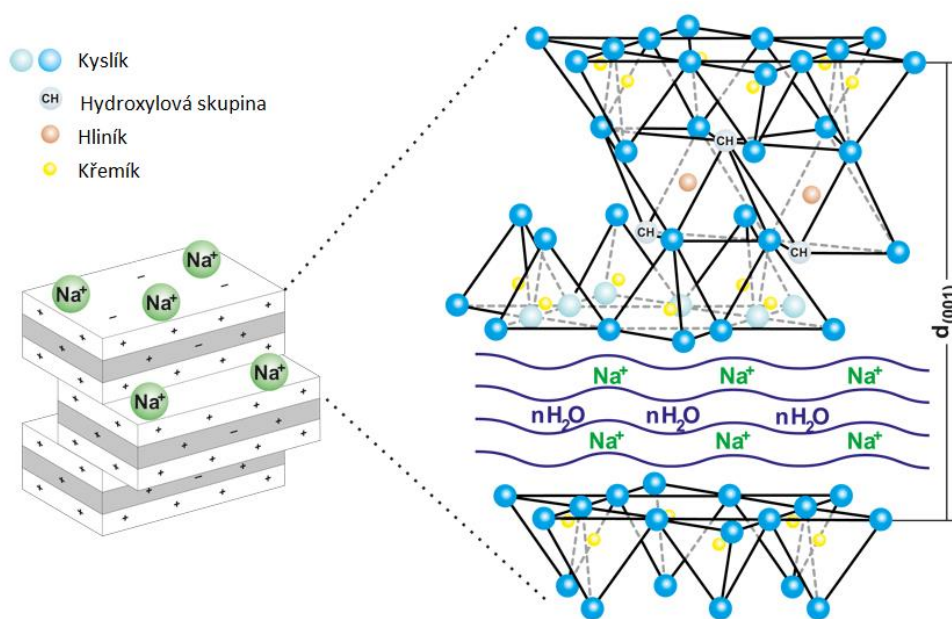
Tato práce byla vypracována na základě porovnání vlastností severočeských bentonitů s požadavky na materiál podle aplikací. Pro jejich možné využití ve stavebnictví a konkurenceschopnosti s dováženými bentonity ze zahraničí.

1.1 Charakteristika bentonitu

Bentonit je jílová zemina, která se vyznačuje nízkou propustností, mohutnou sorpční schopností, bobtnáním a plastičností. Základním minerálem jsou montmorillonity, které jsou nositelem těchto vlastností. Chemické a minerální složení bentonitu je velmi proměnlivé. Bentonity vznikly mechanickým a chemickým zvětráváním matečné horniny, především sopečných tufů, tufitů a jiných třetihorních hornin. Obsah montmorillonitu výrazně ovlivňuje vlastnosti bentonitů. (Chváta, 1995)

1.2 Struktura montmorillonitu

Montmorillonity se skládají z dioktaedrických a tetraedrických vrstev a mezivrstevního prostoru, kde se nachází nenasycené náboje okolních vrstev. Na tyto náboje se vážou výměnné kationty K^+ , Na^+ , Ca^{2+} a Mg^{2+} . Na Obr. 1 je mikrostruktura bentonitu se sodným kationtem. Rychlost těchto procesů závisí na struktuře materiálu.



Obr. 1 – Struktura montmorillonitu (inzyneria.com)

Sorpční schopnosti souvisí se schopností výměny kationtů. Jde o schopnost materiálu vázat do své struktury živiny a vodu. Voda může být ve struktuře vázaná ve formě molekul H₂O. Voda se může nacházet v pórech mezi zrny zeminy, anebo je spolu s kationty v mezivrstevních prostorech. (*Weiss a Kužvart 2005*)

1.3 Rozdělení bentonitů

Silně bobtnavé - sodné bentonity, tzv. bentonity wyomingského typu. Ložiska této suroviny se nacházejí především v USA, ČR ložiska sodných bentonitů nemá.

Méně bobtnavé - draselné, vápenaté a hořečnaté bentonity případně jejich kombinace. Tyto bentonity lze průmyslově obohacovat sodíkem tzv. aktivací¹. Bobtnací schopnosti aktivovaných bentonitů však stále nedosáhnou takové hodnoty jako u Wyomingu. (*Chváta, 1995*)

1.4 Historie

Historie bentonitu začíná v 19. století. V roce 1881 byla nalezena první ložiska v USA u Fort Bentonu. Podle tohoto ložiska získala hornina název bentonit. První použití bentonitu bylo ve Velké Británii, kde sloužil pro odbarvování jedlých tuků a olejů. Další ložiska byla objevena ve Spojených státech i v Evropě. Největší rozvoj využití bentonitu nastal až ve 20. století, kdy se bentonit začal využívat v oborech jako např.: slévárenství, stavebnictví, keramickém, chemickém i potravinářském průmyslu nebo pro čištění odpadních vod atd. (*Chváta, 1995*)

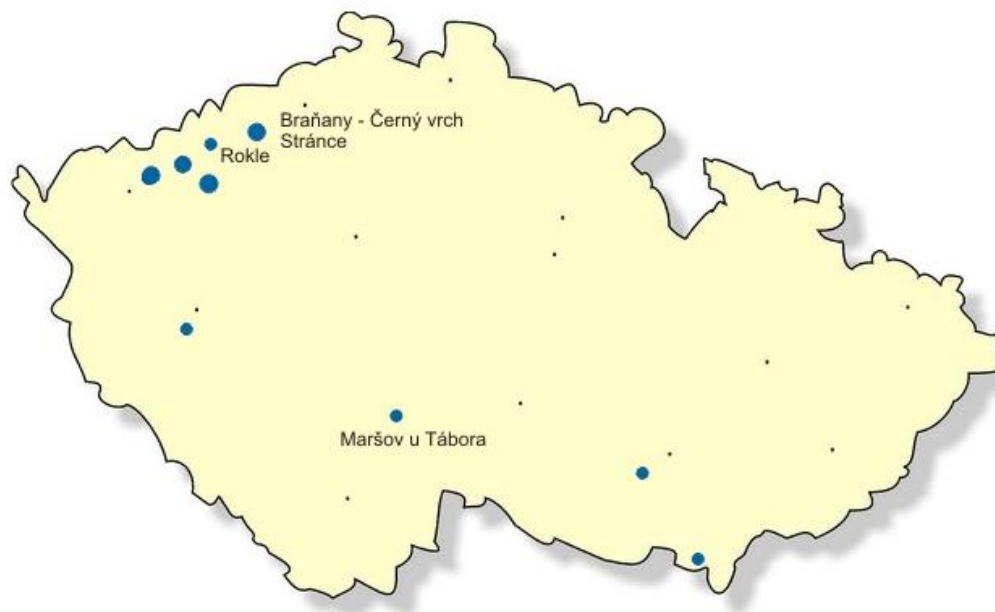
Na českém území bylo první ložisko nalezeno nedaleko obce Braňany u Mostu v roce 1941. V roce 1953 se otevřelo další naleziště bentonitu v nedalekých Libkovicích. Společně s těžbou se zde začal budovat také provoz na zpracování. Dnes už obec neexistuje, byla zlikvidována v letech 1990 - 1993 v důsledku postupu státního podniku Doly Hlubina při těžbě hnědého uhlí. Fungovala do roku 1969, kdy ji nahradil provoz Obrnice. Druhým nalezeným ložiskem byl Černý vrch. (*Chváta, 1995*)

¹ Aktivace bentonitu - proces, kdy se výměnné kationty (které se nacházejí v mezivrstevním prostoru) zamění za vybrané kationty z prostředí

1.5 Ložiska bentonitu v ČR

Česká republika se řadí mezi státy s poměrně velkými zásobami bentonitu. Nacházejí se zde převážně bentonity hořečnaté - vápenaté nebo vápenaté - hořečnaté.

Většina ložisek bentonitu se nachází ve vulkanické oblasti severních Čech v Českém Středohoří, oblasti Doupovských hor a oblastech třetihorních pánví (Obr. 2).



Obr. 2 – Ložiska bentonitu v ČR (geologie.vsb.cz)

Jedním z nejdůležitějších ložisek je Rokle na Kadaňsku, kde je největší zásoba kvalitního bentonitu (cca 44 mil tun) v ČR. Těží se zde povrchovým jámovým lomem. Při současné spotřebě by mělo ložisko vydržet dalších 500 let. (Chváta, 1995)

1.6 Využití bentonitu

Bentonit se využívá v různých průmyslových odvětvích např.: ve slévárenství jako základní pojivo pro formovací směsi. Slévárenství je největším odběratelem bentonitu. Dále se využívá při čištění odpadních vod jako sorbentu ropných nečistot, těžkých kovů, barvicích pigmentů atd. V rostlinné výrobě se bentonit využívá při kompostování a zúrodnování příliš propustných (písečných) půd. V protipožární ochraně se využívá bentonitů v hasicích zásypech pro likvidaci lesních požárů a také při stavbě důlních protipožárních příček. Živočišná výroba využívá bentonitů např. jako pojiva při výrobě granulovaných krmiv. Pro domácí chovatelství se vyrábí z bentonitu hygienická

podestýlka, určená k sorpci zvířecích exkrementů (tzv. kočkolity). Potravinářství využívá bentonitů pro čištění, odbarvování a stabilizaci rostlinných a živočišných tuků a olejů. V posledních několika desetiletích se ve světě i v ČR navíc zkoumá možnost využití bentonitů jako účinné bariéry při ukládání radioaktivního odpadu. (*Chváta, 1995*)

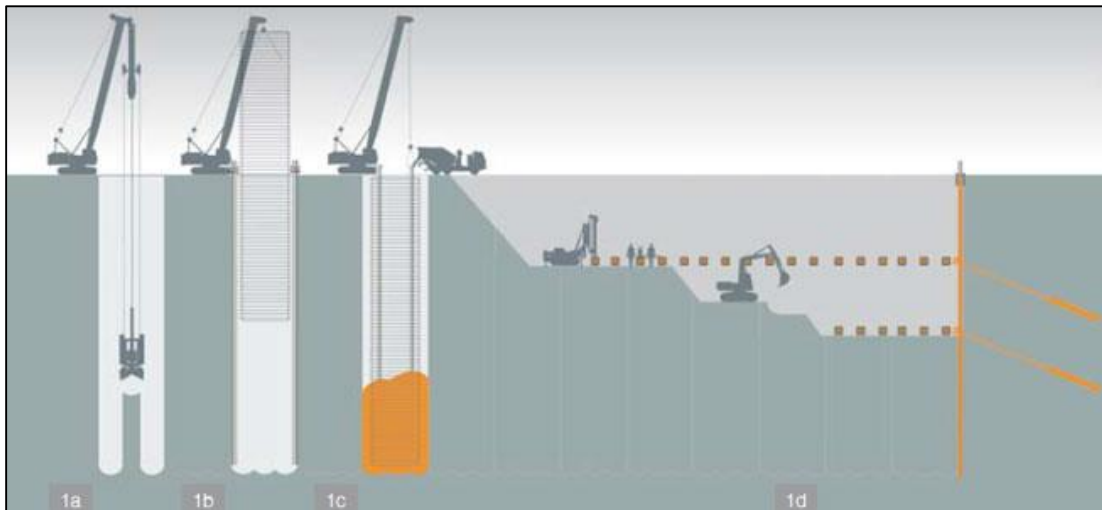
2 Vybrané aplikace bentonitu ve stavebnictví

Stavebnictví využívá bentonitů kvůli jejich specifickým vlastnostem jako je bobtnací tlak, nepropustnost a těsnící účinky. Tyto parametry jsou využity při sanaci a výstavbě nádrží, vodních děl a skládek. Dále stavební bentonity využíváme jako suspenze pro provádění podzemních stěn, vrtných prací a při hlubinném zakládání pro zpevnění nestabilního podloží. Vlastností bentonitu je využito také jako těsnící zásyp při studnařských pracích. Z bentonitu se vyrábí i produkty na bázi bentonitu jako bentonitové rohože a těsnící pásy. Specifické vlastnosti těchto bentonitů umožňují využití dále jako plastifikační přísada pastovitých hmot, omítek, malt a betonů.

