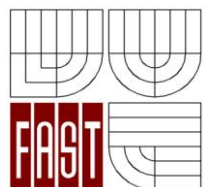




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

TECHNOLOGIE SANACE SYPANÝCH HRÁZÍ S VYUŽITÍM VHODNÝCH TYPŮ ODPADŮ

REHABILITATION TECHNOLOGY OF EMBANKMENT DAMS BY USING SUITABLE TYPES OF WASTE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MAGDALÉNA KOCIÁNOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. ROSTISLAV DROCHYTKA, CSc., MBA

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Magdaléna Kociánová
Název Technologie sanace sypaných hrází s využitím vhodných typů odpadů
Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2012
Datum odevzdání bakalářské práce 24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Vedoucí ústavu



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

MACEKOVÁ, V. Zakládání staveb. Brno: ERA, 2006

FEČKO, P., et al. Popílky. VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2003.

ŠAMALÍKOVÁ, M. Geologie a inženýrská geologie. 1989

ČSN 75 2410 - Malé vodní nádrže

ČSN 75 2310 - Sypané hráze

ČSN CEN ISO/TS 17892-11 - Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 11: Stanovení propustnosti zemin při konstantním a proměnném spádu

Výzkumné zprávy a protokoly ústavu THD, příspěvky ze sborníků konferencí, odborné články, časopisy, normy.

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Povodně představují jednu z největších přímých nebezpečí v oblasti přírodních katastrof. Mezi nejčastější strukturální opatření jak se před nimi chránit jsou stavby hrází podél vodních toků (tzv. ochranné hráze) a hrází nádrží (přehrad a malých vodních nádrží). Jejich stav je však v současné době poměrně kritický a je tak nutno řešit otázku jejich oprav. Vzhledem k jejich počtu a rozsahu je nutno nalézt optimální technologii sanace.

Cílem bakalářské práce je navrhnout vhodnou technologii sanace sypaných hrází, včetně využití vhodných alternativních surovin optimálních pro různé lokality ČR.

1. Zhodnoťte v současnosti známé technologie sanace sypaných hrází, včetně technologií alternativních. Zaměřte se na různé typy používaných materiálů.
2. Zhodnoťte využívané klasické suroviny pro technologie sanace, stanovte jejich funkci s ohledem na primární vlastnosti a zhodnoťte dostupnost těchto surovin v rámci ČR.
3. Na základě poznatků předchozí části navrhnete alternativní typy surovin na bázi různých typů odpadů, recyklátů nebo vedlejších produktů. Zhodnoťte výskyt těchto druhotných surovin v ČR.
4. Navrhnete optimální technologii sanace sypaných hrází s využitím surovin, vhodných pro danou lokalitu. Využijte vhodné metody optimalizace.

Rozsah 40-50 stran.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Předmětem této práce je nalezení optimální technologie pro provádění oprav stávajících sypaných hrází s důrazem na jednoduchost a ekonomickou nenáročnost. Dále se zhodnotí parametry vybraných vedlejších energetických a odpadních materiálů jako částečné náhrady kvalitního montmorillonitického jílu. Snahou bude maximální využití těchto odpadních materiálů. Na závěr se provede výběr materiálů pro danou lokalitu. Využití vhodných typů odpadů pro opravy stávajících sypaných hrází technologií injektáží směsi na jílové bázi má velkou perspektivu, zejména u těch hrází, které již díky stáří neplní svou funkci.

Klíčová slova

Bakalářská práce, sanace sypaných hrází, vodní nádrž, injektáž, klasická injektáž, jíl, jílové suroviny, bentonit, vápno, stavební vápno, mez tekutosti, cement, popílký, druhotné suroviny,...

Abstract

The subject of this work is to find an optimal technology for repairing existing embankment dams with emphasis on simplicity and ecological scalability. Next, secondary energy and waste materials will be evaluated as a partial replacement of a quality montmorillonitic clay. The aim of this will be to maximize the use of these waste materials. In the end a selection of materials for the locality will be made. The use of appropriate types of waste for repairs of embankment dams with clay based grouting compound technology has a great potential, especially with those dams that are not fulfilling their function due to their age.

Keywords

Bachelor thesis, remediation of earth dams, water tank, injection, classical injection, clay, loamy materials, bentonite, lime, building lime, limit fluidity, cement, ash, secondary raw materials ...

Bibliografická citace VŠKP

KOCIÁNOVÁ, Magdaléna. *Technologie sanace sypaných hrází s využitím vhodných typů odpadů*. Brno, 2013. s. 79. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....
podpis autora
Magdaléna Kociánová

Ráda bych poděkovala prof. Ing. Rostislavu Drochytкови, CSc., MBA vedoucímu mé bakalářské práce, za jeho odborné vedení, dále bych chtěla poděkovat Ing. Vítu Černému Ph.D., za cenné rady a čas, který mi poskytoval v průběhu vypracování této bakalářské práce, a v neposlední řadě mé rodině a přátelům za podporu ve studiu.

OBSAH

1	Metodika práce	4
2	Cíl práce	5
3	Úvod.....	6
4	Etapa 1: Technologie provádění sypaných hrází.....	7
4.1	Normové požadavky na sypané hráze	7
4.1.1	Zatřídění zemin a vhodnost zemin pro výstavbu hráze	7
4.2	Způsoby provádění sanace sypaných hrází.....	8
4.2.1	Klasická injektáž.....	8
4.2.2	Technologie Prodicon	10
4.2.3	Metoda Soilfrac	11
4.2.4	Trysková injektáž	13
4.2.5	Štětové stěny	13
5	Etapa 2: Vhodné materiály pro sanace sypaných hrází	14
5.1	Nestabilní suspenze.....	16
5.2	Stabilní suspenze.....	16
5.3	Jíl	17
5.3.1	Využití jílu	21
5.3.2	Ložiska jílu v ČR	21
5.3.3	Čtyři nejdůležitější minerály, které jsou hlavními složkami jílu	22
5.4	Bentonit.....	24
5.4.1	Rozdělení bentonitů	24
5.4.2	Využití bentonitů.....	24
5.4.3	Produkce bentonitů ve světě a v ČR.....	24
5.4.4	Požadavky na vlastnosti bentonitů.....	25
5.4.5	Hledisko rozdělení bentonitů.....	26
5.4.6	Nejdůležitější ložiska bentonitů v ČR.....	27

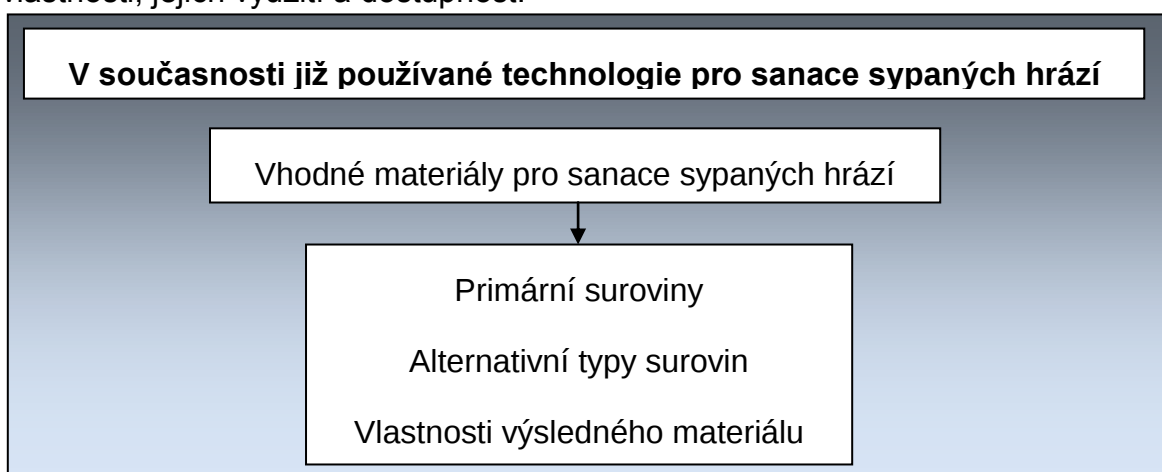
5.5	Cement	28
5.5.1	Cement v Čechách a na Moravě	29
5.5.2	Přehled základních druhů cementů	29
5.5.3	Použití cementů vhodných pro sanace sypaných hrází	30
6	Alternativní typy surovin.....	31
6.1	Popílek.....	31
6.1.1	Charakteristika popílků z vybraných spalovacích procesů	32
6.1.2	Vlastnosti popílků	34
6.1.3	Použití popílků ve stavební výrobě	36
6.2	Jíl Ge.....	37
6.2.1	Ložiská jílu Ge.....	38
6.2.2	Základní vlastnosti jílu Ge	38
6.3	Vápno	41
6.3.1	Vzdušné vápno	41
6.3.2	Vápno na našem území	41
6.4	Kamenná moučka - Filler.....	42
7	Druhotné suroviny.....	43
7.1	Odpad z praní drceného vápence.....	43
7.2	Odpadní slída.....	44
7.3	Energosádrovec	45
7.4	Odpad z kamenolomu, těžba amfibolů	45
7.5	Odpad z kamenolomu	45
7.6	Odpad z výroby dlažby (brusné a řezné kaly)	46
7.7	Slévárenský písek	46
7.8	Odpad z drcených cihel (cihelná drť).....	47
7.9	Ocelářská struska	47
7.10	Odpadní lupek	48
7.11	Betonová drť.....	48

7.12	Skleněná drť	49
7.13	Vysokopecní struska	49
7.14	Mramorová drť.....	50
7.15	Pěnové sklo (základ pro výrobu pěnového skla).....	50
8	Návrh optimalizace Technologií provádění.....	51
9	Návrh optimalizace surovin	54
9.1	Granulometrie.....	54
9.2	Sypná hmotnost	59
9.3	Chemické složení	60
9.4	Stanovení koeficientu filtrace	61
9.4.1	Termíny a definice.....	61
9.4.2	Zkouška v propustoměru s konstantním spádem	61
9.5	Optimalizace Surovin.....	64
10	Závěr	69
11	Použitá literatura.....	71
	SEZNAM TABULEK	75
	SEZNAM OBRÁZKŮ	76
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	77
	SEZNAM PŘÍLOH.....	79
	SUMMARY	83

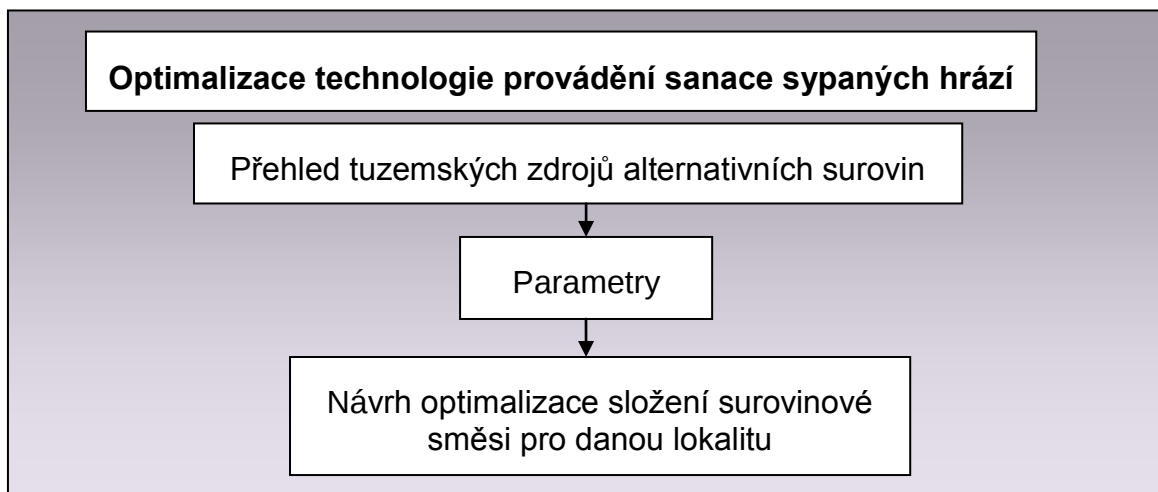
1 METODIKA PRÁCE

V teoretické části se budu zabývat v současnosti známými technologiemi sanace sypaných hrází. Uvedu přehled používaných technologií, které se již v ČR používají. Dále uvedu, na jakém principu jednotlivé technologie pracují a s jakými materiály se sanace provádějí. Pro jednotlivé technologie uvedu jejich výhody, nevýhody a následně zpracuji optimalizaci. Optimalizací upřesním, jaká bude nejvhodnější metoda provádění sanace sypaných hrází.

Dále uvedu materiály, které jsou pro provádění sanace sypaných hrází nejvhodnější. Zaměřím se na různé typy používaných materiálů, jejich vzájemnou kombinaci a uvedu jejich vlastnosti. U jednotlivých materiálů zhodnotím primární vlastnosti, jejich využití a dostupnost.



V praktické části zhodnotím získané poznatky o technologiích sanace sypaných hrází. Na základě optimalizačního výpočtu vyberu vhodnou technologii pro provádění. Dalším postupem práce bude vyhodnocení vhodnosti primárních a alternativních surovin pro danou lokalitu. Na základě jejich fyzikálních a mechanických vlastností vyberu vhodné alternativní suroviny pro danou lokalitu. Důraz bude kladen na maximální využití vedlejších produktů.



2 CÍL PRÁCE

Předmětem této práce je nalezení optimální technologie pro provádění oprav stávajících sypaných hrází s důrazem na jednoduchost a ekonomickou nenáročnost. Dále se zhodnotí parametry vybraných vedlejších energetických produktů a odpadních materiálů, jako částečné náhrady kvalitního montmorillonitického jílu. Snahou bude maximální využití těchto materiálů. Na závěr se provede optimalizace technologií provádění sanace sypaných hrází a výběr materiálů pro danou lokalitu. Využití vedlejších energetických produktů pro opravy stávajících sypaných hrází má velkou perspektivu, zejména u těch hrází, které již díky stáří neplní svou funkci.

3 ÚVOD

V rámci bakalářské práce sanace sypaných hrází se zabývám otázkou vhodného materiálového složení a technologií provádění pro zmírnění či zamezení průsaků. V hlinitém těsnícím jádru, nebo v homogenní hrázi může dojít vlivem nestejnomyšerného sedání k vytvoření tahových trhlin, které by byly následkem průsaků. Prosakování hráze může mít katastrofální následky, které se mohou projevit během týdnů či měsíců. Proto je nutné pečlivé sledování a případné zabezpečení hráze. Kolísání hladiny podzemních vody se projevuje obvykle poblíž řek, přehrad, hrází atd. Z těchto důvodů řeším otázku oprav stávajících hrází. Jejich přestavba by byla časově, ekonomicky a technologicky náročná, proto je nutné navrhnout optimální technologii pro opravy hrází.

V první fázi je nutno zjistit hladinu podzemní vody, případně kam až může vstoupit. Pro injektáž se volí většinou jílocemetová směs, pro jejíž přípravu je vhodné použít jílu typu illit [1]. U jílovitých zemin prostupuje voda velmi pomalu, proto jej volíme jako jeden z hlavních materiálů pro volbu injektáže. Jíl typu illit má téměř 10x menší aktivitu oproti bentonitu. Díky tomu můžeme volit 5x až 8x větší množství tohoto jílu než cementu, který by nám zajišťoval stabilitu průsaku. Pro zajištění geotechnických vlastností, podobajících se vlastnostem hlín těsnícího jádra, je větší množství jílu žádoucí. K těmto účinkům zjišťujeme koeficient filtrace (propustnosti) podloží.

Ve druhé fázi řešení se zabývám otázkou vhodného výběru materiálů, které by byly pro technologii provádění sanace sypaných hrází nejvhodnější. Hlavní funkcí těchto materiálů je zvýšení odolnosti nepropustnosti hráze.

Pro injektáž se dále předpokládá vhodné využití vedlejších energetických produktů a druhotných surovin. Tyto materiály se vyznačují nejen nízkými pořizovacími náklady, ale v mnoha případech jsou plnohodnotnou náhradou klasických stavebních látek. Hlavní těsnicí složku nám tvoří jíly. Pro zajištění vysoké pevnosti v tlaku a tahu za ohybu volíme jako pojivový materiál cement. Cement také zajišťuje dobrou čerpatelnost. Další důležitou složkou jsou plniva, která budou zajišťovat maximální objemovou hmotnost při dané vlhkosti a snižovat hodnotu součinitele propustnosti. Vzájemná kompatibilita jednotlivých složek zajistí vhodnou injektáž.

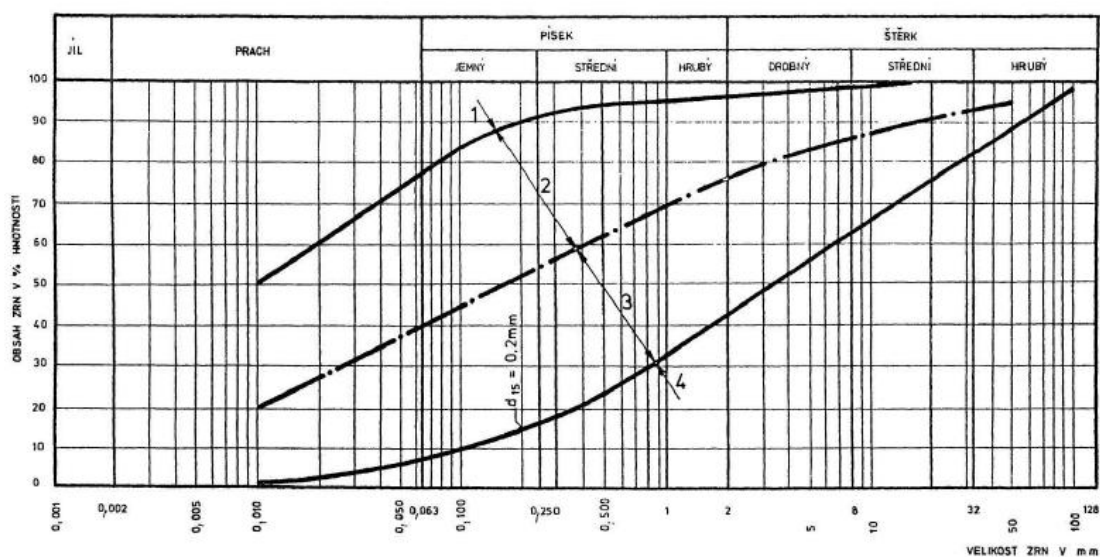
4 ETAPA 1: TECHNOLOGIE PROVÁDĚNÍ SYPANÝCH HRÁZÍ

4.1 NORMOVÉ POŽADAVKY NA SYPANÉ HRÁZE

V následující kapitole jsou uvedeny požadavky na materiály pro stavbu sypaných hrází dle normy ČSN 75 2410 - Malé vodní nádrže. [35]

4.1.1 Zatřídění zemin a vhodnost zemin pro výstavbu hráze

Zeminy a jiné stavební materiály pro stabilizační části hráze mají být po zhutnění nepropustné, odolné vůči objemovým změnám vlivem počasí a průsakové vody. Nemají obsahovat organické látky a takové látky, které by mohly být rozpuštěny ve vodě, působit agresivně na konstrukci hráze a objektů. Doporučuje se, aby čára zrnitosti materiálu pro stabilizační část hráze ležela v oblasti 2, popř. 3 podle [35].



Obrázek 4-1 Čáry zrnitosti

Všechny materiál v tělese hráze musí být řádně zhutněn, a to nejméně:

- u soudržných zemin na 95 % maximální objemové hmotnosti sušiny podle standardní Proctorovy zkoušky;
- u sypkých (nesoudržných) zemin (materiálů) na 0,7 relativní hutnosti.

U soudržných zemin se nemá vlhkost při hutnění lišit o více než - 2 % až + 3 % od optimální vlhkosti podle standardní Proctorovy zkoušky. Při větších odchylkách vlhkosti se stupeň zhutnění určí individuálně.

Zatřídění zemin dle ČSN 75 2410 viz Příloha č. 1 až Příloha č. 7.

4.2 ZPŮSOBY PROVÁDĚNÍ SANACE SYPANÝCH HRÁZÍ

Jedním z ekonomicky a technologicky nejvhodnějších způsobů provádění oprav hrází je využití technologií injektáží. Tato technologie se používány například při provádění mikropilot, horninových kotev, těsnících stěn apod., kdy jsou zlepšovány vlastnosti základových půd.

4.2.1 Klasická injektáž

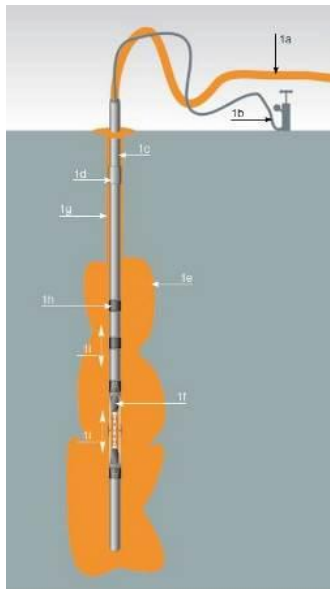
Technologií injektáže se zlepšují vlastnosti základových půd. Při injektáži hrází je injekční směs vháněna pod injekčním tlakem do hráze, kde vyplňuje predisponované nespojitosti násypu, jako jsou vrstevní spáry, trhliny, pukliny a jiné diskontinuity. [2] U proinjektované horniny se tak zlepšují její fyzikálně-mechanické parametry, jako jsou pevnost v tlaku, modul deformace a snižuje se její propustnost. Při injektáži nesoudržných hornin vyplňuje injekční směs póry mezi zrny horniny, které stmeluje, čímž vytváří umělý horninový geokompozit. Takto proinjektovaná nesoudržná hornina má lepší mechanické vlastnosti a sníženou propustnost.

Pro injektáž je vždy nutno vyhloubit vrt (Obrázek 4 - 2), který v soudržných a skalních horninách slouží přímo pro osazení dvojitého nebo jednoduchého obturátoru, jímž je omezena injektovaná etáž. V nesoudržných horninách se do vrtu vyplněného zálivkou osazuje manžetová trubka, která je v injektovaném úseku vrtu opatřena perforací, překrytou gumovými manžetami plnícími funkci zpětného ventilu. Pro dosažení vyšších pevností se používají stabilizované cementové směsi, pro těsnicí účely směsi jílocementové a pro injektáž hornin s malými póry pak směsi na bázi roztoků.

Zásadně platí, že největší zrno injekční směsi musí být alespoň 3x menší, než jsou póry injektovaného prostředí. Injekční tlaky, pod kterými je směs do horniny vháněna, závisejí na vlastnostech injektovaného prostředí, vlastnostech injekční směsi a zásadách injekčních prací. Injekční tlak by měl dosáhnout maximálně 80 % smykové

pevnosti injektovaného prostředí, aby při injektáži nebyla porušena struktura a charakter horniny.

Moderní injekční stanice s vysokým výkonem a řízením injekčních prací pomocí čidel a snímačů s automatickým vyhodnocováním a kontrolou jsou základní zárukou kvality a hospodárnosti této technologie.



Obrázek 4-2 Charakteristický řez klasickou injektáží [2]

Legenda:

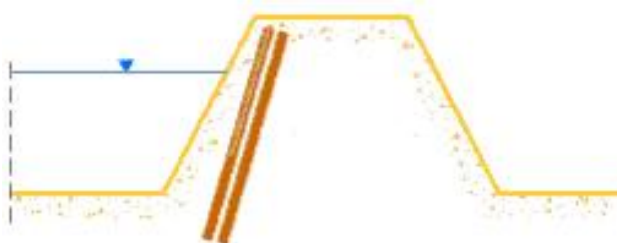
1a přívod injekční směsi	1d spojník	1g zálivka
1b ovládání obturátoru	1e vytvrzená injekční směs	1h gumová manžeta
1c perforovaná injekční trubka	1f dvojitý obturátor	1i etáž

Injektáže mají ve stavební praxi široké pole využití; injektáží podloží přehrad a jiných vodních děl se vytvářejí těsnící nepropustné clony, které brání průsaku vody z nádrží. Injektážemi jsou vytvářeny zpevněné a vodotěsné zóny nad tunely, štolami a jinými raženými díly, které umožňují zrychlení postupu ražeb a zvyšují jejich bezpečnost. Injektáže se uplatňují při rekonstrukcích a opravách porušeného zdiva historických objektů, kde napomáhají zvýšení celkové tuhosti objektů.

Pro správný a hospodárný návrh i provedení injekčních prací je nutná dokonalá znalost charakteru injektovaného prostředí, vlastnosti injekční směsi a průběžná okamžitá reakce na interakci horniny, aplikované směsi a použitého tlaku. [2]

4.2.2 Technologie Prodicon

Technologie Prodicon je speciálně vyvinuta pro provádění stabilizací hrází pomocí injektáží. Cílem je vyvinout upravené jílovité směsi k získání nepropustného a erozi-odolného těsnění hrází.



Obrázek 4-3 Schéma uložení injektáží v tělese hráze [2]

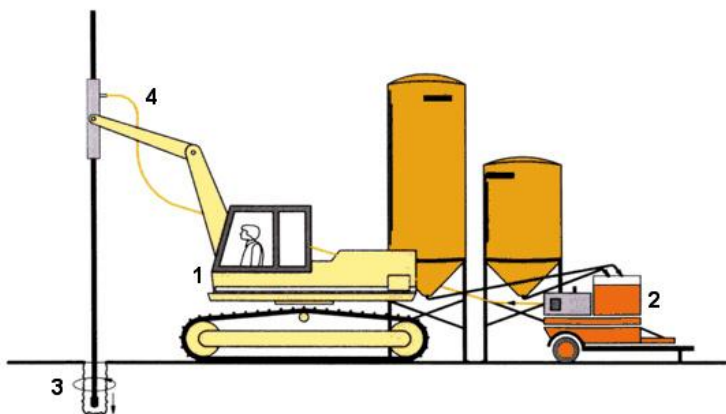
Na Obrázku 4-3 je znázorněn způsob rozložení injektáží pro zpevnění hráze. Důležité pro tyto typy ukládání je především fakt, že v mnoha případech není možný pojezd těžkých stavebních strojů přímo po koruně hráze. Z tohoto důvodu jsou s výhodou používány menší stroje nebo stroje s dostatečně dlouhým ramenem pro umístění po straně hráze. Nové těsnící jádro hráze musí zabránit dalšímu promáčení a měknutí hráze. Základní požadavky na těsnící materiál jsou nízká propustnost vody, vysoká odolnost proti erozi, vysoká stabilita a dobrá zpracovatelnost. Tak zvaná MTG směs (Modifiziertes Tongemisch - modifikovaná jílová směs) se skládá hlavně ze směsi jílových materiálů. Jednotlivé částičky směsi pronikají pomocí vody do pórů půdy. To vede ke zvýšení adhezních sil, které jednotlivé částice půdy drží pohromadě. Výsledkem je redukce objemu pórů a tím i minimalizace součinitele hydraulické vodivosti k .

MTG směsi jsou speciálně navrženy včetně technologických postupů míchání, dopravy a uložení. Směs je umístěna ve struktuře prostřednictvím vrtů. Pro tento účel je s výhodou využita technologie tlakových injektáží. Ve srovnání s konvenčními metodami těsnění je použití upravených jílových směsí finančně výhodnější.

Pomocí této technologie je omezeno vymývání materiálu z hráze. Tento způsob je proveden použitím těsnícího jádra při výstavbě. Způsob provedení je pomocí klasického rypadla se speciálními úpravami. [2]

Na Obrázku 4-4 je znázorněno možné uspořádání strojního vybavení technologie Prodicon. Technologický postup lze formulovat do základních 4 fází:

- vytváření vývrtu,
- vytváření vývrtu s přidavkem jílové směsi,
- po dosažení požadované hloubky se provádí injektáž jílovou směsí za současného vytahování vrtáku s jádrem zeminy,
- začištění záhlaví a pokračování dle předem dané rozteče.



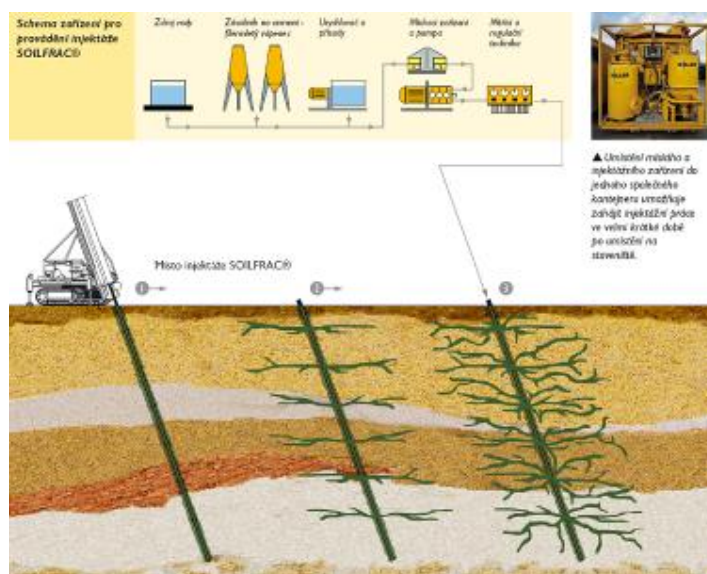
Obrázek 4-4 Schéma technologie Prodicon [2]

(1 rypadlo s kruhovým vrtákem, 2 mixer s čerpadlem, 3 vytváření vývrtu, 4 injektáž směsí po fázích)

4.2.3 Metoda Soilfrac

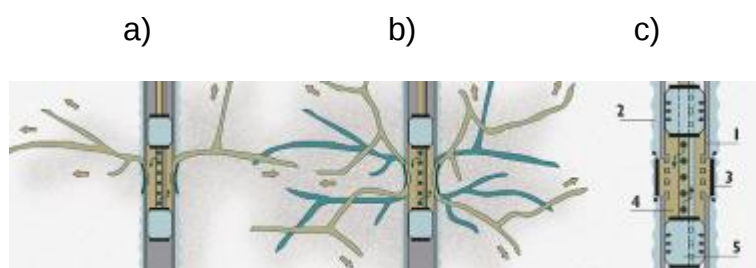
Všude, kde není možno použít klasické metody injektáže pro zakládání, nebo sanaci existujícího založení a dále v případech, kdy je nutno dosáhnout řízených deformací objektů, je možno použít metodu injektáže SOILFRAC®. Jedná se o metodu, která dosud mezi klasickými metodami injektáží chyběla (Obrázek 4-5 a Obrázek 4-6). Vývoj speciální měřicí techniky a postupů s tím spojených dnes umožňuje provádět řízené zdvihání objektů až do hodnoty několika decimetrů. [3]

Pomocí tlakové injektáže se v zemině vytvoří řada kanálů (fracs, odkud je také odvozen název metody SOILFRAC®) vyplněných injektážní směsí, která postupně zatvrdne. Několikanásobným injektováním je dosaženo zlepšení jakékoli zeminy a v případě potřeby je možno provádět řízené zdvihy.



Obrázek 4-5 Schéma zařízení pro provádění injektáže SOILFRAC® [3]

(1 - osazení injektážních trubek opatřených manžetami, prostor mezi injektážní trubkou a stěnou vrtu je vyplněn injektážní zálivkou, 2 - injektáž SOILFRAC® je prováděna pomocí obturátoru, který utěsní prostor v injektážní trubce nad a pod manžetou. To umožňuje injektáž přes jednotlivé manžety, 3 - Další injektážní stupně – Injektáž je prováděna přes jednotlivé manžety dle požadavků projektu buď jednou nebo vícenásobně)



Obrázek 4-6 Injektáž SOILFRAC® [3]

(a) prvotní injektáž, b) vícenásobná injektáž,

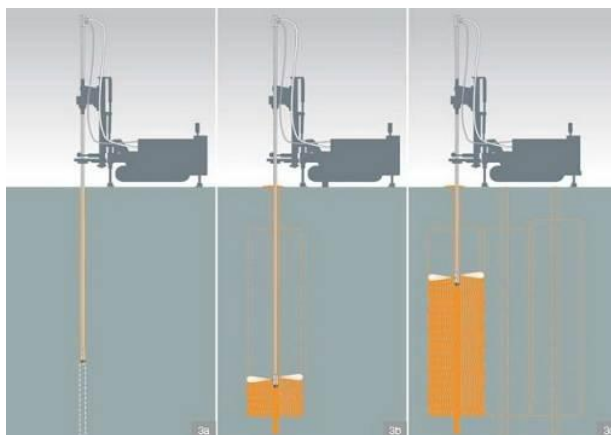
c) manžetová trubka – 1 injektážní trubka, 2 zálivka, 3 gumová manžeta, 4 injektážní směs, 5 obturátor)

V určeném prostoru se osadí injektážní trubky opatřené manžetami. Prostor mezi injektážní trubkou a stěnou vrtu je vyplněn injektážní zálivkou. Injektáž je prováděna pomocí obturátoru, který utěsní prostor v injektážní trubce nad a pod manžetou. To umožňuje injektáž přes jednotlivé manžety. Injektáž je prováděna přes jednotlivé manžety dle požadavků projektu buď jednou, nebo vícenásobně. Zde je pak nutné dodržet množství injektované směsi, maximální injektážní tlak a dodržet dostatečné časové prodlevy potřebné k vytvrdnutí injektážní suspenze. Injektážní trubky opatřené manžetami je možno opětovně používat po dobu dlouhých časových úseků. [3]

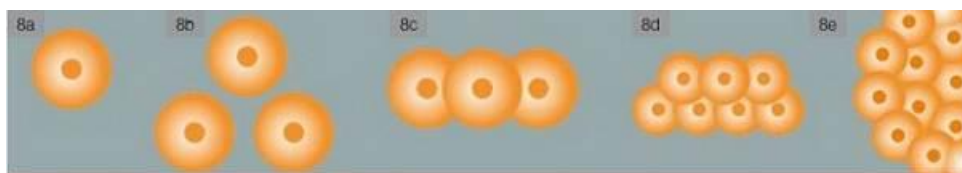
4.2.4 Trysková injektáž

Trysková injektáž (Obrázek 4-7 a Obrázek 4-8) je moderní, rychlá a efektivní metoda vytváření speciálních základových prvků v zeminách a eventuálně poloskalních horninách. Podstatou technologie je injektáž z vrtu do okolní zeminy, prováděná vysokým tlakem 30–55 MPa s použitím cementových a jílocementových směsí [2]. Paprsek injekční směsi proudící přes trysky rozpojuje horninu na jednotlivé úlomky nebo jednotlivá zrna, přičemž dochází k jejich vzájemnému mísení a po zatuhnutí k vytvoření požadovaných prvků (sloup, lamela či jejich kombinace). Dále také dochází k požadovanému zlepšení vlastností injektovaného prostředí.