2.1 Pažení podzemních stěn

Realizace podzemních stěn začíná vybudováním vodících zídek. Ty zajišťují její přesnou polohu. Poskytují oporu pro hloubení a osazování prvků do rýhy. Při těžbě slouží jako zásobní prostor pro pažící suspenzi. Těžba probíhá pod ochrannou pažící suspenze. Pažící suspenze je obvykle jílová a plní funkci hydraulického pažení stěn rýhy a zajišťuje její stabilitu. Rýha podzemní stěny se hloubí hydraulickým nebo lanovým drapákem. Podzemní stěna je hloubena po lamelách šířky převážně do 7 m. Vodotěsnost spár mezi jednotlivými lamelami je zajišťována těsnícími pásy, které jsou navlečeny do ocelových pažnic tvořících bednění pracovní spáry (tzv. waterstop). Postup realizace podzemní stěny monolitické je popsáno a zobrazeno na Obr. 3.

Technologický postup provádění kotvené monolitické podzemní stěny:
1a) Těžba jednotlivých záběrů a hrázky drapákem pod ochranou pažící suspenze
1b) Do vytěžené rýhy je postupně osazen armokoš a zámkové pažnice s těsnicími pásy
1c) Betonáž lamely podzemní stěny probíhá odzola pomocí kolon betonářských rour
1d) Po zatvrdnutí vyrobených podzemních stěn je lze postupně odkopat a zakotvit po kotevních úrovních až na úroveň definitivního výkopu. (Zakládání staveb a.s., 2016)



Obr. 3 – Technologický postup (Zakládání staveb a.s.)

Bentonitová suspenze se musí připravit z přírodního nebo z aktivovaného sodného bentonitu. V určitých případech je možné vlastnosti suspenze upravit aditivy, která jsou popsána dále v této bakalářské práci. V běžných podmínkách musí bentonitová suspenze splňovat požadavky na parametry stanovené v kapitole 3.1.

2.2 Pažení vrtů pilot

Jílová pažící suspenze zajišťuje stabilitu stěn i dna vrtu účinkem hydrostatického tlaku a elektrochemických jevů. V jejich důsledku se na stěně vrtu vytvoří ochranný jílový filtrační koláč. Jeho tloušťka a pevnost závisí na kvalitě suspenze.

Bentonitové suspenze se vyrábí z jílu, vody a pro úpravu vlastností suspenze lze přidat přísady. Požadavky na vlastnosti suspenze jsou uvedeny v kapitole 3.2 (podle ČSN EN 1538).

Norma obsahuje opatření směřující ke zmenšení rizika změn vodních poměrů nebo ohrožení jiné studny. Ve vrtu vrtaných studní je nutné odtěsnit kolektory podzemní vody. Pokud vrtaná studna zastihuje více útvarů podzemní vody, nařizuje norma provést jejich vzájemné odtěsnění.

Studny se musí ochránit před povrchovou vodou. Utěsnění se provede u vrtaných studní do hloubky nejméně 3 m. Těsnění musí být provedeno výhradně cementovou kaší nebo směsí cementu s bentonitem. Požadavky na těsnění studní pro porovnání jsou v kapitole 3.3. (Čížek, 2011)

2.4 Bentonitové rohože

Bentonit se používá i jako produkt na bázi bentonitu. Příklad bentonitové rohože je na Obr. 5. Používají se především k utěsnění skládek, nádrží, kanálů a biotopů. S ohledem na strukturu rohože dochází k volnému nabobtnávání, a tím vzniká tenká extrémně těsná vrstva. Bentonitové rohože jsou šetrné k životnímu prostředí. Snadno se s nimi manipuluje při pokládce. Jejich nepropustnost je definována výrobcem.



Obr. 5 – Bentonitová rohož (Lineko s.r.o.)

Dvojité bentonitové rohože (DBR) jsou vhodné pro ochranu proti podzemní a tlakové vodě, případně bludným proudům a radonovému riziku. DBR je izolace, která se skládá ze dvou těsnících komponentů. Primárním těsněním je fólie (PE) nanesená na geotextílii. Sekundárním těsněním je vysoce kvalitní bentonit. Vlivem prosakující vody dojde k bobtnání a vytvoří se těsnící vrstva. (MEDIUM International s.r.o.)

Pokládka bentonitových rohoží se provádí pomocí zvedacího zařízení např. bagru, kolového nakladače nebo jeřábu. Při zakončení svahu je bentonitová rohož

zakotvena v kotvicím zámku (zásyp do rýhy nebo pomocí ocelových trnů) a následně zasypána.

Spojení pásů je dosaženo jejím překrytím, zasypáním bentonitovým práškem nebo se PE fólie svařuje. Přímé pojíždějí stavební mechanizace po bentonitové rohoži je zakázáno. Dvojité bentonitové rohože jsou přímo pokládány na podloží z geotextílie a následně je provedena betonáž základové desky.

2.5 Bentonitové těsnící pásy

Používají se k utěsnění pracovních spár a dělicích spár v pozemních, inženýrských a vodních stavbách. Např. na rozhraní dvou materiálů mezi betonem a betonem, nebo kamenem a betonem. Dále slouží jako těsnění spár v tunelech, přehradách, vodních dílech a nádrží s pitnou vodou. Bentonitový těsnící pás je zobrazen na Obr. 6.

Bentonitové těsnící pásy mají jednoduchou montáž. Těsnící pás neaplikujeme na místa, kde se nachází stojatá voda. Voda musí být z povrchu zcela odstraněna. Těsnící pás položíme na podkladovou betonovou plochu tak, aby byl zajištěn dokonalý kontakt s podkladem. Následně se provede betonáž. Minimální tloušťka betonu nad těsnícím pásem nesmí být menší než 7 cm. (*MEDIUM International s.r.o.*)



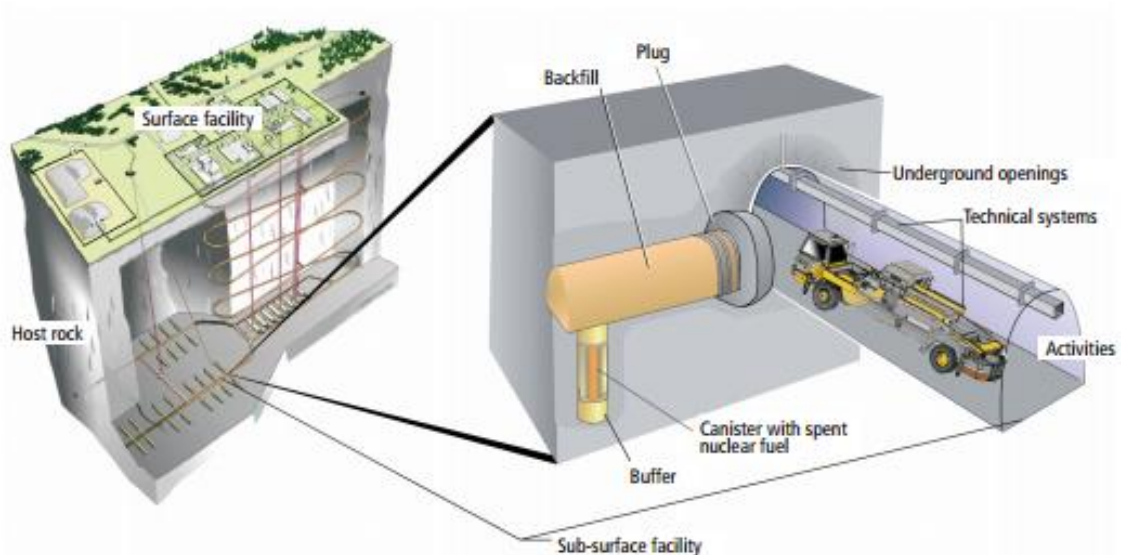
Obr. 6 – Bentonitový těsnící pás (*MEDIUM International s.r.o.*).

Zatížení (betonáží nebo zásypem) rohoží a pásů po jejich aplikaci je velmi důležité, aby nedošlo ke ztrátě těsnícího účinku bentonitu po styku s vodou. Při nezatížení bentonitových rohoží nebo pásů zmenšíme jeho objemovou hmotnost, a tím bychom zvýšili jeho propustnost.

2.6 Konstrukce hlubinného úložiště

Hlubinná úložiště (dále jen HÚ) slouží pro ukládání radioaktivních odpadů. Skládají se z podzemního areálu, přístupových šachet, tunelů a prostorů, kam se ukládá vyhořelé palivo a vysoce aktivní odpad v hermeticky uzavřených kontejnerech. Schéma HÚ je zobrazeno na Obr. 7. Kontejnery jsou obklopeny výplňovým a tlumícím materiálem, který nepropouští vodu a odvádí teplo.

Inženýrská bariéra na bázi bentonitu v HÚ splňuje funkci tlumící, těsnící, výplňovou a konstrukční. Jejím hlavním úkolem je maximálně omezit pronikání vody k úložnému obalovému souboru (dále jen ÚOS), což prodlužuje jeho životnost, a zároveň omezit pohyb vody od ÚOS. Tímto způsobem brání migraci radionuklidů do prostředí. Dále zajišťuje dostatečný odvod tepla do okolního prostředí a stabilitu ÚOS v úložném místě. Z chemického hlediska je důležitá sorpční schopnost bariéry, která zajistí zachycení části unikajících radionuklidů.



Obr. 7 - Schéma HÚ podle SKB (Sweden)

2.6.1 Buffer

Buffer je součást inženýrské bariéry vyplňující prostor mezi úložným obalovým souborem a přírodní bariérou. Buffer musí mít dostatečnou únosnost, aby dlouhodobě zajistil prostorovou stabilitu uložení ÚOS.

Buffer může být ve formě prefabrikovaných tvárnic (Obr. 8). Tato varianta je zatím nejvhodnější, jelikož se poměrně snadno dosáhne požadovaného zhutnění. Tvárnice obklopí ÚOS ze všech stran a při průniku vody do bariéry začne bentonit bobtnat, a tím utěsní celý prostor. Nevýhodou bariéry vystavěné z bentonitových prefabrikátů jsou spáry mezi jednotlivými bloky.

Další varianta bufferu je za použití technologie stříkaného bentonitu. Kontinuálním nástřikem se vyplní prostor mezi ÚOS a horninou. Využití této technologie pro konstrukci bufferu je ve stádiu vývoje.



Obr. 8 – Prefabrikované tvárnice z bentonitu jako buffer (Vašíček a kol.)

2.6.2 Backfill

Backfill je výplň přístupových chodeb (štol) k úložným místům. Pro backfill se v současnosti předpokládají dva způsoby výstavby. Prvním z nich je hutnění bentonitu klasickými hutnicími prostředky v kombinaci s nástřikem tam, kde již není možné použít hutnicí prostředky (oblast přístropí). Při použití druhého způsobu se chodba zaplní bentonitovými tvárnicemi a peletami.

Technologie stříkaných jíílů vychází z technologie stříkaných betonů a bude využita v oblastech, kde není již možné použít hutnicí stroje.