Jednotlivé firmy používají různé technologie. [4]



Obrázek 4-7 Technologický postup provádění trykové injektáže [2]



Obrázek 4-8 Varianty použití sloupů trykové injektáže [2]

(8a sloup z trykové injektáže, 8b pole ze sloupů trykové injektáže,
8c stěna z trykové injektáže, 8d zdvojená stěna z trykové injektáže,
8e deska z trykové injektáže)

4.2.5 Štětové stěny

Využití štětovnic (Obrázek 4-9), především typu Larsen, má svoje opodstatnění v situacích, kdy je problematika proudění vody spojena se statickou funkcí. V České republice se praktikují štětové stěny pro jejich vcelku jednoduchou instalaci

a dostupnost. Avšak vzhledem k ceně oceli a současným možnostem se jeví masivní nasazení tohoto způsobu odclonění nebo zpomalení proudu vody v podzemí již jako neekonomické. [5]

Beranění nebo vibrování štětovnic může ztroskotat na výskytu starých podzemních konstrukcí nebo balvanitých frakcích zemin. Samozřejmě vyšší ulehlost nesoudržných zemin nebo vyšší stupeň konzistence soudržných zemin nasazení štětových stěn značně eliminuje.



Obrázek 4-9 Rekonstrukce a dotěsnění hráze vodního kanálu Nová řeka [2]

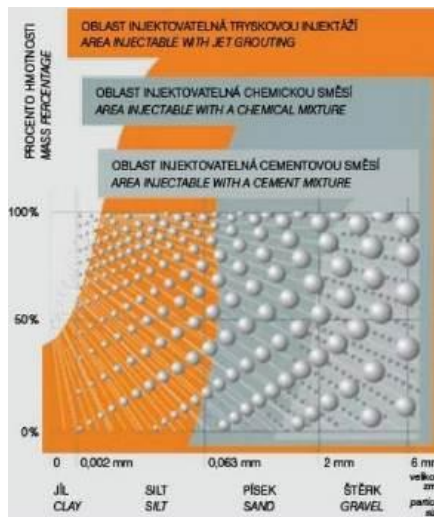
5 ETAPA 2: VHODNÉ MATERIÁLY PRO SANACE SYPANÝCH HRÁZÍ

Při injektování nesoudržných zemin vzniká velká spotřeba směsi. Pro utěsnění a zpevnění štěrků je možno použít různých směsí – od **jílocementových suspenzí** až po **chemické směsi z umělých pryskyřic**. Chceme-li dobře a ekonomicky splnit záměr, je třeba správně volit druh směsi. Hranice použitelnosti injekčních směsí jsou přibližně uvedeny na obrázcích (Obrázek 5-1 až Obrázek 5-4) Jakou směsí je možno injektovat určité prostředí, se zabývala řada autorů; vznikla četná kritéria, která se od sebe více nebo méně liší.

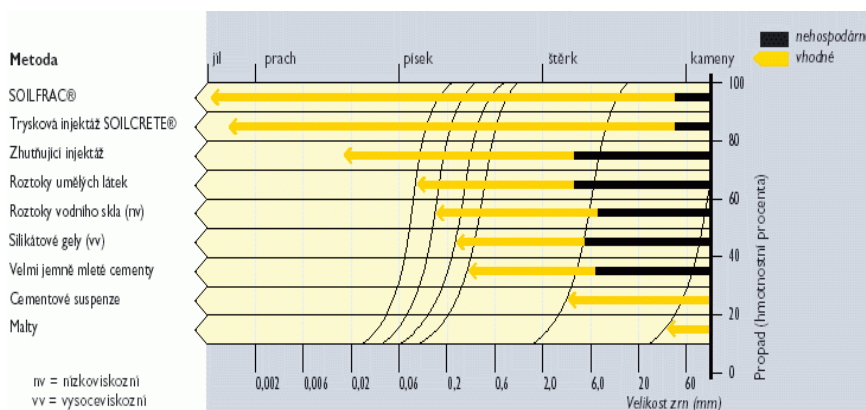
Pro injekční práce se mohou použít **organické pryskyřice**, které se vytvrzují v určitém čase, aby daly více nebo méně pevnou hmotu. Injekční směs vyrobená z umělých

pryskyřic nesmí mít příliš velkou viskozitu, ve styku s vodou nebo s injektovaným prostředím nesmí nic bránit polymeraci.

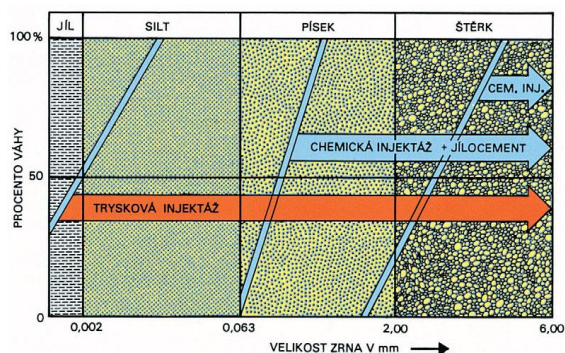
Patří zde pryskyřice ředitelné vodou (na bázi akrylamidu, fenolu a aminoplastů) a pryskyřice neředitelné vodou (epoxidové, polyesterové, akrylátové a polyuretanové pryskyřice).



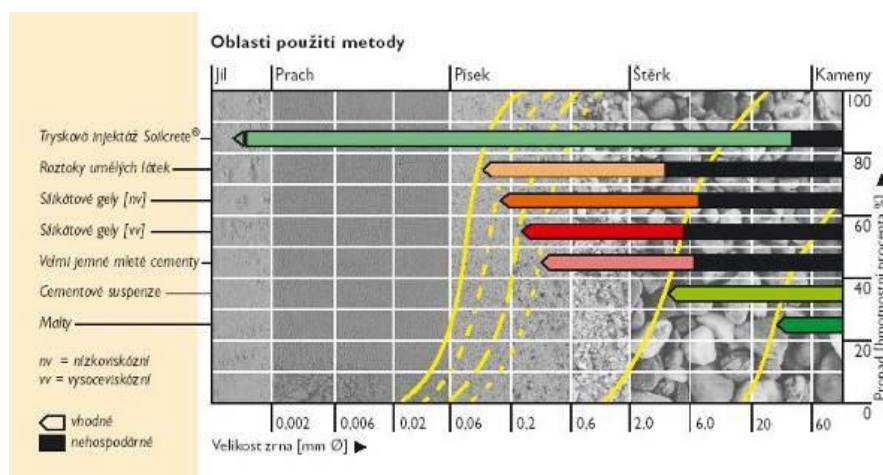
Obrázek 5-1 Grafické znázornění využitelnosti injektáží dle typu injektované zeminy [2]



Obrázek 5-2 Grafické znázornění aplikovatelnosti injektáží [3]



Obrázek 5-3 Grafické znázornění aplikovatelnosti tryskové injektáže [6]



Obrázek 5-4 Oblasti použití trykové injektáže Soilcrete [3]

Podle reologického chování, které hlavně určuje použití směsí, dělíme injekční směsi na [6]:

- nestabilní suspenze,
- stabilní suspenze,
- koloidní roztoky (evoluční),
- čisté roztoky (neevoluční),
- plynné emulze (rozpínavé směsi s velkým zvětšením objemu).

5.1 NESTABILNÍ SUSPENZE

Nestabilní suspenze (suspenze cementu a vody) jsou pro injektování nesoudržných zemin nevhodné. Cementové suspenze i při vyšším vodním součiniteli vytvářejí mezi zrny štěrkopískových náplavů velmi rychle tzv. ucpávky, které zamezují pronikání cementové suspenze. [8]

5.2 STABILNÍ SUSPENZE

Stabilní suspenze jsou ty, u nichž nedochází k dekantaci (k vylučování vody). Mezi stabilní suspenze patří:

- jílocementové směsi z jílu nebo bentonitu,
- suspenze z jílu nebo bentonitu stabilizované chemicky (pouze pro utěsňování),
- cementové suspenze z velmi jemného cementu.

Složení jílocementové suspenze je závislé na druhu použitého jílu. Použije-li se např. velmi kvalitní bentonit, jehož mez tekutosti je 500 % a více, je možné do 1 m³ směsi dávkovat 40–45 kg bentonitu a 200–250 kg cementu. Naopak při horší kvalitě jílu, s mezí tekutosti 50–60 %, se množství jílu zvýší nad 350 kg, ale množství cementu klesne na 50–80 kg.

Z technického hlediska lze říci, že jílocementové směsi vyrobené z nebentonitových jílu (např. z illitických) jsou kvalitnější než suspenze vyrobené z bentonitu a cementu.

5.3 JÍL

Jíl je sedimentární hornina, která vzniká destrukcí – rozkladem starších hornin, transportem různě velkých úlomků horninového materiálu, usazením materiálu transportovaného v pevném stavu nebo vyloučením látek v roztoku, k němuž dochází při chemických procesech nebo činnostech organismů. Vznik sedimentů můžeme rozdělit na několik etap. Skládají se z: mechanického rozrušování, zvětrávání výchozích hornin, transportu produktů mechanického rozrušování či zvětrávání a dále jejich sedimentace. Sedimentární horniny jsou nejrozšířenější na zemském povrchu. Proto se s nimi setkáváme jako s nejčastějšími základovými půdami. [12]

Jíl je tvořen převážně jílovitou hmotou (zrnitostní frakce pod 2 µm). Tato frakce se v jílu nachází ve více jak 50 %. Minerály nacházející se v jílu jsou rozděleny do různých skupin, kterými jsou například podskupina kaolinitu, skupina smektitu, skupina vermikulitu a dále smíšené vrstevné jílové minerály. Kromě jílových minerálů obsahuje jíl také některé další složky jako jsou: slídy, křemenný prach, organickou hmotu a fluidy. Přibýváním karbonátů přechází sediment do jílovitých vápenců, pokud narůstá objem organických látek, může přecházet do jílovitého uhlí. Textura je nejčastěji masivní, typickou vlastností je snadná rozplavitelnost ve vodě. Strukturní zralost jílu se definuje na základě obsahu ostatních zrnitostních frakcí. Jako jíly zralé se označují ty, které obsahují podíl jiných zrnitostních frakcí do 3 % (Obrázek 5-5). U mineralogické zralosti se za zralé považují jíly monominerální. Zbarvení je různé podle příměsí - bílé, šedé, žluté, hnědé, fialové a další. Druhotně mohou být zpevněné - jílovce, případně navíc nemetamorfne rekrystalizované - jílovité břidlice. Pokud převažuje v jílovité hornině uhličitán vápenatý, hovoříme o vápenitém jílu, který byl dříve označován

jako slín. Obsahuje-li jíl (jílovec) více než 10 % (podle jiných klasifikací nad 5 %) CaCO_3 , mluví se o vápnitém jílu (Obrázek 5-6). [12]

Z mineralogického hlediska můžeme podle převládajícího fylosilikátu rozlišit např. tyto horniny:

- *kaolinitový jíl*,
- *montmorillonitový jíl* – je hornina s převládajícím montmorillonitem, která vznikla sedimentací po předcházejícím transportu. Pokud se jedná o horninu reziduální, používá se označení bentonit. Bentonity se používají k zahušťování výplachů při hlubinném vrtání, jako přísada při výrobě některých cementů atd.,
- *illitový jíl* – nezpevněná hornina s vysokým podílem illitu je prakticky jeden z nejběžnějších sedimentů.

Jíl zásadně mění své vlastnosti v přítomnosti vody. V suché podobě je jíl sypkou horninou, při větším obsahu vody jíly bobtnají, spráše rozbředají a prosedají. Za sucha jsou jíly i spráše velmi tuhé, dochází k jejich smršťování. Jíly jsou také pohyblivé a náchylné k sesouvání. Vliv smršťování vlivem slunečního záření tzv. insolace, se v našich poměrech může projevit až do hloubky 1,5 m, výjimečně až do 2 m. Dalším činitelem smršťování jsou povětrnostní vlivy. [12]

Účinnost a charakteristika jílových surovin

Podmínkou plastičnosti jílových surovin je dostatečný obsah jílovitých minerálů, charakter jílových minerálů (zejména kationtů), vysoká disperzita částic zeminy a schopnost iontové výměny na povrchu částic. Tyto vlastnosti v souhrnu umožňují vázání vody na povrchu částic jílové suroviny. Nejvýznamnějšími jílovými materiály, které patří mezi tzv. vrstevnaté jednoduché minerály, jsou kaolinit, illit a montmorillonit (viz Tabulka 5-1).

Tabulka 5-1 Chemické složení jílových minerálů [10]

Druh	Obsah oxidů [% hm.]					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Ostatní	H ₂ O
Kaolinit teoreticky	46,5	39,5	-	-	-	14,0
Kaolinit	45,0 - 49,0	38,0 - 35,0	0,02 - 2,00	0,01 - 1,0	5,0 - 1,0	12,0 - 15,0
Montmorillonit	50,0 - 55,0	20,0 - 16,0	0,06 - 6,00	0,5 - 3,0	4,0 - 6,0	8,0 - 23,0
Illit	54,0 - 58,0	21,0 - 35,0	3,00 - 8,00	1,0 - 2,0	4,0 - 7,0	4,0 - 10,0

Hmotnostní podíly frakcí s částicemi menšími než 2 mm jsou základním kritériem pro třídění jílovitých surovin. Zmíněnými frakcemi jsou jílovina, prachovina, pískovina a šterkovina:

- **jílovina** má střední velikost částic $d < 0,002$ mm;
- **prachovina** obsahuje částice v rozsahu $d = 0,002 - 0,05$ mm
- **pískovina** obsahuje částice v rozsahu $d = 0,05 - 2,0$ mm;
- **šterkovina** obsahuje částice v rozsahu $d = 2,0 - 80,0$ (či $5,0 - 100$ mm).

Podle ČSN 72 1330 Jílové suroviny – Základní technické požadavky jsou definovány také jemnozemě (obsahují více jak 50 % částic $d < 2$ mm), které se dělí podle hmotnostního obsahu pouze do tří frakcí (jíloviny, prachoviny a pískoviny), ve sledované jemnozemě na jíly, hlíny, prachy a písky:

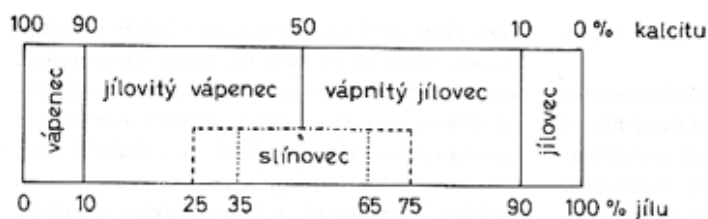
- **jíly** jsou definovány jako zeminy s obsahem 50 – 100 (% hm.) jíloviny, 0 – 50 (% hm.) prachoviny, 0 – 50 (% hm.) pískoviny,
- **hlíny** jsou zeminy s obsahem 20 – 50 (% hm.) jíloviny, 0 – 80 (% hm.) prachoviny a 0 – 80 (% hm.) pískoviny;
- **prachy** jsou zeminy s obsahem 0 – 20 (% hm.) jíloviny, 35 – 100 (% hm.) prachoviny a 35 – 45 (% hm.) pískoviny;
- **písky** jsou zeminy s obsahem 0 – 20 (% hm.) jíloviny, 35 – 60 (% hm.) prachoviny a 40 – 100 (% hm.) pískoviny. [10]

Stupnice zrnitosti a názvosloví					
f_i	mm			($\tilde{r}$)	(I)
-8	256	balvany	šterk, slepenec	psefit	rudit
	50	hrubé			
	10	střední			
		valouny drobné			
-1	2		písek, pískovec	psamit	arenit
0	1	hrubozrnný			
1	0,5	střednozrnný			
2	0,25	jemnozrnný			
4	0,063		silt, siltovec neboli prach, prachovec	dleurit	lutit
8	0,004				
9	0,002				
		jíl, jílovec			
			pelit		

Obrázek 5-5 Stupnice zrnitosti [9]

Poznámka:

Stupnice ani názvosloví nejsou dosud sjednoceny (např. (f) škála & dekadická škála; hranice frakcí nad 2 mm); hranice písek-silt; hranice silt běžné též 0,004 mm). Balvany velkých rozměrů, zejména nedostatečně zaoblené, bývají často nazývány bloky; drobné valouny se často nazývají valounky „ f_i “ (f) = $-\log_2 d$ (d = průměr částice); $\tilde{r}$ - názvosloví odvozené z řečtiny, I - z latiny.



Obrázek 5-6 Názvosloví hornin vápenec – jílovec [9]

Poznámka:

Termín slínovec (slín) bývá volně užíván pro hybridní horniny; jsou-li hranice vymezovány, pak nejednotně (tečkované, čárkované).

Jíly, jako nezpevněné jílové sedimenty, můžeme rozdělit na:

- říční jíly,
- ledovcové (morénové) jíly,
- jílovce,
- jílové břidlice (dříve jílovité břidlice).

5.3.1 Využití jílu

Jíly se používají jako ideální těsnicí vrstva v mokrému stavu. Při nasycení vodou se stává jíl pro další vodu naprosto nepropustný. Je vhodný jako podklad pro přehradu, hráze, či podklad pod skládky. Dále se používá v cihlářství, jako pojivo hliněných omítek, na dusané podlahy, k výrobě přírodního linolea, hrnčířství a další keramické výrobky, k čištění vlny a suken a k výrobě žáruvzdorného vybavení atd. [10]

5.3.2 Ložiska jílu v ČR

Jíly a jílovce jsou v ČR těženy povrchově a místy i hlubinně (Opatovicko), (Obrázek 5-7). [10]



Obrázek 5-7 Evidovaná ložiska v ČR [12]

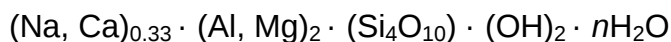
Legenda

- | | |
|---|----------------------------------|
| 1 - Kladensko-rakovnický permokarbon | 7 - Chebská a sokolovská pánev |
| 2 - Moravská a východočeská křída | 8 - Severočeská a žitavská pánev |
| 3 - Křída v okolí Prahy | 9 - Terciér a kvartér na Moravě |
| 4 - Lounská křída | |
| 5 - Jihočeské pánve | |
| 6 - Plzeňská pánev a terciérní relikt
středních a západních Čech | |

5.3.3 Čtyři nejdůležitější minerály, které jsou hlavními složkami jílu

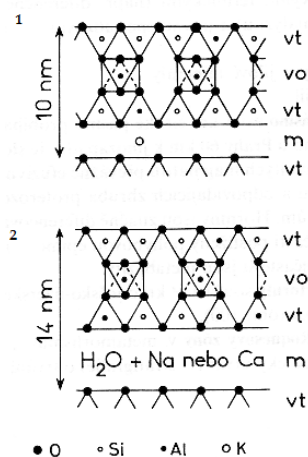
SILIKÁTY

Montmorillonit



Vzdálenost základního trojvrství je 1,27 nm (Obrázek 5-8). Vazby mezi krajními vrstvičkami tetraedrů, jejichž vrcholy jsou obsazeny kyslíky, jsou slabé a tím tato struktura umožňuje, aby do mezivrstevního prostoru snadno vnikala voda i různé kationty (tzv. výměna bází). To umožňuje zvětšování vzdáleností základních trojvrství až na 1,5 nm. Tento jev vyvolává objemové změny v horninách s montmorillonitem, které se objevují jak bobtnáním, tak i smršťováním.

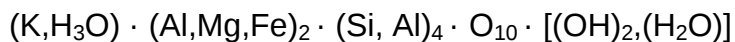
Montmorillonické jíly se využívají v průmyslu jako těsnící hmoty nebo se používají k bělení a k výrobě různých chemických výrobků.



Obrázek 5-8 Vzdálenost základního trojvrství [9]

1-Illit, 2 – Montmorillonit

Illit



Vzdálenost základního trojvrství je 1 nm. Účinkem některých iontů, např. K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} se může zvětšovat až na 1,4 nm. Naopak při reakci s chloridy, speciálně s KCl, se vzdálenost trojvrství zmenšuje na původní 1 nm. Tyto strukturní změny mají za následek vznik různých modifikací illitu a rovněž způsobují objemové změny illitických

jílovitých základových půd. Souvisejí i se vznikem některých speciálních textur jílu, např. tzv. potrhaných jílu.

Křemen SiO_2

Je nejčastějším minerálem kyselých vyvřelin, vyskytuje se v metamorfitech a sedimentech. Křemen tvoří jeden z nejdůležitějších prvků hojně se vyskytujících v přírodě. Barva je nejčastěji bělošedá, lesk je kalný a tvrdost vyšší než tvrdost oceli. Významnou vlastností křemene je, že je neštěpný. V sedimentech bývá alotigenní (transportovaný), v metamorfitech může vytvořit žilné výplně hydrotermálního původu. Vytváří rovněž křemenné horniny orto - a metakvarcity.

NESILIKÁTY

Anhydrit CaSO_4 a sádrovec $\text{CaSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

Jsou minerály, které se vyskytují především v sedimentech, a to v některých jílech a slínkách. Barva je bílá nebo nažedlá, štěpnost dokonalá. Přítomnost těchto minerálů může způsobit síranovou agresivitu podzemní vody. [9]

Jílové minerály a jejich bobtnání

- *Kaolinit* – dvousíťový fylosilikát. Nedochází u něj k bobtnání v důsledku neexistence mezivrstevních výměnných kationtů. Vzniká především zvětráváním živců v kyselém prostředí.
- *Illit* – trojsíťový fylosilikát. Obsahuje mezivrstevní kationty, u kterých díky velkým přitažlivým silám mezi vrstvami nedochází k jejich hydrataci a tím pádem nedochází k bobtnání. Vzniká především zvětráváním slídových minerálů.
- *Montmorillonit* – trojsíťový fylosilikát. V mezivrstevním prostoru obsahuje snadno vyměnitelné kationty a snadno hydratovatelné. Vlivem nízkého náboje strukturní vrstvy se stává nejvíce bobtnavým ze všech jílových minerálů. Vzniká především zvětráváním vulkanického popela a láv, přeměnou silikátů. [9]

5.4 BENTONIT

Bentonitem se rozumí reziduální, nepřemístěná jílovitá hornina s mohutnou sorpční schopností, vysokou hodnotou výměny kationtů, bobtnáním a plastičností. Nositeli těchto vlastností jsou jílové minerály, především montmorillonit, případně beidelit. Přesné chemické i minerální složení bentonitu nelze vyjádřit. Bentonity vznikly mechanickým a chemickým zvětráváním matečné horniny (v alkalickém prostředí), především sopečných tufů a tufitů, v menší míře i andezitů, ryolitů, čedičů a jiných převážně třetihorních hornin. Technologicky se k bentonitům řadí i montmorillonitické jíly, u nichž obsah montmorillonitu výrazně ovlivňuje jejich vlastnosti a umožňuje jejich průmyslové využití. [13]

5.4.1 Rozdělení bentonitů

Bentonity lze zásadně rozdělit na:

- *Silně bobtnavé*: Na-bentonity, tzv. bentonity wyomingského typu. Ložiska této suroviny se nacházejí především v USA, v ČR se ložiska sodných bentonitů nevyskytují.
- *Méně bobtnavé*: draselné, vápenaté a hořečnaté bentonity případně jejich kombinace. Tyto bentonity lze průmyslově obohacovat sodíkem tzv. aktivací. I přes to bobtnací schopnosti aktivovaných bentonitů však nedosáhnou takové hodnoty jako u Wyomingu. [13]

5.4.2 Využití bentonitů

Ve stavebnictví se bentonit používá jako těsnění skládek, tunelů, přehrad a jiných vodních děl. Dále při zlepšování zemin injektáží a ochraně spodních vod. [13]

5.4.3 Produkce bentonitů ve světě a v ČR

Hlavním světovým producentem bentonitu jsou Spojené státy americké (cca 2 mil. tun ročně). Tyto bentonity patří mezi nejkvalitnější na světě. Zásoba přírodních sodných bentonitů je dostatečně velká. Dalšími významnými producenty bentonitu jsou státy bývalého SSSR (kolem 1,7 mil tun/rok), Čína (odhaduje se produkce kolem

1,5 mil. tun/rok), SRN (800 kt/rok), Řecko (600 kt/rok), Japonsko (570 kt/rok), následuje Itálie, Španělsko, Indie, Turecko a další země.

ČR vytěží ročně kolem 70 kt bentonitu, což činí přibližně 0,75 % světové produkce bentonitu. Producenty bentonitu v ČR jsou např. Keramost, a. s. (největší český producent bentonitů), Calofrig Borovany, a. s., Sedlecký kaolin, a. s. a další.

Správcem řady netěžených ložisek je Geofond České republiky. [13]

Tabulka 5-2 Průměrné chemické složení severočeských bentonitů (dle Keramostu, a. s.) [13]

Název	Množství [%]	Název	Množství [%]
SiO ₂	50,0 - 57,0	CaO	1,7 - 3,1
Al ₂ O ₃	15,7 - 17,3	K ₂ O	0,3 - 1,2
Fe ₂ O ₃	8,8 - 17,0	FeO	0,1 - 1,0
H ₂ O	5,3 - 6,3	Na ₂	0,1 - 0,4
TiO ₂	3,8 - 6,3	MnO	0,1 - 0,3
MgO	2,5% - 3,5	Li ₂ O	0,1
P ₂ O ₅	0,1	(obsah montmorillonitu - 65-80 %)	

5.4.4 Požadavky na vlastnosti bentonitů

Rozsah a zaměření výzkumu bentonitů je dáno ojedinělými požadavky vyplývajícími z oblasti jeho využití. Bentonit, popř. materiál na bázi bentonitu, bude v hlubinném úložišti hlavním stavebním materiálem inženýrské bariéry, zabraňujícím možnému propustnosti vody z hráze. Bentonit má funkci tlumící, výplňovou a těsnící. Proto mezi základní geotechnické požadavky kladené na bentonitovou bariéru jsou [13]:

1. Velice nízká propustnost

(filtrační součinitel $k = 10^{-10} - 10^{-14} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Výběr bentonitu či návrh materiálu na bázi bentonitu (směs), který bude splňovat požadované parametry nepropustnosti (k), není tím největším problémem. Vlastní materiál tento požadavek splní poměrně snadno. Se vznikem jakékoliv plochy nespojitosti se však rapidně zvyšuje nebezpečí úniku vody. Plochy nespojitosti jsou potenciálním zdrojem vzniku cest pro šíření vody v jakémkoliv skupenství.

Tyto poruchy mohou snadno vzniknout i na kontaktu stejných materiálů zpracovaných odlišnou technologií (např. různě zhutněné vrstvy systému).

Nepropustnost bude též nepříznivě ovlivňovat „přirozené“ stárnutí materiálu – reologické změny.

2. Bobtnací schopnost

Bobtnací schopnost materiálu je důležitá především z důvodu nutnosti uzavírání ploch nespojitosti (spár a trhlin) při jejich kontaktu s podzemní vodou (samohojení). Bobtnací schopnost, v geotechnice popisovaná velikostí bobtnacího tlaku, by měla být optimalizována pomocí přísad. Bobtnací tlak nesmí negativně ovlivnit funkci hráze, popř. funkci přírodní bariéry.

3. Plastičnost

Plasticita zemin je v geotechnice definována jako rozsah vlhkosti mezi hodnotou meze plasticity w_p a meze tekutosti w_l . Tento rozsah se vyjadřuje pomocí tzv. indexu plasticity $I_p = w_l - w_p$ [%].

Pro snadné samohojení ploch nespojitosti je příznivé, aby hodnota indexu plasticity byla co nejvyšší. Vysoká hodnota indexu plasticity znamená, že i při velkém zvýšení vlhkosti nad mez plasticity zůstává zemina plastickou (v plastickém stavu) a nepřechází do tekutého stavu. V plastickém stavu si zemina (bentonit) udržuje těsnící účinky.

Česká norma ČSN 731001 definuje oblast extrémně vysoké plasticity pro $I_p > 50$ % a $w_l > 90$ %.

5.4.5 Hledisko rozdělení bentonitů

Zkoumaný materiál lze rozdělit podle dvou hledisek [13]: *míry úpravy* a *stupně zhutnění*.

- *Míra úpravy* (přírodní, průmyslově upravovaný, směsi obou typů s přísadami)
- *Stupeň zhutnění* (sypké, hutněné a lisované)

SYPKÝ BENTONIT [13]

- **Přírodní**



- | | |
|------------|----------------------|
| 1. Rokle | 2. Hroznětín (Hájek) |
| 3. Stránce | 4. Černý Vrch |

- Průmyslově upravovaný



1. Rokle mletá neaktivovaná (přírodní bentonit upravovaný sušením, mletím, homogenizací)
2. aktivovaný "G" (bentonit průmyslově upravený sušením, mletím, homogenizací, obohacený Na^+ tzv. aktivací)
3. granulát (Stránce, Rokle), (bentonit upravovaný sušením, mletím, homogenizací, aktivací, granulací)

- Směsi

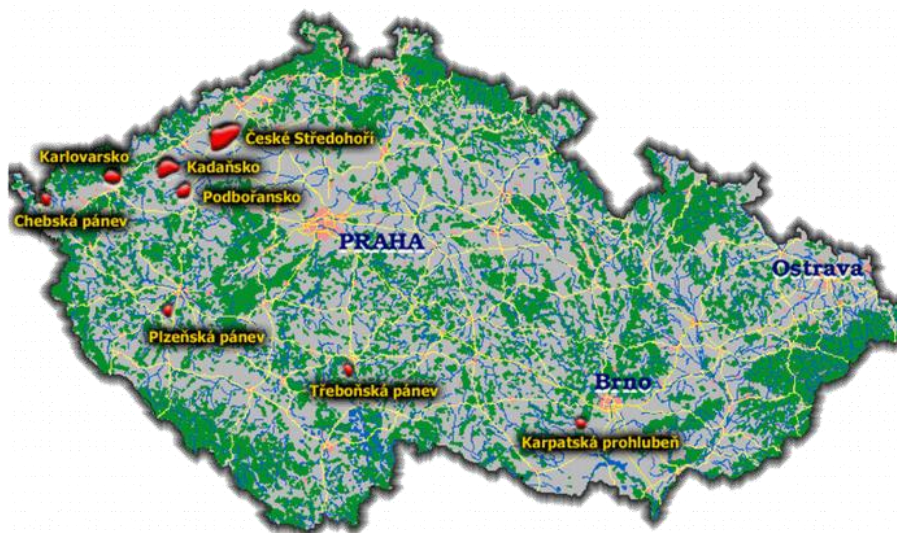


1. s grafitem - přidáním grafitu se zvyšuje tepelná vodivost směsi, která je v úložišti jaderného odpadu nutná pro rychlé odvádění tepla do okolní přírodní bariéry
2. s křemítem pískem - příměs písku snižuje bobtnací schopnost bentonitu

5.4.6 Nejdůležitější ložiska bentonitů v ČR

Česká republika se řadí mezi státy s velkými zásobami bentonitu. České bentonity jsou však podobných vlastností, většinou se jedná o bentonity hořečnato - vápenaté, případně vápenato - hořečnaté. Bentonity sodné se v ČR nevyskytují, proto se musí zdejší bentonity sodíkem obohacovat tzv. aktivací.

Bentonity se vyskytují převážně ve vulkanické oblasti severních Čech - v Českém Středohoří a oblasti Doupovských hor (Kadaňsko, Podbořansko, Karlovarsko), jednak v oblastech třetihorních pánví (Chebská, Plzeňská a Třeboňská pánev, Karpatská prohlubeň), (Obrázek 5-9). [13]



Obrázek 5-9 Mapa ložisek bentonitů v ČR [13]

5.5 CEMENT

Cementy jsou v současnosti nejpoužívanějším pojivem ve stavebnictví. Podle ČSN EN 197-1 (72 2101) je cement hydraulické pojivo, tj. jemně mletá anorganická látka, která po smíchání s vodou vytváří kaši, která tuhne a tvrdne v důsledku hydratačních reakcí a procesů. Po zatvrdnutí zachovává svoji pevnost a stálost také ve vodě. Díky spolupůsobení cementu s vodou a dalšími složkami jej volíme jako hlavní materiál pro vytvoření pevné struktury. Cement nám bude zajišťovat pevnost injektážního vývrtu. Vlivem vysoušení a vlhčení vývrtu, ve kterém se nachází těsnící směs, by mohlo dojít k objemovým změnám, vzniku trhlin atd., proto se volí cement jako stabilizační pojivo.