Pro aplikaci stříkaného betonu se používají dva technologické postupy – „suchá a mokrá cesta“. Při „suché cestě“ se dopravuje od stroje nástřikový materiál pneumaticky hadicemi do nástřikové trysky, kde je zvlhčen. Hlavní předností této technologie je vyšší zhutnění nastříkaného materiálu. Mezi hlavní nevýhody patří zvýšená prašnost, která ovlivňuje pracovní prostředí a složení materiálu po aplikaci. Technologie stříkání „mokrou cestou“ spočívá v dopravě mokré nástřikové směsi od stroje hadicemi až do stříkací trysky. Mezi hlavní přednosti patří minimální prašnost. Nevýhodami tohoto postupu jsou menší zhutnění nastříkané hmoty, zanášení částí nástřikové soustavy a velice obtížné provlhčení celého objemu směsi v nástřikovém stroji. (Pacovský a Štáštka, 2009)



Obr. 9 - Test nástřiku bentonitu suchou technologií

Z uvedených důvodů je výzkum v oblasti stříkaných jíílů v CEG zaměřen na suchou technologii. Na obr. 9 je test nástřiku bentonitu pro experimentální účely. Z takto provedených nástřiků byly odebrány vzorky a stanoveny jejich parametry. Výsledky měření jsou uvedeny dále v této práci v kapitole 5.3.

Jednotlivé požadavky na parametry bentonitu pro buffer a backfill jsou uvedeny v kapitole 3.5.1 a 3.5.2. Parametry jsou čerpány z dokumentu Ukládání radioaktivních odpadů v ČR a využití bentonitu při přípravě hlubinného úložiště. (Vašíček a kol., 2014)

3 Požadavky na vlastnosti bentonitu podle jednotlivých aplikací ve stavebnictví

V této kapitole jsou popsány požadavky na vlastnosti bentonitu podle aplikací. Tyto parametry jsou čerpány z norem, ze zahraničních experimentů, nebo z hodnot, které uvádí dodavatelé na svých výrobcích pro danou aplikaci bentonitu.

3.1 Pažení podzemních stěn

ČSN EN 1538 vyžaduje splnění jednotlivých parametrů pro bentonitovou suspenzi pro pažení podzemních stěn, které jsou v Tab. 1.

Tab. 1 – Požadavky na bentonitovou suspenzi pro pažení podzemních stěn (ČSN EN 1538)

Vlastnosti	Stádium		
	čerstvá	regenerovaná	před betonáží
Objemová hmotnost (g/ml)	< 1,10	< 1,25	< 1,15
Viskozita Marsh (s)	32 až 50	32 až 60	32 až 50
Filtrace (ml/30 minut)	< 30	< 50	neměří se
pH	7 až 11	7 až 12	neměří se
Obsah písku (%)	neměří se	neměří se	< 4
Filtrační koláč (mm)	< 3	< 6	neměří se

3.2 Pažení vrtů pilot

Dále ČSN EN 1536 nařizuje požadavky pro pažení vrtaných pilot téměř totožné jako u pažení podzemních stěn. Tyto vlastnosti jsou popsány v Tab. 2.

Tab. 2 – Požadavky na bentonitovou suspenzi pro pažení vrtů pilot (ČSN EN 1536)

	Jednotka	Bentonitová suspenze		
		čerstvá	před násl. použitím	před betonáží
Objemová hmotnost	g/cm ³	< 1,10	-	< 1,15
Viskozita (Marsh)	sec	32 až 50	32 až 60	32 až 50
Filtrace	cm ³	< 30	< 50	-
pH		7 až 11	7 až 12	-
Obsah písku	% (objemu)	-	-	< 4
- : není stanoveno				

3.3 Těsnění vrtaných studní

Pro těsnící zásyp vrtaných studní norma neudává žádné specifické vlastnosti. Jen nám nakazuje prokazatelným způsobem utěsnit prostor mezi pažnicí a stěnou vrtu. Pro porovnání jsou zde parametry bentonitů od dvou dodavatelů.

AZ AQUA-GARDEN s.r.o. (pelety)

- sypná hmotnost 1,0kg/l
- propustnost 10^{-12} m/s
- rychlost padání ve vodě cca 20m/min

GE-TRA s.r.o.: Compactonit® 10/80 (pelety)

- sypná hmotnost 1,0kg/l
- propustnost 2×10^{-11} m/s
- rychlost padání ve vodě cca 25m/min

3.4 Bentonitové rohože

Požadavky na výrobky pro jílové vodotěsné vrstvy podle TŽN 736280 – Navrhování a provádění vodotěsných izolací železničních mostních objektů.

- propustnost 10^{-8} m/s

Dodavatel bentonitových rohoží Beto - Tech Praha s.r.o. udává na výrobku Voltex

- propustnost 10^{-9} m/s

Rohože se skládají ze sodného bentonitu mezi dvěma polypropylenovými geotextíliemi, které jsou k sobě sešité.

3.5 Konstrukce hlubinného úložiště

Geotechnické požadavky na vlastnosti materiálu pro buffer a backfill lze získat ze zahraničních zdrojů (*Rautioaho a Korkiala-Tantu, 2009*):

3.5.1 Buffer

- velmi nízká propustnost (hydraulická vodivost nižší než $k = 10^{-12}$ m/s)
- vysoký bobtnací tlak (bobtnací tlak vyšší než $\sigma_{sw} = 1$ MPa)
- reologická stálost (dlouhodobá neměnnost vlastností)
- vysoká plasticita (není dále specifikováno)
- vysoká tepelná vodivost (není dále specifikováno)

3.5.2 Backfill

- velmi nízká propustnost (hydraulická vodivost nižší než $k = 10^{-10}$ m/s)
- vysoký bobtnací tlak (bobtnací tlak vyšší než $\sigma_{sw} = 0,1$ MPa)
- reologická stálost
- plasticita (není dále specifikováno)
- vysoká tepelná vodivost (není dále specifikováno)

4 Přehled vybraných přísad (aditiv) do bentonitových suspenzí

Do bentonitových suspenzí se přidávají přísady pro úpravu jejich specifických vlastností. V praktické části této bakalářské práce jsou všechny laboratorní zkoušky provedeny na přírodních neupravených bentonitech bez inertních látek. Proto při nesplnění některých požadavků na suspenzi ji lze upravit použitím přísad. Informace o aditivech jsou veřejně přístupné na webu společnosti Adasi Morava s.r.o., která dováží přísady z Německa. Přísady mohou být práškové nebo kapalné.

MODIPOL je multifunkční, vysoce viskózní, prášková polyanionická celulóza. Slouží k zlepšení reologických vlastností bentonitu při provádění výplachů, ke snížení filtračních ztrát a zlepšuje tokové vlastnosti bentonitové suspenze.

PAC je vysoce kvalitní a vysoce viskózní polyanionická celulóza pro vrtné výplachy. Snižuje filtrační ztráty bentonitu. Při vysokých koncentracích omezuje rozpouštění vrtných úlomků. Významně zvyšuje viskozitu a zlepšuje filtrační koláč.

MULTISORB 200 jsou jemné granule. Je syntetický a protiztrátový prostředek na bázi polymeru. Ve vodě je nerozpustný, je však schopen absorbovat velké množství vody. Zrnka polymeru ve ztrátové zóně nabobtnají a utěsní ji.

MODIPLEX MH je speciální prostředek pro zvýšení viskozity vrtného výplachu pro vrtání v extrémně nestabilním prostředí (hrubozrnné zeminy). Po přidání přísady se suspenze stává vysoce únosným a stabilním gelem.

MODIDET je kapalina, která vytváří na povrchu vrtného nářadí tenký film omezující nalepování jílu. Zároveň snižuje tažné síly pro horizontální vrtání.

ARGIPOL je kapalná směs aniontových polymerů tvořící rychlý nárůst viskozity ve velmi nízkých koncentracích. Výrazně zvyšuje výnos jádra při jádrovém vrtání.

PARATROL je kapalná směs polymerů určená pro snižování viskozity vrtných výplachů. Je výrazné ztekuvadlo suspenzí a bobtnací síly značně snižuje.

MICRODOL je mikromletý čistý dolomit s jemnou zrnitostí. Pomáhá výrazně tvořit základní filtrační kůrku v polymerovém výplachu a snižuje filtraci.

NUT PLUG Fine je práškový a protiztrátový prostředek z mletých mandlových slupek. Používá se při úplných nebo částečných ztrátách vrtných kapalin.

5 Experimentální část

V této části práce jsou vybrané a popsány druhy bentonitu od společnosti Keramost a.s. Reprezentativní bentonity jsou Sabenil, Bentonit 75, Bentonit GA, Bentonit GAE a recyklát. Dále jsou charakterizovány vybrané fyzikální a hydrofyzikální vlastnosti bentonitu pro porovnání parametrů bentonitových suspenzí a bentonitového těsnění. Závěrem této kapitoly jsou výsledky naměřených hodnot a grafické znázornění jednotlivých fyzikálních parametrů bentonitu.

5.1 Přehled vybraných severočeských bentonitů

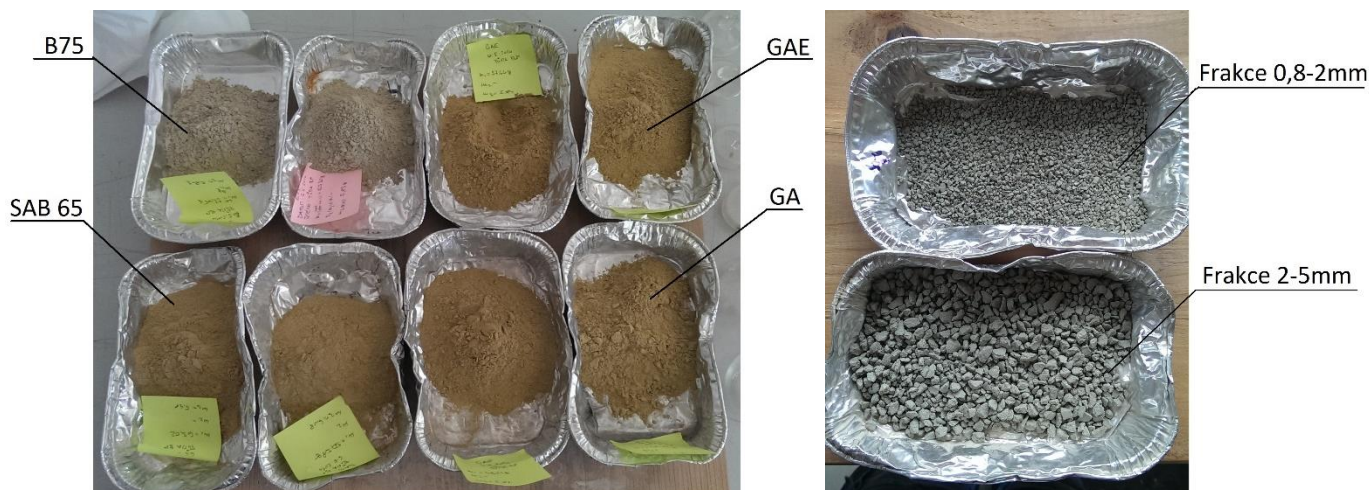
Sabenil je mletý bentonit, který je aktivovaný sodou.

Bentonit 75 je neaktivovaný bentonit pro použití jako pufr pro zvýšení nepropustnosti zemin, plastifikační přísada malt, omítek a keramických hmot.

Bentonit GA je určen pro standardní práce v oblasti vrtného průmyslu, stavební injektáže, těsnění vodních staveb.

Bentonit GAE je výrobek určen pro práce v oblasti hlubinných vrtů, injektáží v nestabilních podložích, výstavby a těsnění vodních děl, podloží a uzávěry skládek. Alternativní použití pro výrobu suspenzních hnojiv, plastifikační přísada pastovitých hmot, omítek, malt, betonů, granulační stabilizátor v betonových výrobcích.

Recyklát je bentonit, který je z ložiska Černý vrch. Vzniká z podsítného zbytku po výrobě ekologických steliv, tzn. zbylý prach (menší než 0,8 mm) se navlhčí, slisuje, suší a nadržuje. Recyklát je dostupný v zrnitostech 0,8 - 2 a 2 - 5 mm.