Cementy pro obecné použití podle ČSN EN 197-1 Cement – Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití, platná od 1. 4. 2002 jsou rozděleny do 5 hlavních skupin označených římskou číslicí I až V. Základem těchto cementů je portlandský slínek, který je spojován méně nebo více složkami. Ty zvyšují vlastnosti cementu. [14]

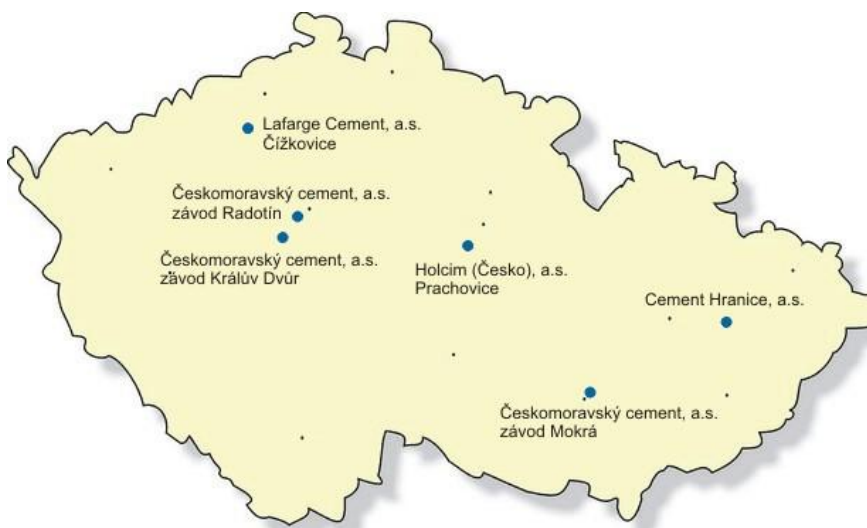
K rozlišení druhů cementů používáme barevné odlišení nápisů, a to [14]:

- CEM I - portlandské cementy - černou barvou
- CEM II - portlandské cementy směsné - zelenou barvou
- CEM III - vysokopecní cementy - červenou barvou

- CEM IV - pucolánové cementy - modrou barvou
- CEM V - směsné cementy - hnědou barvou

5.5.1 Cement v Čechách a na Moravě

V současné době je v České republice v provozu celkem pět cementáren (dvě na Moravě a tři v Čechách) – Obrázek 5-10 s celkovou produkcí zhruba 3850 kt.



Obrázek 5-10 Producenti cementu v České republice [14]

Poznámka:

V závodě Králův Dvůr byla v roce 2003 dočasně zastavena výroba, v provozu je balicí linka a expedice.

5.5.2 Přehled základních druhů cementů

Vyráběných druhů cementů je celá řada. Jednotlivé druhy se od sebe liší vstupními surovinami, obsaženými v surovinové směsi (nebo poměrem těchto surovin) a tím pádem složením slínku (a průběhem procesu tvrdnutí). Pomocnými látkami jsou ty, které se přidávají při mletí slínku. Odlišnosti v chemickém a mineralogickém složení mají za následek rozdílné vlastnosti různých druhů cementů.

Z hlediska používání cementů ve stavebnictví se cementy dají rozdělit na:

- cementy pro obecné použití,
- cementy speciální. [14]

5.5.3 Použití cementů vhodných pro sanace sypaných hrází

1. CEM III/A-P - Portlandský pucolánový cement

Vyrábí se mletím portlandského slínku a pucolánu (dovází se). Pucolán – vyvřelá hornina u sopek. Obsahuje vysoce reaktivní oxid křemičitý SiO_2 , který zvyšuje pevnost směsi. Pucolán je v podstatě křemičitý materiál v jemné formě, který v přítomnosti vody reaguje s hydroxidem vápenatým při malém množství uvolňování tepla, což se projevuje na jeho stabilitě, při výrobě cementové směsi. Vzhledem k větší jemnosti sloučeniny přispívají k vyšším pevnostem, vodotěsnosti a trvanlivosti konstrukce. Počáteční nárůst pevnosti v tlaku cementu je strmý, proto jej používáme pro prvky, které potřebujeme rychle odbednit. Počátek tuhnutí je u cementu 42,5 R 60 min a u 52,5 R 45 min. Konec tuhnutí pak nastává maximálně po 12 hodinách. Přítomnost pucolánu zvyšuje odolnost proti uhličitánovým vodám, odpadním vodám, zvyšuje plastičnost cementové maltoviny v betonu, čímž podporuje vodotěsnost. Vyrábí se v pevnostních třídách 42,5 R a 52,5 R.

2. CEM II/A-T - Portlandský cement s kalcinovanou břidlicí

Kalcinovaná břidlice, zejména kalcinovaná olejnatá břidlice, se vyrábí ve speciální peci při teplotě přibližně 800 °C. Podle složení přírodního materiálu a výrobního postupu obsahuje kalcinovaná břidlice slínkové fáze, zvláště dikalciumsilikát a monokalciumaluminát. Obsahuje rovněž malá množství volného oxidu vápenatého a síranu vápenatého i značný podíl pucolanicky reagujících oxidů, zejména oxidu křemičitého. Kalcinovaná břidlice má v jemně semletém stavu výrazné hydraulické vlastnosti jako portlandský cement a navíc má pucolánové vlastnosti. Portlandský cement s kalcinovanou břidlicí je ve směsi odolný vůči chemickým vlivům, má plastické vlastnosti a používá se pro injektáž. Pevnostní třída portlandského cementu s kalcinovanou břidlicí je 42,5 R. Vyrábí se v závodě Českomoravský cement, a. s., Cementárna Mokrá.

3. CEM III/A-V - Portlandský popílkový cement

Portlandský popílkový cement je pojivo podle EN 197-1 s vynikající zpracovatelností čerstvé betonové směsi, nízkým vývinem hydratačního tepla a vysokou konečnou pevností s malým rozptylem. Složení: portlandský slínek, sádrovec, anhydrit a elektrárenský popílek. Popílek zvyšuje plastičnost, zpracovatelnost,

vodotěsnost, a proto je vhodný při použití pro stavby přehrad, hrází a vodních děl. Pevnostní třídy portlandského cementu jsou 32,5 R a 42,5 R.

4. CEM II/A-M - Portlandský směsný cement

Vyrábí se ve třídách 32,5 R a 42,5 R. Nejběžnější je pevnostní třída 32,5 R. Portlandský směsný cement se vyrábí semletím portlandského slínku, granulované vysokopecní strusky, případně doplňujících složek či přísad. Jednotlivé složky a přísady usnadňují výrobu cementu nebo upravují vlastnosti cementu. Oproti portlandským cementům se liší nižším vývinem hydratačního tepla a vyšší odolností proti síranům. Tento cement je vhodný pro výrobu směsí, které jsou uloženy ve vlhkém až mokřém prostředí. [15]

Všechny druhy cementu se můžou skladovat maximálně 3 měsíce.

6 ALTERNATIVNÍ TYPY SUROVIN

Dalšími vhodnými materiály pro injektáž jsou alternativní suroviny. Tyto materiály se vyznačují nejen nízkými pořizovacími náklady, ale v mnoha případech jsou plnohodnotnou náhradou klasických stavebních látek.

6.1 POPÍLEK

Popílek je produktem spalování práškového antracitu, černého či hnědého uhlí a je zachycován v elektrostatických nebo mechanických odlučovačích z plynů nebo topenišť elektráren, jako velmi jemně zrnitý prášek (zrnitosti 0 – 1 mm). Klasické vysokoteplotní popílků jsou u našich velkých elektráren produkovány ve značných objemech. Popílků mají dlouhodobě poměrně konstantní vlastnosti, granulometrie popílků se prakticky nemění, obsah zbytkového nedopalu je velmi nízký a pohybuje se v rozmezích 1 – 2 % hmotnosti. Je to heterogenní materiál tvořený částicemi s rozdílnými fyzikálními, chemickými, mineralogickými, morfologickými a technologickými vlastnostmi. Tyto vlastnosti jsou determinovány a ovlivňovány:

- kvalitou spalovaného uhlí,
- technologií spalovacího procesu. [17]

Charakteristika spalovacích zařízení.

Velmi významný vliv na vazbu prvků do popelovin má charakter spalovacích procesů.

Procesy spalování v elektrárnách probíhají v různých ohništích:

- roštová ohniště,
- prášková ohniště,
- fluidní ohniště.

I v ČR dochází k přesunu od spalování uhlí v práškových ohništích k dokonalejšímu spalování ve fluidní vrstvě. [18]

Popílký jsou k následujícímu využití ve stavebnictví většinou expedovány jako směs ze všech výsypek elektrostatických odlučovačů. Při použití popílků je nutná znalost fyzikálních, chemických a mineralogických vlastností. Největší využití pro zpracování popílků je obor stavebnictví. Jako jedna z možností využití popílků v tomto oboru je jeho použití pro injektáž. [16]

6.1.1 Charakteristika popílků z vybraných spalovacích procesů

1. Popílký z práškových ohnišť

Podle [19] lze vznik popílků rozdělit do těchto fází:

- natavování minerálních složek dispergovaných v uhlí,
- aglomerace roztavených kapek popeloviny s postupem výpalu,
- vznik popílků.

Popílký z „klasického“ způsobu spalování uhlí při teplotách cca 1400 °C až 1600 °C se vyznačují obsahem hlavně β – křemene a mullitu ($2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$). Popílký z běžných práškových ohnišť jsou tvořeny z 80 – 90 % amorfními alumosilikáty. Jedná se o jemnozrnný prach, který se skládá převážně z roztavených sklelných částic. Částice mají nepravidelný kulovitý tvar s hladkým povrchem. Sklovitá fáze, jejíž množství činí zpravidla 50 %, ovlivňuje zásadním způsobem reaktivitu popílků s CaO nebo cementem. Popílek sám o sobě není hydraulický, tj., není schopen reagovat s vodou. Je-li však mísen s hydroxidem vápenatým – např. z cementu – reaguje a vytváří stejné

produkty, jako při reakci cementu s vodou. Tato reakce se liší dle typu a druhu popílků a je označována jako pucolanita.

Uhelná složka nemusí být úplně spálená a zůstává, jako nedopal. Nespálený podíl udává velmi důležitou vlastnost popílků s ohledem na jejich další využití. Obsah nedopalu závisí především na:

- jemnosti mletí prachového uhlí,
- obsahu prchavých složek v uhlí,
- obsahu popela v uhlí,
- velikosti ohniště,
- zátěží elektrárenského zařízení.

2. Popílký z fluidních ohnišť

Rozdíl ve vlastnostech popílků z fluidního spalování proti klasickým je dán změnou podmínek spalování. Hlavní změnou je snížení spalovací teploty na cca 850 °C a přidáním alkalických aditiv přímo do prostoru spalování. Mleté palivo s přísadou vápence příp. dolomitu se spaluje v cirkulující vrstvě. Vznikají tak produkty v podobě ložového popela a popílků z elektrofiltrů (odlučovačů). Výsledným produktem je pak směs popela z původního paliva, nezreagovaného odsiřovacího činidla (CaO s případnými zbytky CaCO_3), síranu vápenatého, produktů reakce popeloviny s CaO a nespáleného vápna. Díky nižším teplotám je CaO přítomen ve formě tzv. měkce páleného vápna a je tedy reaktivní. Nedochozí k protavování popílkových částic. Zrna zůstávají porézní, mají vrstevnatou strukturu a velký měrný povrch. Obsahují reaktivní minerální fázi, což se může projevit pucolánovými vlastnostmi fluidních popílků. [20]

Fluidní popílek z černého i hnědého uhlí má morfologii původního uhelného zrna, jen zřídka se vyskytují částice, které mají zaoblený tvar.

V důsledku transportu kouřových plynů z prostoru ohniště dochází k separaci jednotlivých frakcí této směsi. Jemné podíly jsou odnášeny spaliny ve formě úletu a hrubší zůstávají ve spalovacím prostoru.

6.1.2 Vlastnosti popílků

Popílek je heterogenní směs částic, která se liší tvarem, velikostí a chemickým složením. Tyto parametry jsou dány kvalitou spalovaného uhlí a typem spalovacího zařízení. Popílký jsou charakterizovány fyzikálními, chemickými, morfologickými vlastnostmi, chemickým a mineralogickým složením. Mezi nejdůležitější parametry patří obsah nespalitelného podílu, granulometrie, obsah cenosfér a plerosfér, hustota, měrný povrch, zastoupení krystalické a amorfni fáze, obsah magnetických minerálů, povlak na povrchu částic, zastoupení majoritních a minoritních prvků. [21]

1. Mineralogické složení

Mineralogické složení je dáno obsahem a druhem přirozených minerálů v uhlí a stupněm jejich tepelné přeměny. Z černého uhlí je krystalická fáze zastoupena cca z 10 %. U popílků z výtavných ohnišť méně než 15 %. Obsah krystalické fáze v popílcích je závislý na velikosti zrn prachového uhlí. [22]

Popílký podle [17] obsahují skupiny těchto hlavních minerálů:

- vodnaté silikáty a alumosilikáty,
- minerály železa (magnetit, maghemit, hematit), novotvary, jejichž chemické složení je ve škále FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 až po kovové Fe,
- karbonátové skupiny, např. kalcit (CaCO_3), siderit (FeCO_3),
- akcesorické minerály, např. křemelina, cristobalit (SiO_2),
- skelnou fázi, jejíž obsah závisí na podmínkách spalování,
- zbytky nespáleného uhlí, které sestávají z celé škály minerálních novotvarů, od původního uhlí až po koks.

Pro fluidní popílký je charakteristický značný obsah Ca, který je kvůli odsiřování přidávaný do spalovacího procesu, nejčastěji ve formě vápence.

2. Chemické složení popílků

Popílek je heterogenní materiál z částic s rozdílným chemickým složením. Chemické složení popílků je ve značné míře informací o složení původního uhlí, jehož spálením popílek vznikl, viz Tabulka 6-1. [24]

Tabulka 6-1 Charakteristické složení popílků

Chemická složka	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃
Černé uhlí (%)	50 - 57	25 - 30	3.5 - 8.0	0 - 1	2 - 4	1.5 - 3.0	2.5 - 5.0	0.2 - 2.0	0.5 - 1.2
Hnědé uhlí (%)	43 - 60	19 - 34	3.0 - 6.0	1 - 7	4 - 6	0 - 2	0 - 2	0.5 - 1.0	0 - 5

Určitá část popeloviny je vázána na organickou hmotu, bývají přítomny i humáty železa, hliníku a jiné sloučeniny.

V Tabulce 6-2 je uvedeno průměrné chemické složení popílků z fluidního a klasického spalování. [25]

Tabulka 6-2 Průměrné chemické složení popílků z klasického a fluidního spalování [25]

Popílek	Zastoupení složek (%)									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Ztráta žiháním
Klasický	52.22	28.01	3.09	1.38	2.37	9.66	0.6	0.51	1.59	5.9
Fluidní	42.34	19.44	18.21	2.49	1.55	5.79	5.26	0.37	1.41	10.7

3. Fyzikální vlastnosti popílků

Barva popílků – bývá od světle šedé až po černou podle toho, je-li v uhlí obsažena břidlice (světlá) nebo pyrit (tmavá).

Granulometrie popílků i měrný povrch částice jsou ovlivňovány jemností mletí prachových uhlí, rychlostí tvorby cenosfér a obsahem nespalitelného podílu. Velikost popílkových zrn se pohybuje ve velmi širokém intervalu od 0,1 až 100 μm . Na zrnitosti závisí většina fyzikálních a chemických vlastností popílků, což platí hlavně pro hustotu, měrný povrch, susceptibilitu, obsah cenosfér, obsah nespalitelného podílu a pro některé stopové prvky. [26]

Skutečná **hustota** a zejména sypná hmotnost popílků kolísá v poměrně širokých mezích. Popílek mívá zrna velikosti 0,001 – 0,1 mm, což odpovídá měrnému povrchu zhruba 2000 – 3000 $\text{cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$. Uvádí se, že popílek obsahuje až 68 % částic menších než 0,063 mm [24] a až 98 % částic menších než 0,040 mm má kulovitý tvar [23].

Měrná hmotnost popílků se pohybuje v rozmezí $1,9 - 2,6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, průměrně okolo $2,2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

Měrný povrch je významný pro posuzování vyluhovatelnosti různých druhů popílků. Velikost měrného povrchu je ovlivněna množstvím nedopalu popílku. Částice nedopalu mají charakter koksu, jsou vysokopórovité. Měřením se stanoví jejich vnější a vnitřní povrch. Proto je u popílků s vyšším obsahem spalitelných látek obvykle stanovený větší měrný povrch než u popílků s nízkým obsahem nedopalu.

Sypná hmotnost se pohybuje od $0,5$ do $1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Projevuje se rozdíly způsobenými spalováním a účinností odlučovacího zařízení. U roštových ohnišť byla zjištěna nižší sypná hmotnost než u práškových ohnišť.

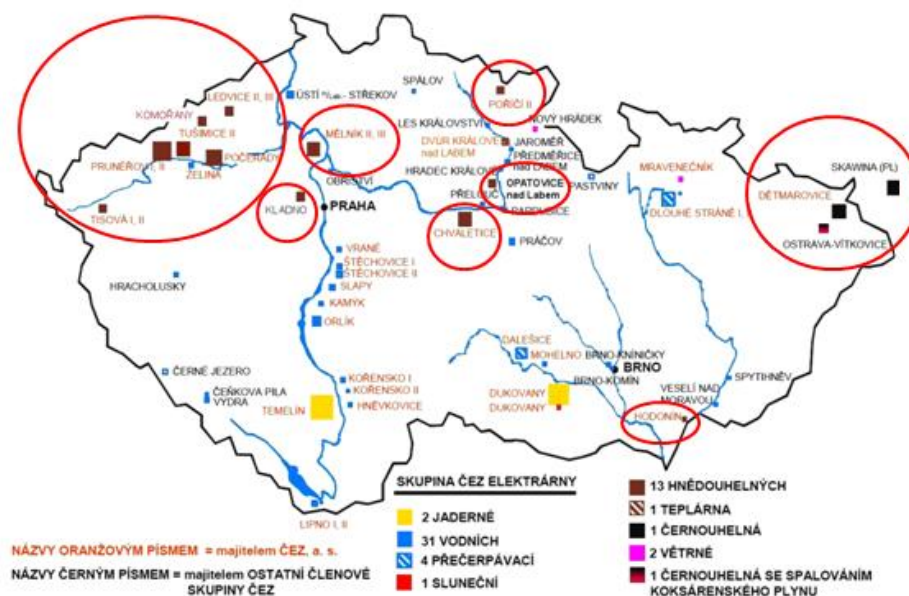
Nasákavost je rozdílná, nejvyšší nasákavost mají popílků z roštových ohnišť a nejnižší z granulačních ohnišť.

6.1.3 Použití popílků ve stavební výrobě

Stavatelství patří mezi odvětví, které mnoho let ve značných množstvích zpracovává popílek. Jednou z možností, jak využít popílek, je možné je přidávat jako příměs do injektážních směsí pro opravy hrází. Vylepšují např. zpracovatelnost a čerpatelnost betonových směsí, zvyšují vodotěsnost a trvanlivost výrobků. Vylepšují technické vlastnosti podloží cest, snižují nároky na energii při výpalu cihel, snižují objemovou hmotnost keramického střepu apod. Zdroje popílků v ČR viz Obrázek 6-1.

Použití popílků ve stavebnictví a stavitelství je možno rozdělit do dvou skupin [25]:

- výroba stavebních materiálů a jejich využití ve stavebnictví,
- využití v dopravním a pozemním stavitelství.



Obrázek 6-1 Elektrárny skupiny ČEZ, a. s. [26]

6.2 JÍL GE

Ge – montmorilloniticko – illiticko – kaolinitický jíl obsahující podstatné množství montmorillonitu, illitu a kaolinitu sedimentární povahy. Vznikl přeplavením starších sedimentů. Klasické montmorillonitické jíly s obsahem illitu a minimem kaolinitu vznikají především zvětřováním vulkanického popela.

Sedimentární montmorillonitické jíly se liší od klasických bentonitů především zvýšeným množstvím fixovaného draslíku v mezivrstevních prostorách montmorillonitu. Tím jsou sníženy především sorpční vlastnosti pro vodu (bobtnavost), kationty a organické látky. Přesto mohou mít vhodné sorpční vlastnosti a schopnost iontové výměny.

Jíly se používají zejména jako slévárenské formovací jíly a také jako těsnící jíly díky vyššímu obsahu montmorillonitu. [11]

Jíl Ge je možno dodávat:

- homogenizovaný s těžební vlhkostí max. 35 % - volně ložený,
- v sušeném stavu – granule + prach s vlhkostí max. 18 % (volně ložený, obří vaky, pytle),
- v mletém stavu - prach pod 3 mm s vlhkostí max. 12 % (obří vaky, pytle).

Hlavní použitelnost jílu Ge:

- V minulosti byl jíl Ge ve velké míře používán především jako slévárenský jíl, dnes použití v menší míře pro výrobu forem na odlévání litiny.
- Byl používán i pro cemento-jílové injektáže (Váhostav při budování vodních děl na Dunaji).
- Jako ucpávkový jíl při sanacích vodních staveb.
- Izolační vrstva např. při dokončování studní – odizolování srážkové vody od spodní.
- V zahradních substrátech jako sorbent vody a minerálů. Používá se i jako pojivo pro briketizaci a peletizaci. V keramické technologii lze jíl Ge používat jako plastifikační přísadu podporující slinutí střepe, úpravu jeho barvy (červená) v točírenských keramických hmotách. [11]

6.2.1 Ložiská jílu Ge

V ČR jsou nejvýznamnější ložiska těchto jílu v Chebské a Sokolovské pánvi. V Chebské pánvi je to jíl Ge, v minulosti zkratka Grün Erde (zelená hlína), těžený především na ložisku Zelená u Skalné. Jíl Ge tvoří podloží dnes těžených keramických vazných jílu a tvoří nejsvrchnější vrstvu cyprisového souvrství o mocnosti několika metrů, která byla přeplavena a po dotaci novým materiálem znovu usazena. Stáří svrchních miocén je 10 – 20 mil. let před Kristem.

Tento jíl je dnes těžen firmou Lasselsberger Minerals.

6.2.2 Základní vlastnosti jílu Ge

1) Bobtnavost

Bobtnavost způsobuje přítomnost hydratovatelných kationtů, které jsou adsorbované v mezivrstevních prostorech. Při styku s vodou dochází k vytvoření hydratačních obalů, jež je důsledkem zvětšení mezivrstevní vzdálenosti a tím i zvětšení měrného povrchu – bobtnání.

2) Sorpční vlastnosti

Tyto vlastnosti se zvyšují při zvětšování měrného povrchu a množství výměnných kationtů.

3) Plasticita

Plasticita je závislá na druhu přítomného jílového minerálu, zrnitostní velikosti, přítomnosti organické hmoty, rozpuštěných solích, adsorbovaných iontech a na množství a druhu přítomných nejílových minerálů.

4) Hydrofyzikální vlastnosti jílu Ge

Vzhledem k charakteru jílu Ge a jeho využití je nezbytné uvést i jeho hydrofyzikální vlastnosti podle normy ČSN 72 1014 (Geotechnika Praha).

- **Mez tekutosti** – zemina v Cassagrandeho misce se rozdělí na dvě části a celá miska padá na podložku z výšky 10 mm, jakmile dojde ke spojení obou částí po 25 úderech, tak zemina má vlhkost na mezi tekutosti. Jednotkou jsou %.
- **Mez plasticity** – zemina se prosytí vodou a na savé podložce se z ní vytváří válečky o průměru 3 mm, jakmile se tyto válečky začnou drolit po délce 10 mm, má zemina vlhkost na mezi plasticity. Výsledné hodnoty v %.
- **Index plasticity** – rozdíl obou výše uvedených vlhkostních mezí.

Tabulka 6-3 Hydrofyzikální vlastnosti jílu Ge

	Mez tekutosti	Mez plasticity	Index plasticity
Jíl Ge	85 %	46 %	39 %

Vzhledem k plastickým vlastnostem a granulometrii jílu jej můžeme dle odkazu na normu ČSN 752410 zatřídit mezi hlíny s velmi (až extrémně) vysokou plasticitou.

5) Mineralogické složení jílu Ge

Tabulka 6-4 Mineralogické složení jílu Ge pomocí RTG difrakční analýzy

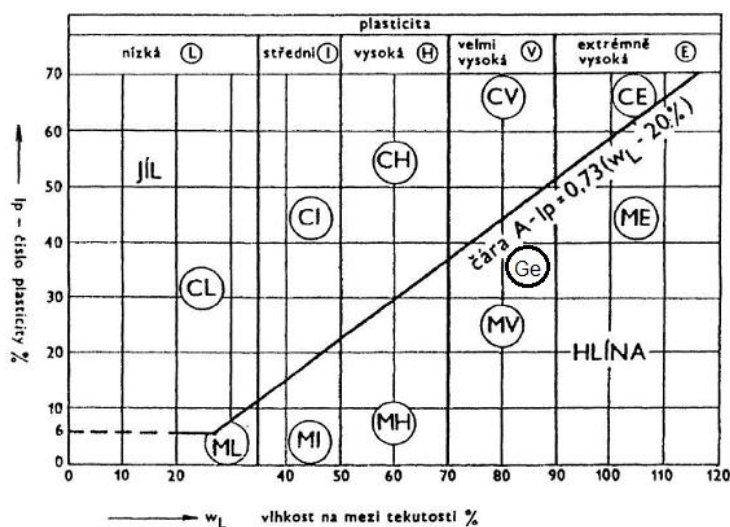
Montmorillonit	Illit	Kaolinit	Křemen	Živec	Ostatní
29%	27%	11%	20%	1%	12%

6) Chemické složení jílu Ge

Vlastnosti jílu Ge se mění v závislosti na hloubce uložení, uvedeno v Tabulce 6-5.

Tabulka 6-5 Chemické složení jílu Ge v závislosti na hloubce uložení

Hloubka [m]	Značka	$R_{0,063}$ [%]	Z. ž. [%]	Al_2O_3 [%]	Fe_2O_3 [%]	TiO_2 [%]	SiO_2 [%]	MgO [%]	CaO [%]	Na_2O [%]	K_2O [%]
0 - 0,5	K (1)	0,45	11,03	27,28	4,83	0,86	53,36	0,54	0,54	0,07	1,30
0,5 - 1	KGe (2)	0,19	9,65	21,45	8,22	0,88	56,22	0,90	0,81	0,10	1,57
1 - 1,5	GeK (3)	0,24	8,85	20,83	8,92	1,05	55,93	1,29	0,96	0,12	1,86
1,5 - 2	Ge (4)	0,68	7,39	16,83	13,22	1,00	54,68	2,68	1,01	0,12	2,88
2 - 2,5	Ge (5)	0,34	6,93	13,33	11,90	1,14	55,95	3,17	1,01	0,15	3,22
2,5 - 3	Ge (6)	2,40	6,37	15,48	10,91	1,12	57,30	3,49	1,16	0,19	3,78
3 - 3,5	Ge (7)	0,74	6,71	16,40	10,33	1,24	56,56	3,42	1,34	0,19	3,61
3,5 - 4	Ge (8)	0,44	6,90	16,77	9,72	1,30	56,71	3,35	1,34	0,19	3,50
4 - 4,8	Ge (9)	0,65	6,96	17,21	9,45	1,38	56,61	3,18	1,37	0,21	3,45



Obrázek 6-2 Diagram plasticity (pro částice < 0.5 mm) [37]

Tabulka 6-6 Koeficient filtrace jílu Ge a jeho směsí s křemičitým pískem

Materiál	100 % Ge	80 % Ge 20 % písku	60 % Ge 40 % písku	40 % Ge 60 % písku
Koeficient filtrace k_f [$m \cdot s^{-1}$]	$1,5 \cdot 10^{-9}$	$4,9 \cdot 10^{-9}$	$1,4 \cdot 10^{-8}$	$3,2 \cdot 10^{-8}$

Pozn.: použita monofrakce křemenného písku Střeleč.

Pro přípravu nepropustných bariér je možno používat směs jílu Ge a např. písků. Z uvedených výsledků v Tabulka 6-6 vyplývá, že nejnižší koeficient filtrace vykazuje směs jílu Ge a 20 % křemenného písku. [11]

6.3 VÁPNO

Oxid vápenatý (CaO) je známý pod triviálními názvy pálené vápno nebo též nehašené vápno. Je široce rozšířená běžně používaná chemická sloučenina. Jedná se o bílou žiravou a alkalickou krystalickou látku. Komerčně vyráběný oxid vápenatý také často obsahuje oxid hořečnatý, oxid křemičitý a malá množství oxidu hlinitého a oxidu železitého. Stejně jako cement se i vápno používá jako pojivo. Vápno rozdělujeme na vzdušné a hydraulické. Díky jeho vlastnostem jej volíme jako jeden z možných materiálů pro injektáž. [14]

6.3.1 Vzdušné vápno

Vzdušné vápno je typickým představitelem vzdušných pojiv a zároveň patří k nejdéle používaným pojivům vůbec. Technicky vzato je vápno názvem pro oxid vápenatý (CaO) s různým podílem oxidu hořečnatého (MgO), vyráběný pálením poměrně čistých, vysokoprocentních nebo dolomitických vápenců pod mez slinutí, tj. na teploty 1000 – 1250 °C. Právě podle obsahu MgO se vzdušné vápno zpravidla dělí na:

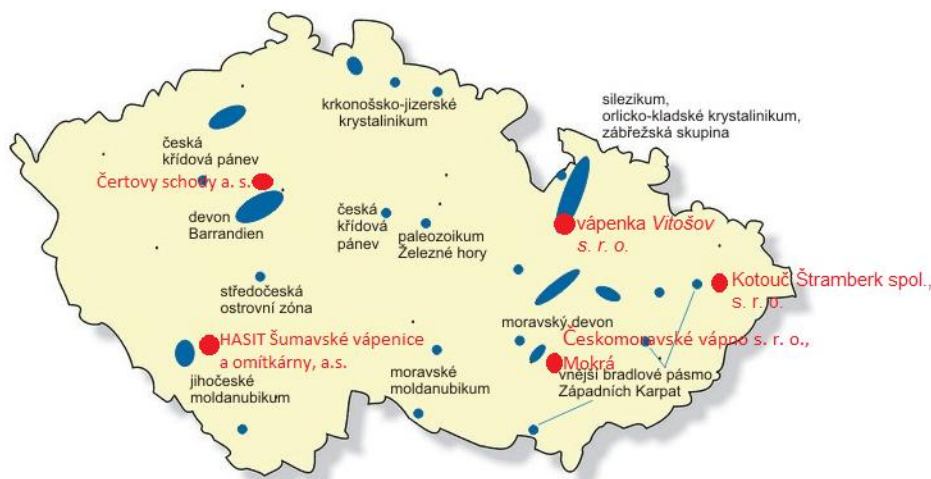
- vápno vzdušné bílé s obsahem MgO pod 7 %,
- dolomitické vzdušné vápno s obsahem MgO nad 7 %.

Pozn.:

V České republice se v současnosti hydraulická vápna nevyrábějí.

6.3.2 Vápno na našem území

V současné době vyrábí vápno v České republice pět společností (Obrázek 6-3). Jedná se o vápenky; *Čertovy schody a. s.*, *Hasit Šumavské vápenice a omítkárny a. s.*, *Velké Hydčice, Českomoravské vápno s. r. o.*, *Mokrý, Kotouč Štramberk spol., s. r. o.* a vápenka *Vitošov s. r. o.* Ročně se u nás vyrobí zhruba 1200 kt vápna, z čehož asi 160 kt představuje vápenný hydrát. [14]



Obrázek 6-3 Ložiskové oblasti vápenců v ČR [14]

6.4 KAMENNÁ MOUČKA - FILLER

Filler (kamenná moučka) je kamenivo s velkým obsahem (minimálně 70 %) jemných částic pod 0,063 mm. Filler vzniká jako odpadní produkt při úpravě (drcení, třídění a vymývání) kameniva. Jako kamenivo nám bude při injektáži zajišťovat plasticitu směsi, kompaktnost a nepropustnost, díky jeho jemnosti.

Vymývaný kal vzniká během dobývání a zejména při čištění agregátů. Kal svým složením má vysoký podíl jílovitých minerálů (kaoliniticko-montmorillonitické) o příznivé zrnitosti (nulový zbytek na sítu 0,063 mm) viz Tabulka 6-7. Tyto vlastnosti jsou z hlediska propustnosti injekčního materiálu velmi příznivé.