Obr. 10 – Vybrané bentonity od Keramost a.s.

Obr. 11 - Recyklát

5.2 Základní fyzikální a hydrofyzikální vlastnosti bentonitu

- Objemová hmotnost přirozeně vlhkého materiálu
- Objemová hmotnost vysušeného materiálu
- Hmotnostní vlhkost
- Filtrace a filtrační koláč
- Viskozita Marsh
- pH
- Propustnost (hydraulická vodivost)
- Bobtnací tlak
- Zrnitostní rozbor

5.2.1 Objemová hmotnost přirozeně vlhkého vzorku

Stanovuje se podle ČSN EN ISO 17892-2 Stanovení objemové hmotnosti. Objemová hmotnost přirozeně vlhké zeminy (ρ) udává poměr mezi hmotností a objemem přirozeně vlhkého materiálu.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [\text{kg/m}^3]$$

kde:

m - hmotnost přirozeně vlhkého vzorku [kg]

V - objem přirozeně vlhkého vzorku [m³]

5.2.2 Objemová hmotnost vysušeného vzorku

Stanovuje se podle ČSN EN ISO 17892-2 Stanovení objemové hmotnosti. Objemová hmotnost vysušeného vzorku (ρ_d) udává poměr mezi hmotností pevných částic zeminy vysušené při teplotě 110°C a celkovým objemem.

$$\rho_d = \frac{m_d}{V} \quad [\text{kg/m}^3]$$

kde:

m_d - hmotnost pevných částic vysušené zeminy [kg]

V - celkový objem [m³]

5.2.3 Hmotnostní vlhkost

Stanovuje se podle ČSN EN ISO 17892-1 Stanovení vlhkosti. Vlhkost váhová (w) je definována jako poměr hmotnosti vody v zemině k hmotnosti vysušené zeminy.

$$w = \frac{m_w}{m_d} \times 100 \quad [\%]$$

kde:

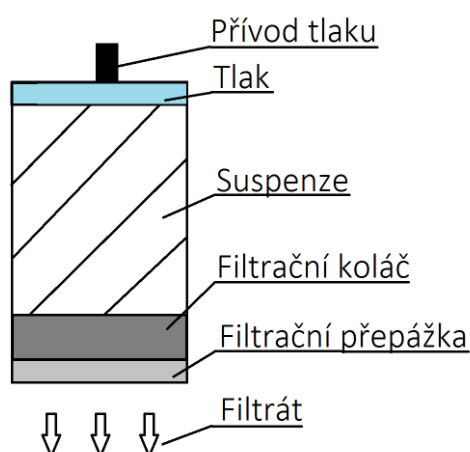
m_w – hmotnost vody v zemině [kg]

m_d – hmotnost vysušené zeminy [kg]

5.2.4 Filtrace a filtrační koláč

Filtrace je jedna z metod dělení heterogenních směsí pevná fáze – tekutina. Směs prochází pórovitým materiálem (filtrační přepážkou), který zachycuje částice pevné fáze a propouští tekutinu (filtrát). Stanovujeme objem (ml) filtrátu, který proteče přes filtrační přepážku za 30 minut. Částice na přepážce vytvářejí filtrační koláč, obsahující veškerou pevnou látku. Měříme jeho tloušťku v milimetrech. Hnací síly filtrace jsou gravitace a tlak v nádobě se suspenzí (filtrace tlaková). Schéma tlakové filtrace je na Obr. 2. (Šnita, D. a kol., 2005)

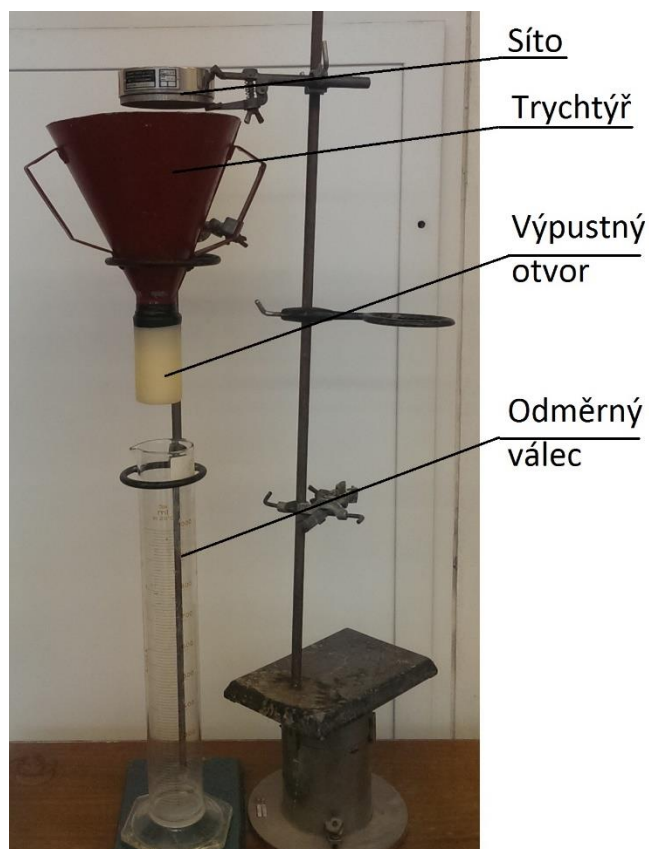
Filtrace a hodnoty filtračního koláče se v této práci dále neposuzují. Aparát na změření filtrace není dostupný v laboratořích CEG. Tyto parametry lze zjistit měřením v externích laboratorních zařízeních.



Obr. 12 – Schéma filtrace

5.2.5 Viskozita Marsh

Postup a stanovení viskozity Marsh je uveden v API RP 13B-2. Měření viskozity jsou měření, které se týkají vlastností proudění (reologie) vrtných kapalin. Sestava pro stanovení viskozity je na Obr. 13. Zkouška probíhá pomocí speciálního normovaného zařízení, které se nazývá Marsh trychtýř. Trychtýř musí mít následující parametry. Nálevka je tvaru kužele délky 305mm a průměru 152mm. Výpustný otvor je délky 50,8mm a vnitřní průměr má 4,7mm. Trychtýř je opatřen sítím. Takto normovaný aparát nebyl k dispozici, a proto byla zřízena náhradní sestava s normovanými rozměry výpustného otvoru. Pro měření jsou potřeba stopky a odměrná nádoba, na které odečteme stanovené množství proteklé suspenze.



Obr. 13 – Sestava na stanovení viskozity Marsh

Dno nálevky uzavřeme prstem a nalijeme do ní 1500ml suspenze. Po otevření otvoru měříme čas, za který proteče kalibrovaným Marsh trychtýřem kapalina o objemu 946ml.

5.2.6 Stanovení pH

Pro měření pH použijeme indikátorový papírek. Indikátorové papírky jsou proužky filtračního papíru napuštěné vhodným indikátorem nebo směsí indikátorů. Ten vložíme do roztoku a po krátké době můžeme porovnat s barevnou stupnicí na Obr. 14 a stanovit hodnotu pH.



Obr. 14 – Indikátorové papírky a barevná stupnice pH

5.2.7 Hydraulická vodivost a bobtnací tlak

Pro společné měření hydraulické vodivosti a bobtnacího tlaku se používá v laboratoři CEG zařízení, které se nazývá propustoměr. Toto zařízení je s konstantním spádem při aplikaci sytícího tlaku 1 MPa. Při měření je zamezeno změně objemu vzorku. Postup měření je uveden v interním postupu (Hausmannová, 2012).

Hydraulická vodivost (k [m/s]) je koeficient popisující schopnost průtoku kapaliny prostředím (zeminou) účinkem hydraulického sklonu. Je závislý jak na vlastnostech prostředí, tak na vlastnostech kapaliny. U zemin je tento parametr ovlivněn objemovou hmotností sušiny (tedy jejím zhutněním), zrnitostním složením a typem zeminy. Výpočet vychází z Darcyho zákona pro ustálené proudění:

$$v = k.i.$$

kde:

v - Rychlost proudění ve vzorku [m/s]

i - Hydraulický sklon [m/m]

kde hydraulický sklon i :

$$i = \frac{\Delta h}{\Delta l}$$

kde:

Δh - Hydraulická výška [m]

Δl - Dráha, kterou musí vodní částice projít zeminou [m]

kde hydraulická výška pro používaný způsob měření Δh :

$$\Delta h = \frac{p}{\rho \times g}$$

kde:

p – Sytící tlak [Pa]

ρ – Objemová hmotnost kapaliny [kg/m³]

g – Gravitační zrychlení [m/s⁻²]

Hodnota hydraulické vodivosti k se vypočte dle:

$$k = \frac{q}{i \cdot A}$$

kde:

q - Množství kapaliny proteklé vzorkem [m³/s]

k - Hydraulická vodivost [m/s]

i - Hydraulický sklon [m/m]

A - Plocha vzorku kolmá na směr proudění [m²]

Bobtnací tlak (σ_{sw} [kPa]) je generován bobtnavým materiálem, jemuž je při kontaktu s vodou zabráněna změna objemu. U zemin je tento parametr ovlivněn objemovou hmotností sušiny (tedy jejím zhutněním) a mineralogickým složením (obsah montmorillonitu).

Vyhodnocení je založeno na snímané síle vyvolané bobtnajícím materiálem při zabránění změny objemu. Pro měření se používají silová čidla o daném rozsahu, kde bobtnací tlak se vypočte dle:

$$\sigma_{sw} = \frac{F}{A}$$

kde:

F – Síla měřená na čidle [kN]

A – Plocha vzorku, kde je přenášen bobtnací tlak na čidlo [m²]

5.2.8 Zrnitostní rozbor

Zrnitostní rozbor se stanovuje podle normy ČSN CEN ISO/TS17892-4. Zrnitostní křivka je součtová čára, jejíž každý bod udává, kolik procent z celkové hmotnosti vzorku činí hmotnost všech zrn menších než určitý průměr zrna d . Pro její stanovení existují dva nejčastěji používané laboratorní způsoby:

- sítový rozbor - prosévání na sítích standartizované řady pro zrna větší než 0,06 mm (písčítá až štěrkovitá),
- hustoměrná metoda - pro zrna menší než 0,06 mm (prachovitá), vychází ze Stokesova usazovacího zákona, udávajícího vztah mezi průměrem zrn a rychlostí jejich usazování v kapalině

V této práci byl použit způsob sítového rozboru prosévání na sítích zobrazeno na Obr. 15 pro stanovení čáry zrnitosti recyklátu.

Strmost zrnitostní křivky se charakterizuje číslem nestejnozrnosti C_u :

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

kde:

d_{60} - průměr zrn příslušející 60% propadu

d_{10} - průměr zrn příslušející 10% propadu

Podle velikosti hodnoty C_u označujeme zeminu jako:

a) stejnozrnnou $C_u = 5$

b) nestejnozrnnou $C_u = 15$

c) středně nestejnozrnnou $C_u = 5 \sim 15$

Při některých charakteristikách zemin písčitých (šterkovitých) se udává číslo křivosti C_c :

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{60} \times d_{10}}$$



Obr. 15 – Prosévací zařízení s vibrační deskou

5.3 Výsledky měření

V této práci jsou použity bentonity, které jsou popsány v kapitole 5.1. Všechny zkoušky byly zhotoveny na vzorcích bez přidaných příměsí pro upravování vlastností suspenzí. Výsledky jsou zpracované v tabulkách a graficky znázorněné.

5.3.1 Bentonitové suspenze

Pro jednotlivé materiály jsou použity různé obsahy bentonitu v suspenzích (2%, 4% a 8% bentonitu z celkového objemu suspenze). Pro porovnání parametrů suspenzí byly zhotoveny laboratorní zkoušky na stanovení objemové hmotnosti suspenze, viskozity podle Marsh a hodnoty pH. Norma nám udává požadavek na filtraci a filtrační koláč, který není v této práci specifikován s ohledem na nedostupnost aparátu pro zkoušení.

V Tab. 3 je obsah bentonitu v % přepočítán na hmotnostní obsahy a k nim příslušné hodnoty viskozity. Následující Graf 2 nám znázorňuje závislost viskozity Marsh na obsahu bentonitu v suspenzi. Viskozita se zvyšuje s větším obsahem bentonitu v suspenzi.

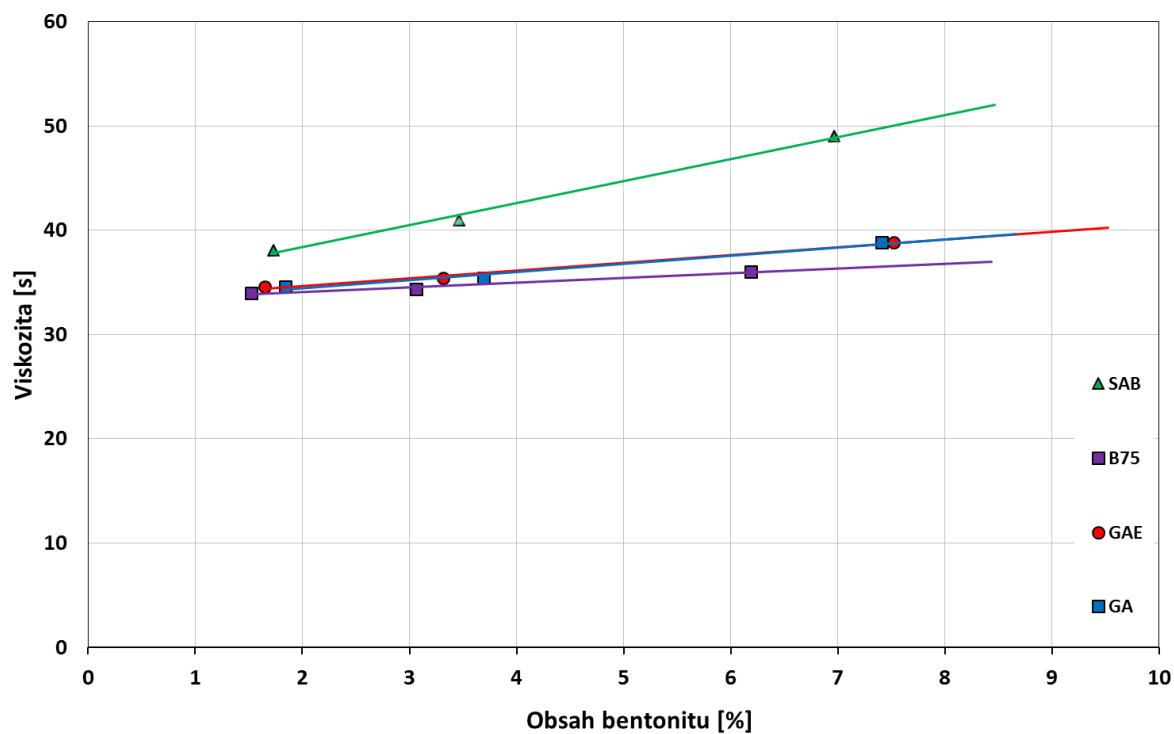
Tab. 3 – Hodnoty viskozity podle obsahu bentonitu

Viskozita Marsh [s]				
Obsah bentonitu [%]	SAB	B75	GAE	GA
8%	51	37	40	39
4%	43	35	36	36
2%	38	34	35	34

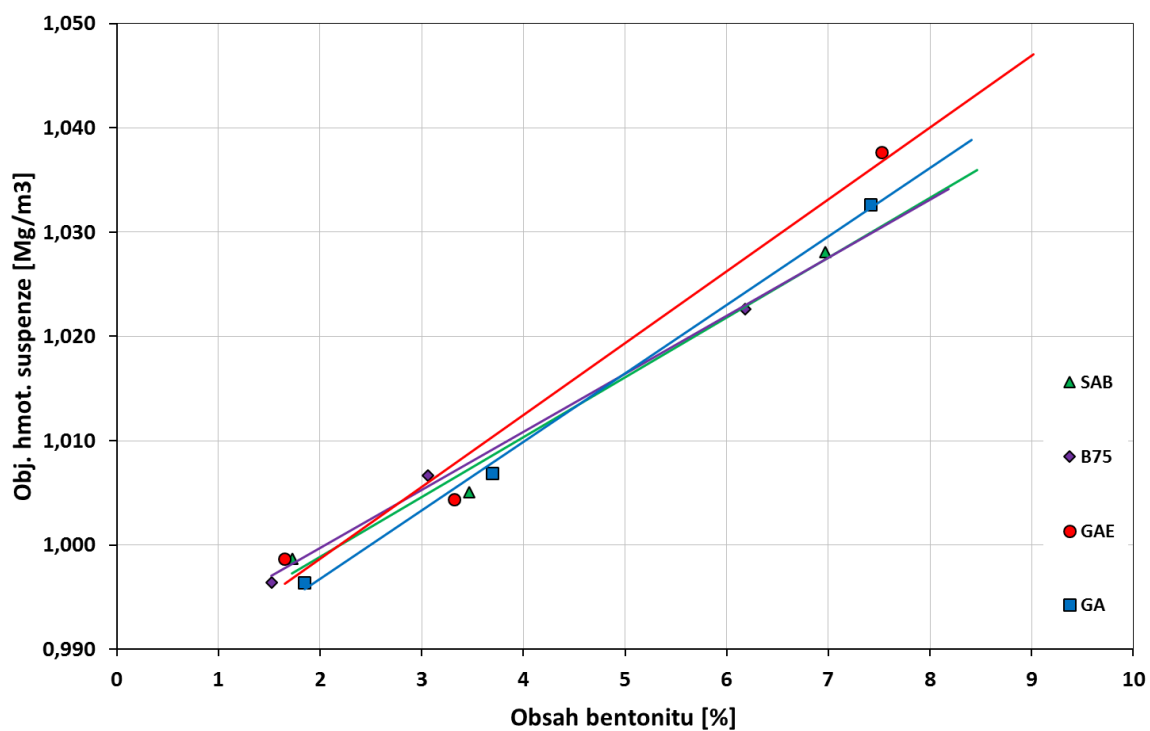
V Tab. 4 je obsah bentonitu v % přepočítán na hmotnostní obsahy a k nim příslušné objemové hmotnosti bentonitové suspenze. Grafické znázornění závislosti objemové hmotnosti bentonitové suspenze na obsahu bentonitu je na Graf 1.

Tab. 4 - Hodnoty objemové hmotnosti suspenze podle obsahu bentonitu

Obj. hmot. Suspenze [Mg/m ³]				
Obsah bentonitu [%]	SAB	B75	GAE	GA
8%	1,033	1,033	1,047	1,036
4%	1,010	1,011	1,015	1,010
2%	0,999	1,000	0,999	0,997



Graf 2 – Závislost viskozity Marsh na obsahu bentonitu



Graf 1 – Závislost objemové hmotnosti suspenze na obsahu bentonitu

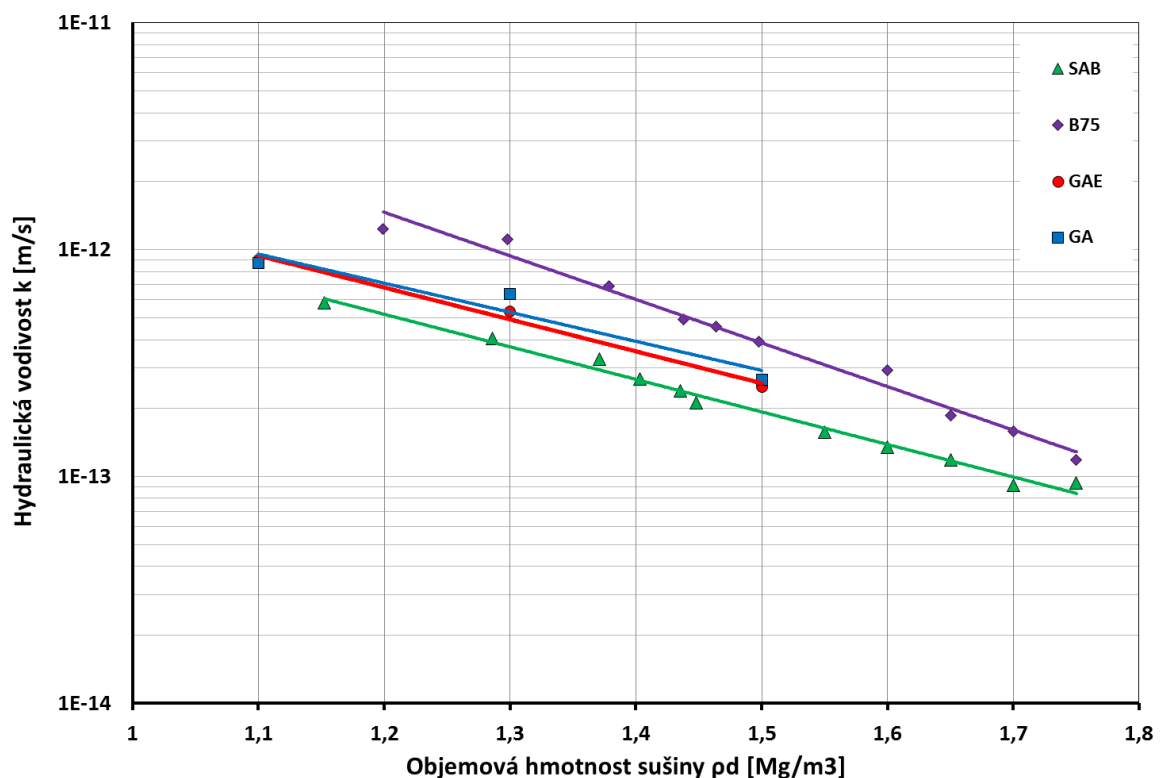
Při měření pH obsah bentonitu v suspenzi neměl vliv na změny pH. V Tab. 5 jsou hodnoty pH pro vybrané severočeské bentonity

Tab. 5 – Hodnoty pH

SAB	pH = 9,0
B75	pH = 7,5
GAE	pH > 9,0
GA	pH > 9,0

5.3.2 Bentonitové těsnění

Pro posouzení vhodnosti využití jsou vzorky lisované do prstýnků (různým lisovacím tlakem), a tím jsou ovlivněny jejich objemové hmotnosti sušiny. Hodnoty měření hydraulické vodivosti z časové náročnosti provedení laboratorní zkoušky byly převzaty od konzultantky Ing. Lucie Hausmannové. Následující Graf 3 zobrazuje závislost hydraulické vodivosti na objemové hmotnosti sušiny, kde s rostoucí objemovou hmotností sušiny klesá propustnost.



Graf 3 – Závislost hydraulické vodivosti na objemové hmotnosti (Hausmannová)

5.3.3 Bentonitové rohože

Pro ověření propustnosti bentonitů do aplikace bentonitových rohoží byla stanovena objemová hmotnost sušiny. Tab. 6 obsahuje hodnoty vlhkosti a sypné objemové hmotnosti sušiny.

Tab. 6 – Hodnoty vlhkosti a sypné objemové hmotnosti sušiny

	w[%]	ρ_d [Mg/m ³]
SAB	13,99	0,7554
B75	9,18	0,6945
GAE	10,48	0,7449
GA	9,56	0,8402

5.3.4 Stříkaný backfill

Součástí této práce je experiment zaměřený na stříkaný jí. Popis technologie je v kapitole 2.6.2. Pro tento účel je vybrán bentonitový recyklát o dvou frakcích (0,8-2mm a 2 - 5mm). Byl proveden zrnitostní rozbor kvůli ověření dané zrnitosti.