Způsob stanovení zrnitosti se provádí sedimentační metodou podle A. Casagrandeho (ČSN 72 1127). Hustoměrná zkouška se používá u zemin, které obsahují méně jak 10% zrn o velikosti menší než 0,063 mm (Obrázek 6-4). Tato metoda je založena na volné sedimentaci (Stoklesův zákon) suspenze ve skleněném válci. Částice jsou vystaveny pouze gravitačnímu poli. Rychlost sedimentace se vztahuje k velikosti (hmotnosti) jednotlivých zrn. Za určitý čas nastane v sedimentačním válci rozdělení částic podle jejich velikosti, kdy dochází ke změně hustoty suspenze, která se měří hustoměrem ve známé hloubce a v určitých časových intervalech (např. 15 s, 30 s, 1 min, 2 min až 24 hod). Hlavní využití této metody se používá pro určení keramických materiálů (analýza velikosti zrn pod 0,063 mm). [31]



Obrázek 6-4 Sedimentační metoda [31]

Tabulka 6-7 Chemické složení odpadního kalu

SiO ₂ [%]	CaO [%]	MgO [%]	Al ₂ O ₃ [%]	Fe ₂ O ₃ [%]	SO ₃ [%]
40,30	38,00	13,00	5,50	0,27	0,57

7 DRUHOTNÉ SUROVINY

Existuje obrovské množství druhotných surovin. Přiřazením vhodného požadavku je možné jejich množství eliminovat. Podmínkou pro použití vhodné druhotné suroviny je vzájemné a dlouhodobé spolupůsobení jednotlivých materiálů. Druhotné suroviny mají většinou podobné vlastnosti jako základní suroviny, a proto je můžeme použít jako další složku či jako částečnou náhradu některého z hlavních materiálů. Kromě popílků a filleru, které byly popsány již výše, se jedná hlavně o druhotné suroviny, které mají velmi jemnou granulometrii a svým chemickým složením se blíží jílům či popílkům. Mezi tyto suroviny patří odpad z kamenolomu, odpad z praní drceného vápence, brusné a řezné kaly, slévarenský písek, odpadní slída, energosádrovec, cihelná drť, ocelářská struska, odpadní lupek, betonová drť, drť z obalového skla, skleněná drť, odpadní písek, mramorová drť a pěnové sklo.

7.1 ODPAD Z PRANÍ DRCENÉHO VÁPENCE

Vápence jsou horniny, jejichž převážnou část tvoří minerály řady: kalcit, dolomit v různých poměrech kalcitu (CaCO_3) a dolomitu ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$). Obsah CaCO_3

a MgCO_3 je minimálně 98%. Mletý vápenec vzniká drcením vysokoprocenního vápence. Odpad vzniká z podrcené vstupní suroviny ve fázi praní a sušení. Materiál se nachází v oblasti obce Vapenná.

Roční produkce drceného vápence se pohybuje okolo 10 000 t/rok. Z hlediska identifikace nebezpečnosti není označován jako nebezpečný. Hlavním složením drceného vápence je kalcit. Materiál je nehořlavý a neuvolňuje nebezpečné látky. Materiál vytváří bílé granule bez zápachu. Skupenství je tuhé - sypké partikulární látky. Měrná hmotnost je $2500 - 3000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Sypná hmotnost ve volně sypaném stavu nabývá hodnot $1500 - 1900 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, v setřeseném stavu $1700 - 2000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Nasákavost materiálu je $2 - 10 \%$. Vzhledem k reaktivitě je materiál stabilní. Není toxický a biologicky nedestruktivní. Ve vodě je nerozpustný. Celkově není materiál charakterizován jako nebezpečný.

7.2 ODPADNÍ SLÍDA

Slídy jsou velmi rozšířené a často bývají horninotvornými minerály. Jejich celkové množství v zemské kůře je cca 3,8 %. Vyskytují se převážně v kyselých intruzivních horninách a v krystalických slídových břidlicích. Chemicky je to zvláštní skupina alumosilikátů. Slídy vytvářejí široké izomorfní směsi, ve kterých se nahrazuje $\text{Mg}^{2+} - \text{Fe}^{2+}$ za $\text{Al}^{3+} - \text{Fe}^{3+}$. Slídy mají typické vrstevnaté krystalové mřížky a krystalizují v soustavě jednoklonné (monoklinické). Materiál vzniká při výrobě elektrických izolantů. Slída se zpracovává čištěním, ručním štípáním a následně se třídí dle velikosti. Malé kousky, coby odpad, se dále rozemelou. Z těchto zbytků vzniká velmi jemná druhotná surovina. Materiál pochází z města Tábor.

Materiál pochází z Tábora. Roční produkce odpadu z výroby slídových izolantů se pohybuje okolo 1000 t/rok. Z hlediska identifikace nebezpečnosti není označován jako nebezpečný. Hlavním složením odpadu z výroby slídových izolantů je muskovit a tainiolit. Materiál je nehořlavý a neuvolňuje nebezpečné látky. Materiál je žlutý, bez zápachu. Skupenství je tuhé - sypké partikulární látky. Měrná hmotnost je $2000 - 3000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Sypná hmotnost ve volně sypaném stavu nabývá hodnot $500 - 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, v setřeseném stavu $500 - 100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Nasákavost materiálu je $3 - 8 \%$. Vzhledem k reaktivitě je materiál stabilní. Není toxický a biologicky nedestruktivní. Ve vodě je nerozpustný. Celkově není materiál charakterizován jako nebezpečný.

7.3 ENERGOSÁDROVEC

Energosádrovec je vedlejším produktem odsíření spalin metodou mokré vápencové vypírky. Hlavní složkou je dihydrát síranu vápenatého ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Roční produkce odpadu z odsíření se pohybuje okolo 50 000 t/rok. Z hlediska identifikace nebezpečnosti není označován jako nebezpečný. Hlavním složením odpadu z odsíření spalin je sádrovec, stopově kalcit, stopově volné CaO. Materiál je nehořlavý a neuvolňuje nebezpečné látky. Tvoří odpad bez zápachu. Barva je bílá. Skupenství je tuhé - sypké partikulární látky. Měrná hmotnost je $2000 - 2500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Sypná hmotnost ve volně sypaném stavu nabývá hodnot $800 - 1500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Vzhledem k reaktivitě je materiál stabilní. Není toxický a biologicky nedestruktivní. Ve vodě je nerozpustný. Celkově není materiál charakterizován jako nebezpečný. Materiál pochází z Chvaletic.

7.4 ODPAD Z KAMENOLOMU, TĚŽBA AMFIBOLŮ

Roční produkce odpadu z kamenolomu se pohybuje okolo 10 000 t/rok. Z hlediska identifikace nebezpečnosti není označován jako nebezpečný. Hlavním složením odpadu z kamenolomu, při těžbě amfibolitů, je amfibol. Materiál je nehořlavý a neuvolňuje nebezpečné látky. Materiál vytváří šedé a černé granule bez zápachu. Barva může být šedá, černá a bílá. Skupenství je tuhé - sypké partikulární látky. Měrná hmotnost je $2000 - 3000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Sypná hmotnost ve volně sypaném stavu nabývá hodnot $1000 - 2000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, v setřeseném stavu $1800 - 2000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Nasákavost materiálu je 2 - 5 %. Vzhledem k reaktivitě je materiál stabilní. Není toxický a biologicky nedestruktivní. Ve vodě je nerozpustný. Celkově není materiál charakterizován jako nebezpečný. Materiál pochází z lomu ze Želešic.

7.5 ODPAD Z KAMENOLOMU

Dalším použitým odpadním materiálem je kamenný odprach, vznikající zachytáváním jemných zbytků ve filtrech při drcení kameniva. Mineralogické a chemické složení závisí na dané lokalitě těžby. [29]

Roční produkce odpadu z kamenolomu se pohybuje okolo 10 000 t/rok. Z hlediska identifikace nebezpečnosti není označován jako nebezpečný. Hlavním složením odpadu z kamenolomu je β - křemen, živce, kaolinit, biotit, muskovit a dolomit. Materiál je nehořlavý a neuvolňuje nebezpečné látky. Materiál vytváří šedé a

černé granule bez zápachu. Barva může být šedá, černá a bílá. Skupenství je tuhé - sypké partikulární látky. Měrná hmotnost je $2000 - 3000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Sypná hmotnost ve volně sypaném stavu nabývá hodnot $1200 - 1800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, v setřeseném stavu $1500 - 2000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Nasákavost materiálu je $6 - 30 \%$, $\text{pH} = 5 - 10$ (8,5). Vzhledem k reaktivitě je materiál stabilní. Není toxický a biologicky nedestruktivní. Ve vodě je nerozpustný. Celkově není materiál charakterizován jako nebezpečný. Materiál pochází z Olbramovic.

7.6 ODPAD Z VÝROBY DLAŽBY (BRUSNÉ A ŘEZNÉ KALY)

Jedná se o materiál, který vzniká řezáním, vrtáním či broušením dlažby. Roční produkce odpadu z výroby dlažby se pohybuje okolo $1000 - 2000 \text{ t/rok}$.

Z hlediska identifikace nebezpečnosti není označován jako nebezpečný. Hlavním složením odpadu z výroby dlažby je kalcit, ettringit, portlandit. Materiál je nehořlavý a neuvolňuje nebezpečné látky. Materiál vytváří šedožluté a narůžovělé kaly bez zápachu. Barva může být šedožlutá. Skupenství je tuhé - sypké partikulární látky. Měrná hmotnost je $2500 - 3200 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Sypná hmotnost ve volně sypaném stavu nabývá hodnot $500 - 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, v setřeseném stavu $1000 - 1300 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Nasákavost materiálu je $20 - 75 \%$. Vzhledem k reaktivitě je materiál stabilní. Není toxický a biologicky nedestruktivní. Ve vodě je nerozpustný. Celkově není materiál charakterizován jako nebezpečný. Materiál pochází z Hranic na Moravě.

7.7 SLÉVÁRENSKÝ PÍSEK

Slévárenský písek je odpadním produktem slévárenských provozů, kde se čistý křemičitý písek smísí s určitým podílem např. bentonitu, vodního skla. Roční spotřeba slévárenských písků činí v ČR zhruba $800\,000 \text{ t}$, z čehož pouze necelých 10% je recyklováno. Druhotné použití těchto písků je jako plnivo do betonů a malt, popř. při stavbě vozovek či použití pro injektáže. Slévárenské písky obsahují až 94% neamorfního SiO_2 a kolem 6% bentonitu. Dále pak jílo, grafit, zbytky pryskyřic a uhlýný prach, které mohou tvořit znečišťující složku písku, nebo jsou přidávány jako pojiva. [28]

Roční produkce odpadního písku se pohybuje okolo $5\,000 \text{ t/rok}$. Z hlediska identifikace nebezpečnosti není označován jako nebezpečný. Hlavním složením odpadního písku je křemen. Materiál neuvolňuje nebezpečné látky a je nehořlavý. Jedná se o odpadní písek bez zápachu, skupenství tuhé - sypké partikulární látky.

Barva je šedá, černá a bílá. Materiál je nehořlavý. Měrná hmotnost nabývá hodnot 2575 kg/m^3 . Sypná hmotnost ve volně sypaném stavu nabývá hodnot $1300 - 1800 \text{ kg/m}^3$, v setřeseném stavu $1500 - 2000 \text{ kg/m}^3$. Nasákavost materiálu je $10 - 30 \%$. Vzhledem k reaktivitě je materiál stabilní. Není toxický a biologicky nedestruktivní. Ve vodě je nerozpustný. Celkově není materiál charakterizován jako nebezpečný. Materiál pochází z Brna.

7.8 ODPAD Z DRCENÝCH CIHEL (CIHELNÁ DRŤ)

Cihelná drť se vyrábí rozemletím zlomků nebo celých výrobků z pálené hlíny na definovanou zrnitost. K tomu se používají dvě mlecí linky: na první mlecí lince se čisté zlomky cihel a pálených střešních tašek nejprve nadrtí na čelistovém drtiči na velikost do 80 mm a poté uloží do velkoprostorového síla, z něj se pak drť přes vibrační žlab dává do kladivového mlýna, ve kterém dojde k rozemletí drtě na hrubou cihelnou drť. Z hrubé cihelné drti se pak na vibračním síti odděluje hrubá frakce. [29]

Roční produkce odpadu z drcených cihel se pohybuje okolo $5\,000 \text{ t/rok}$. Z hlediska identifikace nebezpečnosti není označován jako nebezpečný. Hlavním složením odpadu z drcených cihel je živec a beta křemen. Materiál je nehořlavý a neuvolňuje nebezpečné látky. Materiál tvoří oranžovou antuku bez zápachu. Barva je oranžová. Skupenství je tuhé - sypké partikulární látky. Měrná hmotnost je $2000 - 2500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Sypná hmotnost ve volně sypaném stavu nabývá hodnot $1200 - 1500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, v setřeseném stavu $1300 - 1700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Nasákavost materiálu je $20 - 50 \%$. Vzhledem k reaktivitě je materiál stabilní. Není toxický a biologicky nedestruktivní. Ve vodě je nerozpustný. Celkově není materiál charakterizován jako nebezpečný. Odpadní materiál pochází z obce Zeleneč.

7.9 OCELÁRENSKÁ STRUSKA

V metalurgii vznikají strusky při zpracování roztavených tekutých kovů. Strusky při zpracování oceli se významně podílejí na metalurgických pochodech a jejich složení musí být vždy přizpůsobeno používanému procesu. Jejich chemické složení se mění v závislosti na principu metalurgického pochodu. Jiné jsou strusky pro odkysličení, pro odsíření, odfosfoření atd. [30]

Roční produkce odpadu z oceláren se pohybuje okolo $50\,000 \text{ t/rok}$. Z hlediska identifikace nebezpečnosti není označován jako nebezpečný. Hlavním složením odpadu

z oceláren je β - křemen, magnetit (Fe_3O_4), belit ($\beta - \text{C}_2\text{S}$), C_2A_7 , $\text{FeO}(\text{OH})$, C_4AF (brownmillerit), hematit (Fe_2O_3). Materiál je nehořlavý a neuvolňuje nebezpečné látky. Materiál vytváří šedou strusku bez zápachu. Barva je šedá. Skupenství je tuhé - sypké partikulární látky. Měrná hmotnost je $3000 - 3500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Vzhledem k reaktivitě je materiál stabilní. Není toxický a biologicky nedestruktivní. Ve vodě je nerozpustný. Celkově není materiál charakterizován jako nebezpečný. Materiál pochází z Třince a Prahy.

7.10 ODPADNÍ LUPEK

Lupek je sedimentační hornina vzniklá usazením vrstev jílovce na dně prehistorického moře ve všech geologických obdobích. Podstatnou část lupku tvoří jílový minerál kaolinit. V Českých zemích se lupek těžil a těží například v kladensko-rakovnické pánvi nebo na Velkoopatovicku (už uzavřené doly Anna a Prokop, těžba probíhá ještě na dole Březinka). Odpadní lupek vzniká při výrobě žáruvzdorných tvarovek.

Roční produkce odpadního lupku z cyklónů a filtrace se pohybuje okolo 3000 t/rok. Z hlediska identifikace nebezpečnosti není označován jako nebezpečný. Hlavním složením odpadního lupku je kaolinit, β křemen, mullit. Materiál neuvolňuje nebezpečné látky a je nehořlavý. Materiál je pevný bez zápachu. Barva je šedá, skupenství je pevné. Materiál je nehořlavý. Měrná hmotnost nabývá hodnot $2300 - 2800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Vzhledem k reaktivitě je materiál stabilní. Není toxický a biologicky nedestruktivní. Ve vodě je nerozpustný. Celkově není materiál charakterizován jako nebezpečný. Odpadní lupek pochází z Pecínova.

7.11 BETONOVÁ DRŤ

Betonová drť vzniká rozdrcením betonových recyklátů. Drcení se provádí na požadované frakce.

Roční produkce betonové drti se pohybuje okolo 50 000 t/rok. Z hlediska identifikace nebezpečnosti není označován jako nebezpečný. Hlavním složením betonové drti je kalcit, portlandit, β křemen, živce. Materiál neuvolňuje nebezpečné látky a je nehořlavý. Jedná se o tuhý materiál bez zápachu. Barva je oranžová, skupenství tuhé. Materiál je nehořlavý. Měrná hmotnost nabývá hodnot $2000 - 2500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Sypná hmotnost ve volně sypaném stavu nabývá hodnot $1200 - 1400 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, v setřeseném

stavu $1400 - 1600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Nasákavost materiálu je $5 - 15 \%$. Vzhledem k reaktivitě je materiál stabilní. Není toxický a biologicky nedestruktivní. Ve vodě je nerozpustný. Celkově není materiál charakterizován jako nebezpečný. Materiál pochází z Brna.

7.12 SKLENĚNÁ DRŤ

Skleněné komunální odpady jsou většinou použité nevratné lahve nebo poškozené vratné lahve. Jejich recyklace probíhá již řadu let a není spojena s většími technologickými problémy. Skleněná drť je proprána, roztavena a využita pro další účely. Výsledným produktem může být opět skleněný obal nebo může být podrcena na jemné frakce a použita jako jeden z materiálů pro sanace sypaných hrází.

Roční produkce skleněné drti se pohybuje okolo $10\,000 \text{ t/rok}$. Z hlediska identifikace nebezpečnosti není označován jako nebezpečný. Hlavním složením je skleněná drť. Materiál neuvolňuje nebezpečné látky a je nehořlavý. Jedná se o tuhý materiál bez zápachu. Barva je čirá, skupenství pevné. Materiál je nehořlavý. Měrná hmotnost nabývá hodnot $2500 - 2800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Sypaná hmotnost ve volně sypaném stavu nabývá hodnot $1400 - 2000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, v setřeseném stavu $1500 - 2500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Nasákavost materiálu je $0 - 2 \%$. Vzhledem k reaktivitě je materiál stabilní. Není toxický a biologicky nedestruktivní. Ve vodě je nerozpustný. Celkově není materiál charakterizován jako nebezpečný. Materiál pochází z Proseče, Příbrami a Kyjova.