V Tab. 7 a Tab. 8 jsou hmotnostní propady přepočítané na procentuální propady, které jsou na Graf 4 zobrazeny jako zrnitostní čáry recyklátu (frakce 0,8-2mm a 2-5mm)

Pro posouzení vhodnosti využití bentonitu pro konstrukce hlubinného úložiště je potřeba stanovit hodnotu bobtnacího tlaku. Tyto hodnoty jsou znázorněné v Graf 5.

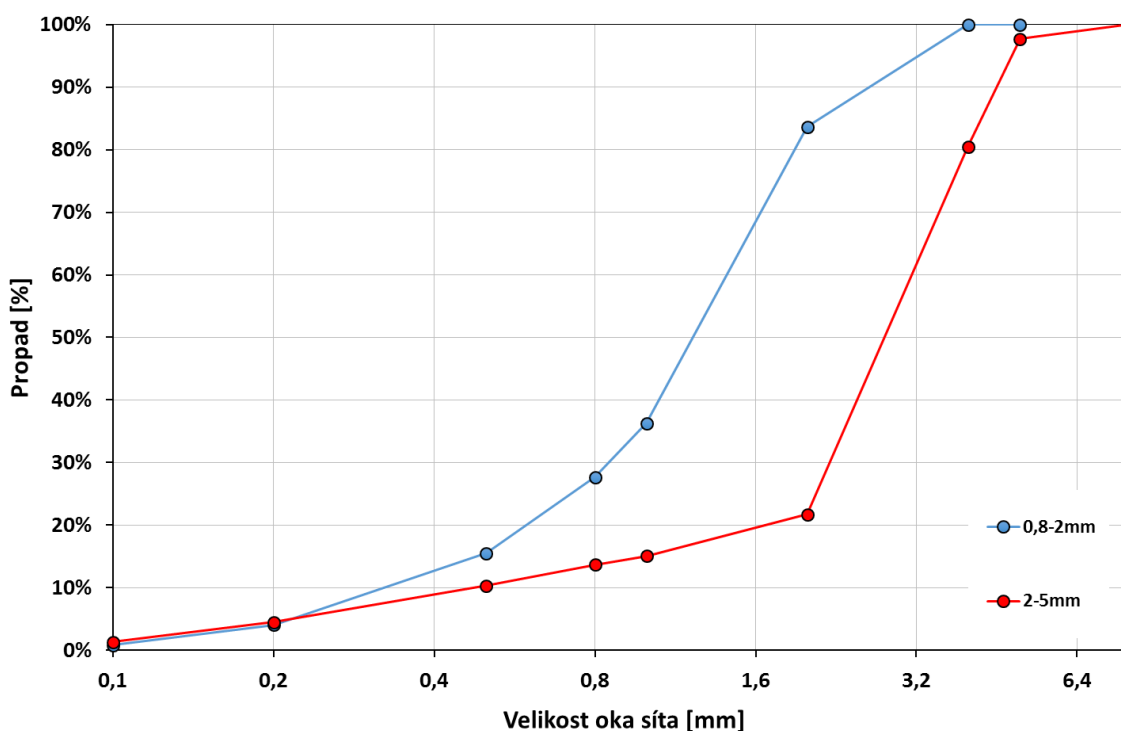
Důležitým parametrem pro posouzení je objemová hmotnost sušiny nastříkaného materiálu, který ovlivňuje hydraulickou vodivost. Dále byla stanovena vlhkost nastříkaného vzorku, která má vliv na výslednou objemovou hmotnost sušiny vzorku. Vlhkost byla regulována připojeným průtokoměrem k nástřikové soustavě. Z Graf 6 je zřejmé, že s rostoucí vlhkostí klesá objemová hmotnost sušiny.

Tab. 8 – Propady na sítích
recyklátu frakce 2 – 5mm

Velikost oka síta [mm]	Hmotnost na sítu [g]	Propad na sítu [g]	Procentuální propad [%]
8	0	998,73	100,0%
5	23,05	975,68	97,7%
4	171,61	804,07	80,5%
2	587,04	217,03	21,7%
1	66,67	150,36	15,1%
0,8	13,85	136,51	13,7%
0,5	33,33	103,18	10,3%
0,2	58,04	45,14	4,5%
0,1	31,75	13,39	1,3%
0	13,39	0,00	0,0%
Σ=	998,73 g		

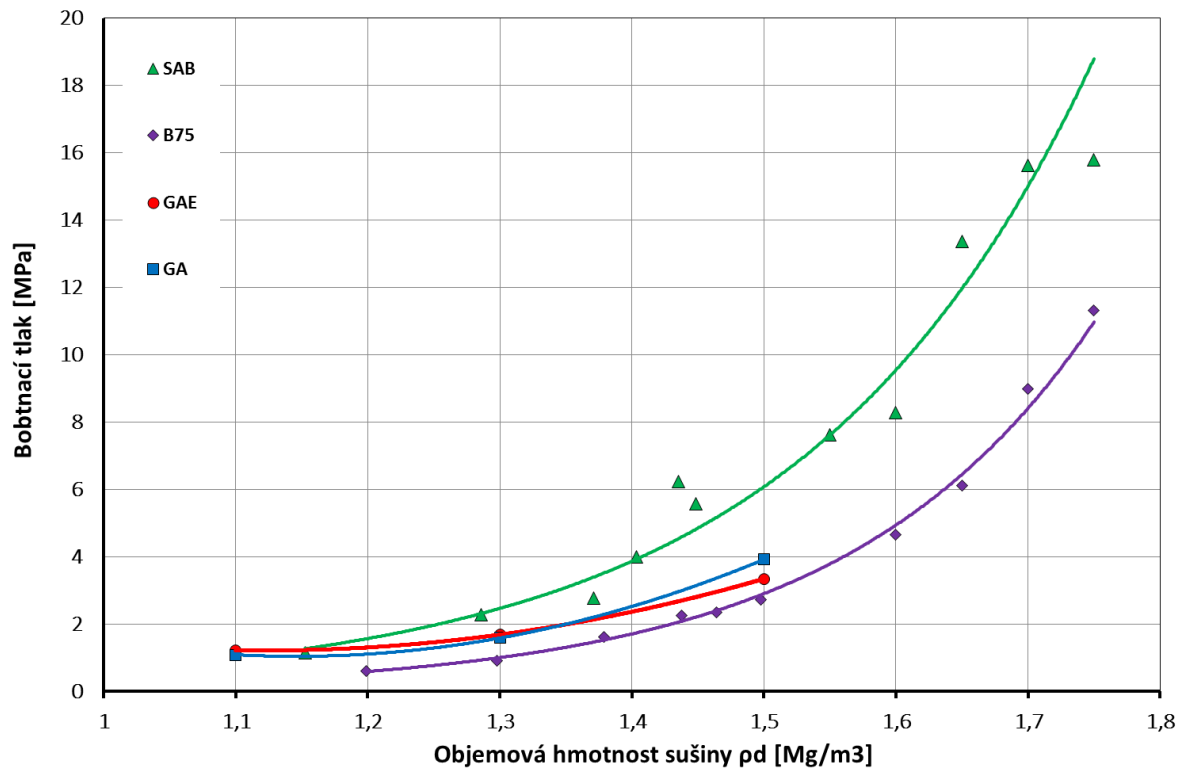
Tab. 7 – Propady na sítích
recyklátu frakce 0,8 - 2mm

Velikost oka síta [mm]	Hmotnost na sítu [g]	Propad na sítu [g]	Procentuální propad [%]
5	0,00	925,78	100,0%
4	0,00	925,78	100,0%
2	151,57	774,21	83,6%
1	438,40	335,81	36,3%
0,8	79,51	256,3	27,7%
0,5	112,86	143,44	15,5%
0,2	105,88	37,56	4,1%
0,1	29,95	7,61	0,8%
0	7,61	0,00	0,0%
Σ=	925,78 g		

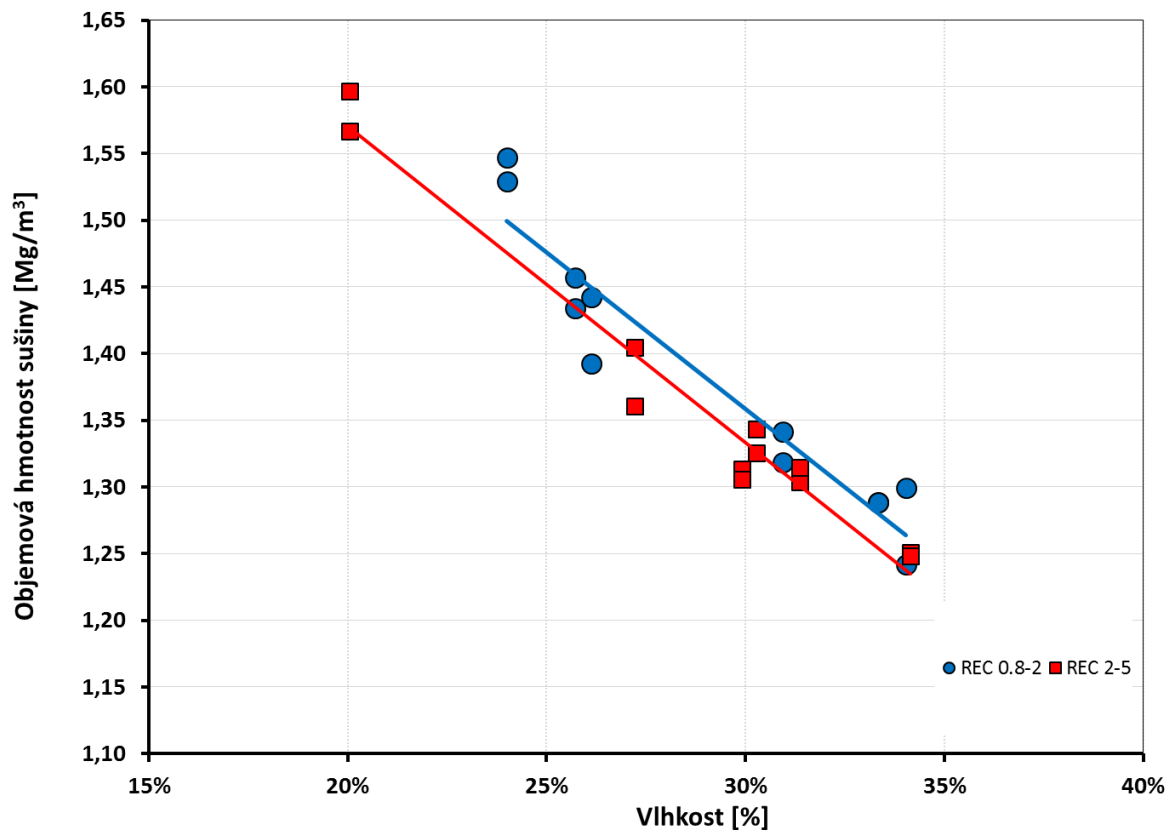


Graf 4 – Zrnitostní čára recyklátu

Před prováděním stříkání bentonitu byla stanovena sypná objemová hmotnost sušiny recyklátu frakce 2 - 5mm na 0,840 Mg/m³ a setřesená objemová hmotnost sušiny na 0,955 Mg/m³.



Graf 5 – Závislosť bobtnacího tlaku na objemové hmotnosti sušiny (Hausmannová)



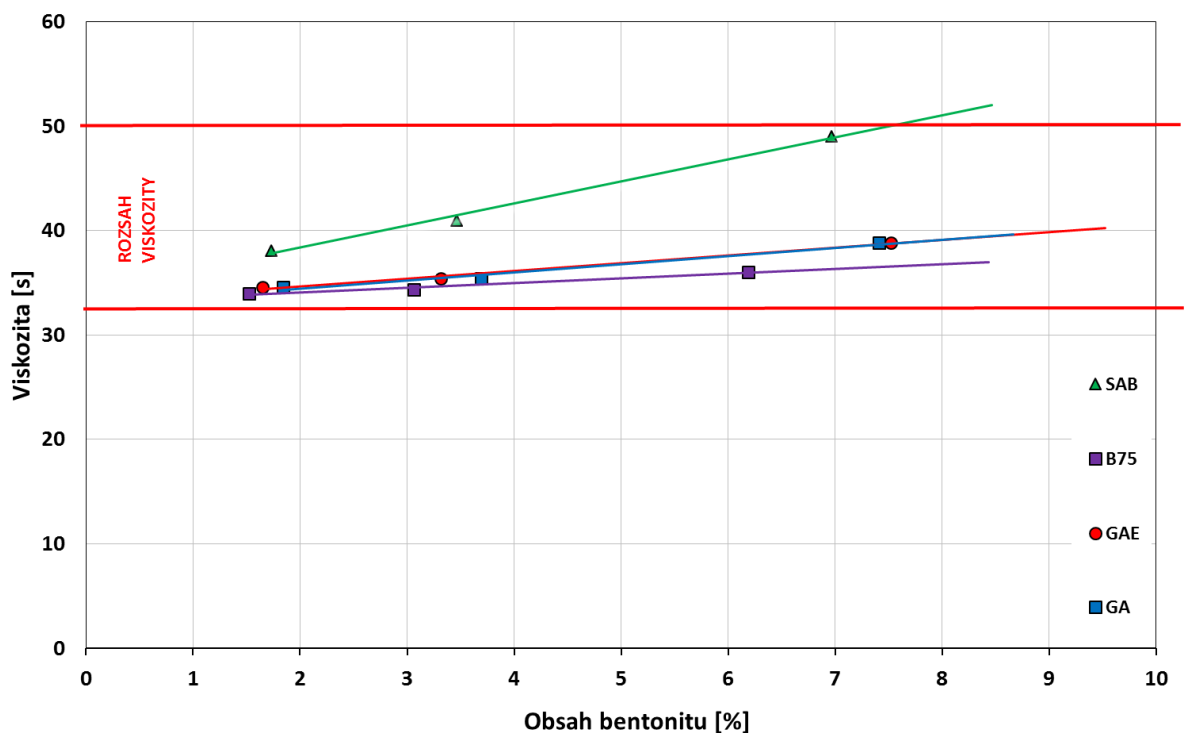
Graf 6 – Závislosť objemové hmotnosti sušiny na vlhkosti

6 Porovnání parametrů bentonitů podle aplikací ve stavebnictví

Porovnáním požadavků na vlastnosti bentonitu podle jednotlivých aplikací se stanovenými nebo naměřenými hodnotami byla ověřena jejich vhodnost ve stavebnictví.

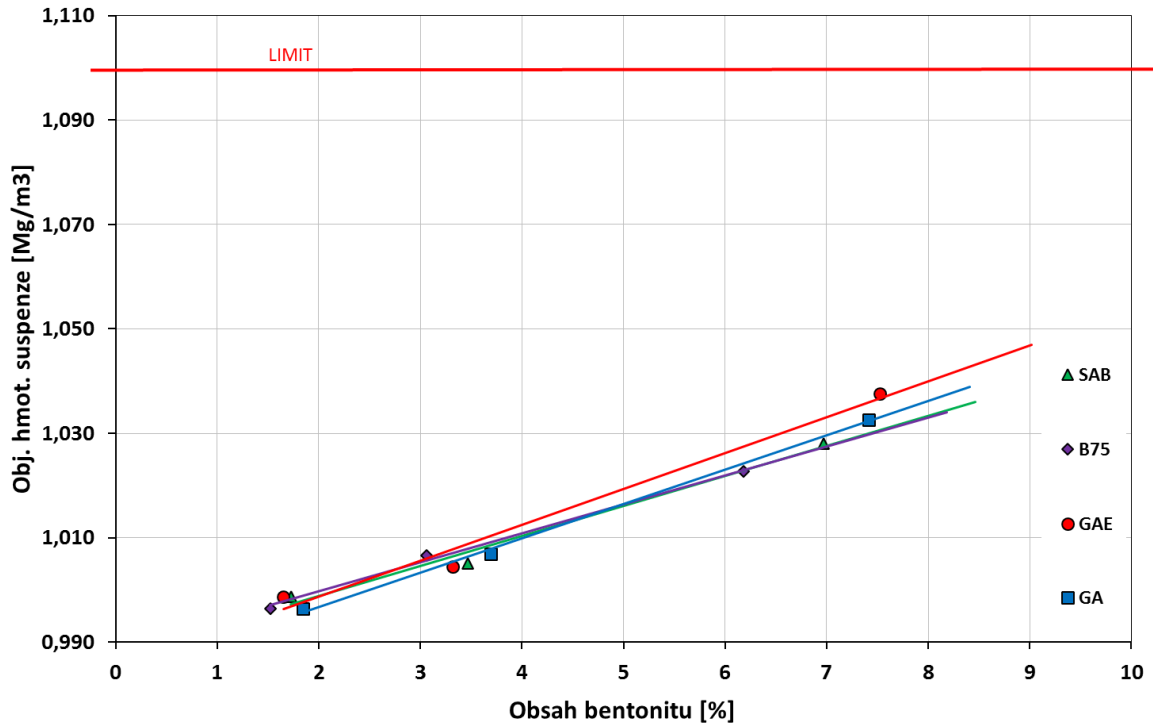
6.1 Bentonitové suspenze

Norma (kapitola 3.1 a 3.2) nám dává požadavek na viskozitu Marsh, který je pro čerstvou bentonitovou suspenzi 32 – 50s. Dále má být objemová hmotnost suspenze menší než $1,1 \text{ g/cm}^3 = 1,1 \text{ Mg/m}^3$. V Graf 7 je červeně označen rozsah, pro který jsou bentonitové suspenze vhodné. Všechny vybrané bentonity tento požadavek splňují při daném obsahu bentonitu.



Graf 7 – Závislost viskozity na obsahu bentonitu v suspenzi s vyznačeným rozsahem platnosti

Na Graf 8 je červeně vyznačená hranice objemové hmotnosti bentonitové suspenze, kterou nám udává norma. Všechny reprezentativní bentonity jsou pod tímto limitem a požadavek splňují.

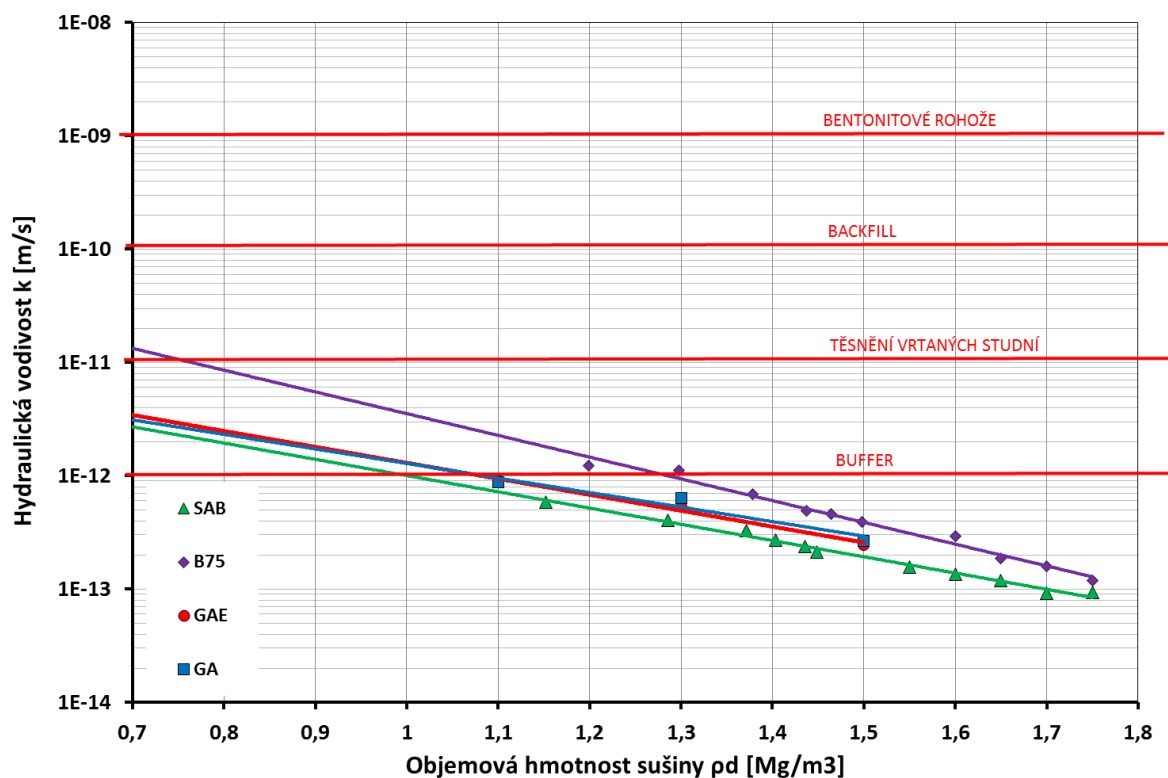


Graf 8 – Závislost objemové hmotnosti bentonitové suspenze na obsahu bentonitu v suspenzi s vyznačeným limitem

Dalším parametrem podle normy je hodnota pH, která má být v rozmezí od 7 do 11. Z naměřených hodnot z Tab. 5 vyplývá, že tyto hodnoty pH bentonity splňují.

6.2 Bentonitové těsnění

Bentonity, které se využívají v podobě vodotěsných izolací, musí splňovat kritéria na hydraulickou vodivost. Na Graf 9 jsou červeně znázorněné požadavky na těsnící materiál podle jednotlivých aplikací ve stavebnictví.



Graf 9 – Závislost hydraulické vodivosti na objemové hmotnosti sušiny s vyznačenými limity podle jednotlivých aplikací

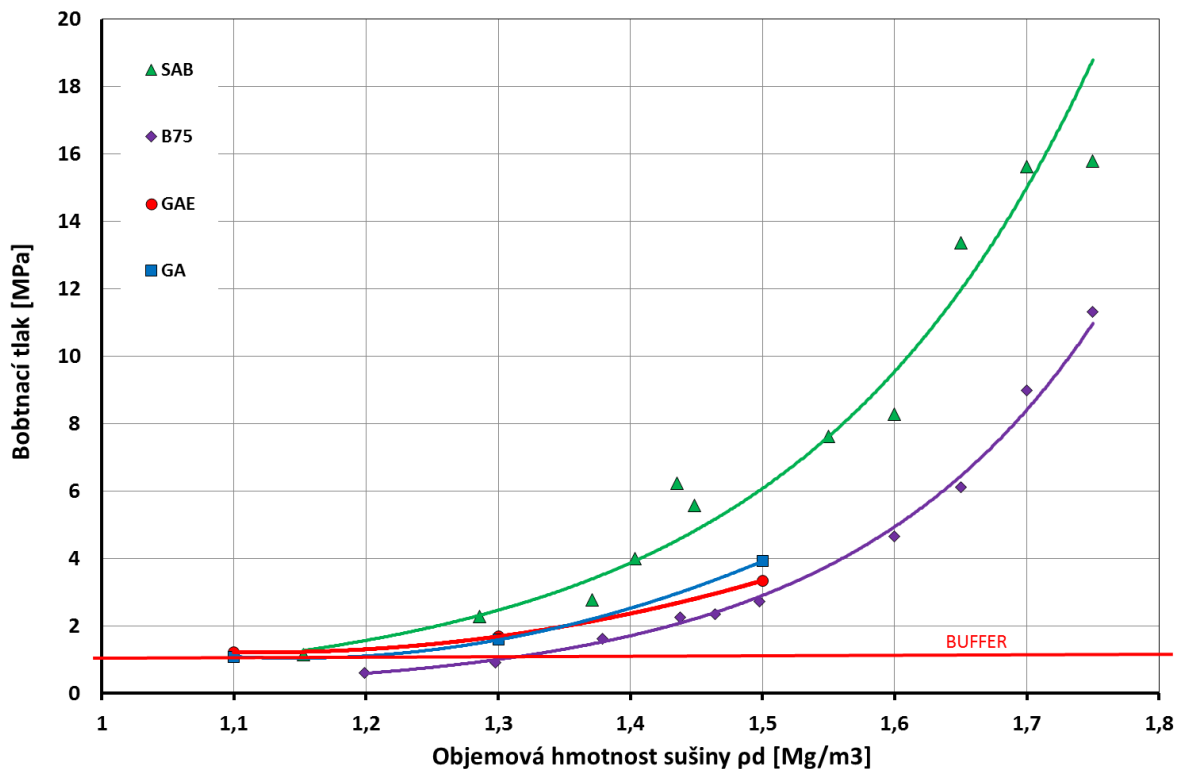
Nejméně náročné na propustnost jsou bentonitové rohože. Hydraulickou vodivost splňují reprezentativní bentonity uvedené v kapitole 5.1 ve formě mletého prášku.

Pro backfill tyto materiály vyhovují i bez úprav objemové hmotnosti sušiny. Technologie stříkaných jíel zvyšuje objemovou hmotnost sušiny, a tím snižuje hydraulickou vodivost. Proto tato technologie je vhodná pro použití jako backfill do konstrukce hlubinného úložiště.

Požadavek na těsnění vrtaných studní je splněn při volně sypané objemové hmotnosti sušiny pro všechny vybrané bentonity kromě Bentonitu 75. S ohledem na jemnost mletí bentonitů a na místo aplikace je vhodné zvolit úpravu formy bentonitu lisováním do pelet. Získáme tím lepší těsnící schopnost.

Pro splnění požadavků pro buffer je nutné bentonity lisovat do formy prefabrikovaných tvárnic nebo pelet. Po nalisování na danou objemovou hmotnost sušiny lze požadavek splnit severočeskými bentonitami.

Bentonity pro hlubinné úložiště musí mít dostatečný bobtnací tlak (Graf 10). Pro backfill musí být minimálně 0,1MPa, požadavek je splněn. Bobtnací tlak bentonitu pro bufferu má být vyšší než 1 MPa. Tento parametr je splněn pouze při nalisování bentonitu na objemovou hmotnost sušiny minimálně na 1,1 Mg/m³. Mimo Bentonit 75, který požadavek nesplňuje a musel by být nalisován pod větším tlakem.



Graf 10 – Závislost bobtnacího tlaku na objemové hmotnosti sušiny s vyznačeným limitem

7 Závěr

Cílem této práce bylo zhodnotit vhodnost severočeských bentonitů pro využití ve stavebnictví. Po porovnání požadavků na bentonity podle jednotlivých aplikací s naměřenými parametry byla ověřena vhodnost vlastností těchto materiálů. Tímto byla potvrzena možnost využívání severočeských bentonitů ve stavebnictví a omezit dovoz zahraničních bentonitů, bentonitových směsí a výrobků.

Bentonitové suspenze při daných obsazích bentonitu ve výplachu splňují kladené požadavky na parametry i bez úprav. Vzhledem k technologické náročnosti stavebních prací je nutné upravovat jejich vlastnosti aditivou podle individuálních geologických podmínek prostředí, v kterém se vrtné práce provádí. Pro přesné stanovení parametrů bentonitových suspenzí je nutné zhotovit další laboratorní zkoušky, které nebyly součástí této práce např.: stanovení filtrace a filtračního koláče

Při nesplnění některých z kritérií lze vlastnosti bentonitů upravit. Změnou jejich objemové hmotnosti sušiny lisováním do formy pelet nebo prefabrikovaných tvárnic je možné dosáhnout nižších hodnot hydraulické vodivosti a vyšších hodnot bobtnacího tlaku.

Dalšími možnostmi využití bentonitu ve stavebnictví a bližšímu stanovení parametrů materiálu bych se rád věnoval v diplomové práci. Vzhledem ke konkurenceschopnosti by bylo potřeba zhodnotit i ekonomické hledisko severočeských bentonitů se zahraničními produkty.

Seznam literatury

- CHVÁTAL Petr - *Výběr referenčních materiálů pro tlumící, zásypové a těsnicí materiál HÚ RAO*. Keessl s.r.o. Karlovy Vary, 1995
- WEISS, Zdeněk a Miloš KUŽVART. *Jílové minerály: jejich nanostruktura a využití* [online]. Praha: Karolinum, 2005 [cit. 2016-05-07]. ISBN 80-246-0868-5.
- VAŠÍČEK, HAUSMANNOVÁ, ŠTÁSTKA, SVOBODA - *Ukládání radioaktivních odpadů v ČR a využití bentonitu při přípravě hlubinného úložiště*. Praha, 2014
- Interní postup laboratorního zkoušení hydraulické vodivosti a bobtnacího tlaku bobtnavých jíllů*. CEG - ČVUT - Praha, 2012.
- Nová závazná ČSN 75 5115 - Jímání podzemní vody. In: Studny.info [online]. Česká republika: © RNDr. Petr Čížek 2011, 2016 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: http://www.studny.info/Nova_%20CSN_755115.htm
- RAUTIOAHO, E. – KORKIALA-TANTU, L.: *Bentomap: Survey of bentonite and tunnel backfill knowledge, State-of-the art*, VTT Working papers 133, October 2009
- ŠNITA, Dalimil. *Chemické inženýrství I*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2005. ISBN 80-708-0589-7.
- HAUSMANNOVA, L. a R. VASICEK. *Measuring hydraulic conductivity and swelling pressure under high hydraulic gradients* [online]. [cit. 2016-05-21]. DOI: 10.1144/SP400.36. ISBN 10.1144/SP400.36. Dostupné z: <http://sp.lyellcollection.org/cgi/doi/10.1144/SP400.36>
- ČSN EN 16416: *Geosyntetické jílové izolace - Zjišťování indexu vodního toku - Metoda za použití přístroje s pružnou stěnou na měření propustnosti při konstantním tlaku*. Praha: Český normalizační institut, 2014.
- ČSN EN ISO 17892-2: *Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 2: Stanovení objemové hmotnosti*. Praha: Český normalizační institut, 2015.

ČSN EN ISO 17892-1: *Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 1: Stanovení vlhkosti*. Praha: Český normalizační institut, 2014.

ČSN EN 1538: *Provádění speciálních geotechnických prací – Podzemní stěny*. Praha: Český normalizační institut, 2015.

ČSN EN 1536: *Provádění speciálních geotechnických prací - Vrtané piloty*. Praha: Český normalizační institut, 2016.

Webové stránky:

Inzynieria [online]. 2010 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://inzynieria.com/>

Geologie.vsb [online]. Ostrava, 2016 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/>

Zakládání staveb a.s. [Http://www.zakladani.cz/](http://www.zakladani.cz/)[online]. 2008 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.zakladani.cz/>

Hydrovrty [online]. Praha, 2006 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: www.hydrovrty.cz

Integration Group for the Safety Case [online]. In: . 2012 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <https://www.oecd-nea.org/rwm/igsc/docs/ebs-flyer-a4.pdf>

Vrtanepiloty [online]. In: . [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: http://www.vrtanepiloty.cz/data/Technologie_provedeni_vrtanych_pilot.pdf

ADASI MORAVA s.r.o: ADASI_Informace_o_produktech [online]. In: . Břeclav [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: http://www.adasi.cz/files/2016-03-31-100745-ADASI_Informace_o_produktech_sb.pdf

LINEKO, s.r.o. [online]. Brno, 2008 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.lineko.cz/>

Medium International I. s.r.o. [online]. Most [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.bentonit.cz/>

AZ AQUA-GARDEN s.r.o [online]. 2016 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://www.vrty-studny.com>

Recommended Practice for Field Testing Oil-Based Drilling Fluids [online]. In: . 2012 [cit. 2016-05-21]. Dostupné z: <http://ballots.api.org/ecs/sc13/ballots/docs/13b-2-5th-Ed-Draft-20120424.pdf>

KERAMOST, a.s. [online]. Most, 2016 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.keramost.cz>

Seznam obrázků

Obr. 1 – Struktura montmorillonitu (inzynieria.com))	1
Obr. 2 – Ložiska bentonitu v ČR (geologie.vsb.cz)	3
Obr. 3 – Technologický postup (Zakládání staveb a.s.)	6
Obr. 4 – Řez vtanou studnou (ČSN 75 5115)	7
Obr. 5 – Bentonitová rohož (Lineko s.r.o.).....	8
Obr. 6 – Bentonitový těsnící pás (MEDIUM International s.r.o.)	9
Obr. 7 - Schéma HÚ podle SKB (Sweden)	10
Obr. 8 – Prefabrikované tvárnice z bentonitu jako buffer (Vašíček a kol.).....	11
Obr. 9 - Test nástřiku bentonitu suchou technologií.....	12
Obr. 10 – Vybrané bentonity od Keramost a.s.	17
Obr. 11 - Recyklát	17
Obr. 12 – Schéma filtrace	19
Obr. 13 – Sestava na stanovení viskozity Marsh	20
Obr. 14 – Indikátorové papírky a barevná stupnice pH	21
Obr. 15 – Prosévací zařízení s vibrační deskou	24

Seznam grafů

Graf 1 – Závislost objemové hmotnosti suspenze na obsahu bentonitu	26
Graf 2 – Závislost viskozity Marsh na obsahu bentonitu	26
Graf 3 – Závislost hydraulické vodivosti na objemové hmotnosti (Hausmannová)	27
Graf 4 – Zrnitostní čáry recyklátu	29
<i>Graf 5 – Závislost bobtnacího tlaku na objemové hmotnosti sušiny (Hausmannová)</i>	<i>30</i>
Graf 6 – Závislost objemové hmotnosti sušiny na vlhkosti	30
Graf 7 – Závislost viskozity na obsahu bentonitu v suspenzi s vyznačeným rozsahem platnosti	31
Graf 8 – Závislost objemové hmotnosti bentonitové suspenze na obsahu bentonitu v suspenzi s vyznačeným limitem	32
Graf 9 – Závislost hydraulické vodivosti na objemové hmotnosti sušiny s vyznačenými limity podle jednotlivých aplikací.....	33
Graf 10 – Závislost bobtnacího tlaku na objemové hmotnosti sušiny s vyznačeným limitem ..	34

Seznam tabulek

Tab. 1 – Požadavky na bentonitovou suspenzi pro pažení podzemních stěn (ČSN EN 1538)...	13
Tab. 2 – Požadavky na bentonitovou suspenzi pro pažení vrtů pilot (ČSN EN 1536)	13
Tab. 3 – Hodnoty viskozity podle obsahu bentonitu	25
Tab. 4 - Hodnoty objemové hmotnosti suspenze podle obsahu bentonitu.....	25
Tab. 5 – Hodnoty pH.....	27
Tab. 6 – Hodnoty vlhkosti a sypné objemové hmotnosti sušiny.....	28
Tab. 7 – Propady na sítích recyklátu frakce 0,8 - 2mm	29
Tab. 8 – Propady na sítích recyklátu frakce 2 – 5mm.....	29