7.13 VYSOKOPECNÍ STRUSKA

Vysokopecní struska vzniká v metarulgii při zpracování roztavených tekutých kovů. Vysokopecní strusky musí vykazovat takové chemické složení, které umožňuje, aby popel koksu a hlušina železné rudy mohly opustit vysokou pec jako kompaktní tavenina. K tomuto účelu jsou do vsázky přidávány struskotvorné přísady jako vápenec, kazivec, křemen apod. Vysokopecní struska je po výstupu z pece granulována ve vodě na struskový granulát nebo struskovou vlnu. Granulát má dobré hydraulické vlastnosti a je přidáván do cementu, nebo slouží k výrobě struskových tvárnic. [30]

Roční produkce jemně mleté vysokopecní strusky se pohybuje okolo $150\,000 \text{ t/rok}$. Z hlediska identifikace nebezpečnosti není označován jako nebezpečný. Hlavním složením jemně mleté vysokopecní strusky je $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{FeO} / \text{MgO} / \text{CaO} / \text{MnO} / \text{P}_2\text{O}_5$. Materiál neuvolňuje nebezpečné látky a je nehořlavý. Jedná se o práškovou hmotu, která po smíchání s vodou v přítomnosti Ca(OH)_2 tvoří po

zatvrdnutí pevnou strukturu, materiál je bez zápachu. Skupenství pevná - sypká látka. Barva je šedá, materiál je nehořlavý. Měrná hmotnost nabývá hodnot $2500 - 3500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, měrný povrch je $3500 - 4000 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$. Sypná hmotnost ve volně sypaném stavu nabývá hodnot $1300 - 1600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Nasákavost materiálu je $0 - 2 \%$, $\text{pH} = 10 - 13$ (11,5). Vzhledem k reaktivitě je materiál stabilní. Není toxický a biologicky nedestruktivní. Rozpustnost ve vodě až $1 - 3 \text{ g/l}$. Třída reakce na oheň - A1. Celkově není materiál charakterizován jako nebezpečný. Materiál pochází ze Štramberku.

7.14 MRAMOROVÁ DRŤ

Mramorová drť je přírodní materiál vyrobený drcením mramoru. Při zpracování mramoru vznikají menší úlomky, které se následně drtí, tímto vznikají velmi jemné frakce mramorové drti.

Roční produkce mramorové drti se pohybuje okolo 180 t/rok . Z hlediska identifikace nebezpečnosti není označován jako nebezpečný. Hlavním složením mramorové drti je kalcit. Materiál neuvolňuje nebezpečné látky a je nehořlavý. Jedná se o mramorovou drť, světlé granule přetříděného odpadu mramoru, bez zápachu, skupenství tuhé - sypké partikulární látky. Barva je bílá, materiál je nehořlavý. Měrná hmotnost nabývá hodnot $2500 - 3500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Sypná hmotnost ve volně sypaném stavu nabývá hodnot $1300 - 1800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, v setřeseném stavu $1500 - 2000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Nasákavost materiálu je $5 - 30 \%$. Vzhledem k reaktivitě je materiál stabilní. Není toxický a biologicky nedestruktivní. Ve vodě je nerozpustný. Celkově není materiál charakterizován jako nebezpečný. Materiál pochází ze Skorošic.

7.15 PĚNOVÉ SKLO (ZÁKLAD PRO VÝROBU PĚNOVÉHO SKLA)

Pěnové sklo (nazývané také granulát pěnového skla) se získává z recyklovaného starého skla, je lehké, tvarově stálé, odolné proti stárnutí.

Materiál pochází z Příbrami. Z hlediska identifikace nebezpečnosti není označován jako nebezpečný. Materiál neuvolňuje nebezpečné látky a je nehořlavý. Materiál je skupenství tuhé, bez zápachu. Barva je bílá, materiál je nehořlavý. Granulace materiálu je pod 90 mikronů . Vzhledem k reaktivitě je materiál stabilní. Není toxický a biologicky nedestruktivní. Celkově není materiál charakterizován jako nebezpečný. Materiál pochází z Příbrami.

8 NÁVRH OPTIMALIZACE TECHNOLOGIÍ PROVÁDĚNÍ

V první etapě bakalářské práce proběhlo zhodnocení technologií provádění sypaných hrází (zejména ochranných hrází na vodních tocích a hrází malých vodních nádrží – rybníků, příp. přehrad). Také byla popsána hlavní kritéria vhodnosti použití jednotlivých technologií a způsob jejich provádění. Na základě podkladů byl zpracován optimalizační výpočet technologií, kterými by se mohla provádět sanace sypaných hrází. Proces navrhování sanace sypaných hrází vede napříč různými kritérii, která byla zohledněna. Všechny tyto kritéria jsou uvedeny v Tabulce 8-1. Důraz je kladen na cenu, náročnost na strojní vybavení, časovou náročnost, vhodnost dané technologie pro provádění, trvanlivost a propustnost. V rámci výpočtu se jedná o získání číselných hodnot jednotlivých kritérií. Preferování kritérií je prováděno na základě číselné stupnice, která vyjadřuje to, že vyšší číslo v řádku daného kritéria, je více preferované (jedná se pouze o čísla uvedená ve světle fialových rámečcích). Na základě těchto podkladů se vytvoří rozhodovací matice (varianty sloupce, kritéria řádky) viz Tabulka 8-1.

Tabulka 8-1 Preferovaná kritéria

Vlastnost	Rozhodnutí o preferování jednoho kritéria před jinými (vyšší číslo v řádku daného kritéria=více preferované)													
	Cena	Náročnost na strojní vybavení	Pracnost	Časová náročnost	Vhodnost pro hráze malých vodních nádrží	Trvanlivost	Propustnost	Mechanická stabilita	Bezpečnost při užívání	Zdravotní nezávadnost prostředí	Objemové změny	Nasákavost	Vodotěsnost	Četnost a rozsah údržby
Cena	1.00	3.00	2.00	4.00	4.00	4.00	2.00	2.00	2.00	3.00	4.00	2.00	2.00	4.00
Náročnost na strojní vybavení	0.33	1.00	0.25	2.00	2.00	2.00	0.25	2.00	1.00	4.00	3.00	3.00	0.25	4.00
Pracnost	0.50	4.00	1.00	3.00	3.00	3.00	1.00	2.00	2.00	4.00	4.00	3.00	2.00	3.00
Časová náročnost	0.25	0.50	0.33	1.00	1.00	1.00	0.25	0.25	1.00	0.25	1.00	1.00	0.25	1.00
Vhodnost pro hráze malých vodních nádrží	0.25	0.50	0.33	1.00	1.00	1.00	0.25	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	0.25	0.25
Trvanlivost	0.25	0.50	0.33	1.00	1.00	1.00	0.25	3.00	4.00	4.00	3.00	2.00	2.00	4.00
Propustnost	0.50	4.00	1.00	4.00	4.00	4.00	1.00	3.00	3.00	4.00	3.00	1.00	2.00	4.00
Mechanická stabilita	0.50	0.50	0.50	4.00	1.00	0.33	0.33	1.00	3.00	3.00	2.00	3.00	0.25	3.00
Bezpečnost při užívání	0.50	1.00	0.50	1.00	1.00	0.25	0.33	0.33	1.00	3.00	2.00	1.00	1.00	4.00
Zdravotní nezávadnost prostředí	0.33	0.25	0.25	4.00	1.00	0.25	0.25	0.33	0.33	1.00	1.00	0.25	0.25	1.00
Objemové změny	0.25	0.33	0.25	1.00	0.50	0.33	0.33	0.50	0.50	1.00	1.00	2.00	1.00	2.00
Nasákavost	0.50	0.33	0.33	1.00	1.00	0.50	1.00	0.33	1.00	4.00	0.50	1.00	0.25	4.00
Vodotěsnost	0.50	4.00	0.50	4.00	4.00	0.50	0.50	4.00	1.00	4.00	1.00	4.00	1.00	4.00
Četnost a rozsah údržby	0.25	0.25	0.33	1.00	4.00	0.25	0.25	0.33	0.25	1.00	0.50	0.25	0.25	1.00
Dopočítává se dle pravého trojúhelníku														

Další etapou průběhu výpočtu je stanovení váhy jednotlivých kritérií. Jedná se o nejdůležitější krok výpočtu multikritériální optimalizace. Každá vlastnost, která je vyjádřena kritériem, má rozdílnou vážnost. Podle těchto kritérií dochází k ohodnocení dané vlastnosti a k uplatnění jedné vlastnosti před druhou. Tento krok výpočtu je proveden na základě metody subjektivního hodnocení (bodovací nebo také expertní metoda). Dle vlastního uvážení se přiřadí k jednotlivým kritériím body (např. 0 – 100),

kterými se kvantitativně ohodnotí důležitost každého kritéria. Čím je důležitější, tím je vyšší bodové ohodnocení. Vyčíslení daných kritérií je uvedeno v Tabulce 8-2.

Tabulka 8-2 Vyčíslení kritérií

Vlastnost	Vyčíslení daných kritérií				
	Injektáž klasická	Injektáž SOILFRAC	Injektáž PRODICO	Injektáž trysková	Podzemní stěny
Cena	40.25	49.25	45.32	45.37	47.55
Náročnost na strojní vybavení	1.95	2.65	5.30	7.45	25.60
Pracnost	0.01	0.08	0.01	1.25	7.05
Časová náročnost	7.85	10.61	6.59	4.25	0.55
Vhodnost pro hráze malých vodních nádrží	48.85	44.80	28.73	47.65	27.58
Trvanlivost	990	920	940	770	640
Propustnost	234	89	55	234	30
Mechanická stabilita	200.35	195.64	199.67	194.96	256.34
Bezpečnost při užívání	4.96	3.97	4.35	4.02	3.64
Zdravotní nezávadnost prostředí	0.25	0.36	0.78	0.36	0.99
Objemové změny	30.94	32.01	31.25	31.65	2.03
Nasákavost	250	249	253	251	120
Vodotěsnost	85.64	79.54	82.93	81.36	90.01
Četnost a rozsah údržby	0.12	0.14	0.15	0.11	0.1

Posledním krokem výpočtu je transformace rozhodovací matice na výpočtovou a její výpočet. Výsledkem je návrh optimální varianty pro provádění technologie sanace sypaných hrází. Jedná se o nejvyšší součet součinů transformovaných hmot kritérií, vah a pořadí výhodnosti ostatních variant. Vzhledem k řadě subjektivních hodnocení jsou varianty a malým rozdílem konečných součtů v podstatě rovnocenné. Výsledek výpočtu, který udává výběr nejvhodnější technologie pro provádění je uveden v Tabulce 8-3.

Tabulka 8-3 Výběr nejvhodnější technologie pro provádění

Vlastnost	Výsledek				
	Injektáž klasická	Injektáž SOILFRAC	Injektáž PRODICO	Injektáž trysková	Podzemní stěny
Preference [%]	67.40	45.22	62.56	38.44	44.54

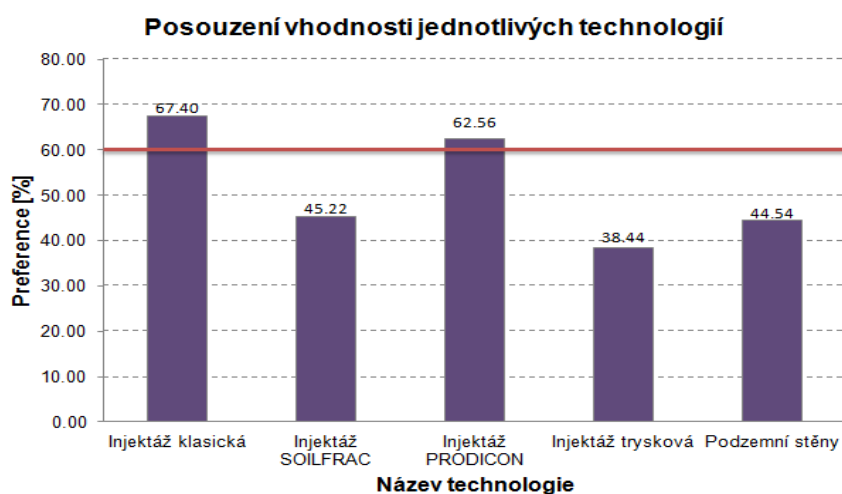
Na základě optimalizačního výpočtu bylo provedeno grafické znázornění výběru nejvhodnější technologie. Preference technologií provádění je uvedena v procentuální jednotce. Nejvyšší hodnota, jak můžeme vidět v Grafu č. 8-1, je u technologie **klasické injektáže**. Z optimalizačního výpočtu můžeme usoudit, že se jedná o nejvhodnější technologii pro provádění sanace sypaných hrází.

Klasickou injektáží je injekční směs vháněna pod tlakem do hráze, vyplňuje predisponované nespojitosti násypu, jako jsou vrstevní spáry, trhliny, pukliny a jiné

diskontinuity. [2] U proinjektované horniny se tak zlepšují její fyzikálně-mechanické parametry jako pevnost v tlaku, modul deformace a snižuje se její propustnost. Moderní injekční stanice s vysokým výkonem a řízením injekčních prací pomocí čidel a snímačů s automatickým vyhodnocováním a kontrolou jsou základní zárukou kvality a hospodárnosti této technologie oproti technologii prodicon.

Technologie Prodicon je speciálně vyvinuta pro provádění stabilizací hrází pomocí injektáží. Pomocí této technologie je omezeno vymývání materiálu z hráze. V mnoha případech, kde není možný pojezd těžkých stavebních strojů přímo po koruně hráze. Z tohoto důvodu jsou s výhodou používány menší stroje nebo stroje s dostatečně dlouhým ramenem pro umístění po straně hráze. Tato technologie je s klasickou injektáží podobná, proto i tato technologie provádění by mohla být považována za optimální.

Metoda Solifrac se používá všude tam, kde není možno použít klasické metody injektáže pro zakládání, nebo sanaci existujícího založení a dále v případech, kdy je nutno dosáhnout řízených deformací objektů. Metoda **tryskové injektáže** je moderní, rychlá a efektivní metoda vytváření speciálních základových prvků v zeminách a eventuelně poloskalních horninách. Pro provádění je potřeba velkých strojů a zařízení, proto se jeví jako nevhodná. Využití **štetovnic** má svoje opodstatnění v situacích, kdy je problematika proudění vody spojena se statickou funkcí. Vzhledem k ceně oceli a současným možnostem se jeví masivní nasazení tohoto způsobu odclonění nebo zpomalení proudu vody v podzemí již jako neekonomické. [5]



Graf č. 8-1 Graf výběru nejvhodnější technologie pro provádění sanace sypaných hrází

9 NÁVRH OPTIMALIZACE SUROVIN

V další etapě bakalářské práce, s ohledem na optimalizaci, se jedná o návrh vhodných surovin, kterými se bude klasická injektáž provádět. Při injektáži hrází je injekční směs vháněna pod injekčním tlakem do hráze, kde vyplňuje predisponované nespojitosti násypu, jako jsou vrstevní spáry, trhliny, pukliny a jiné diskontinuity. Pro dosažení vyšších pevností se používají stabilizované cementové směsi, pro těsnicí účely pak směsi jílocementové. Proto jsou vhodnými surovinami pro tuto technologii cement a jíel. Zásadně platí, že největší zrno injekční směsi musí být alespoň 3x menší, než jsou póry injektovaného prostředí.

Důraz při návrhu surovinové směsi je kladen na využití vedlejších energetických produktů, případně dalších surovin. Vyznačují nejen nízkými pořizovacími náklady, ale v mnoha případech jsou plnohodnotnou náhradou klasických stavebních látek. Při výběru se jedná především o využití vedlejších energetických produktů. Jedná se o popílky (z klasických nebo fluidních kotlů), strusku, škváru, ložový popel a energosádrovec. Produkce těchto materiálů se pohybuje okolo 14 mil. tun/rok (produkce EU více než 100 mil. tun/rok). Pro stanovení rozhodujících parametrů bylo prováděno množství vstupních analýz. Hlavními parametry jsou fyzikálně-mechanické vlastnosti (granulometrie síťovým rozborem, sytná hmotnost, sytná hmotnost v setřeseném stavu apod.), chemický rozbor (obsah SiO_2 , CaO , SO_3 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 apod.) a rozbor mikrostruktury (mikroskopické posouzení, RTG analýza apod.). V rámci posouzení byl také zohledněn vliv materiálů na životní prostředí a zdraví lidí.

9.1 GRANULOMETRIE

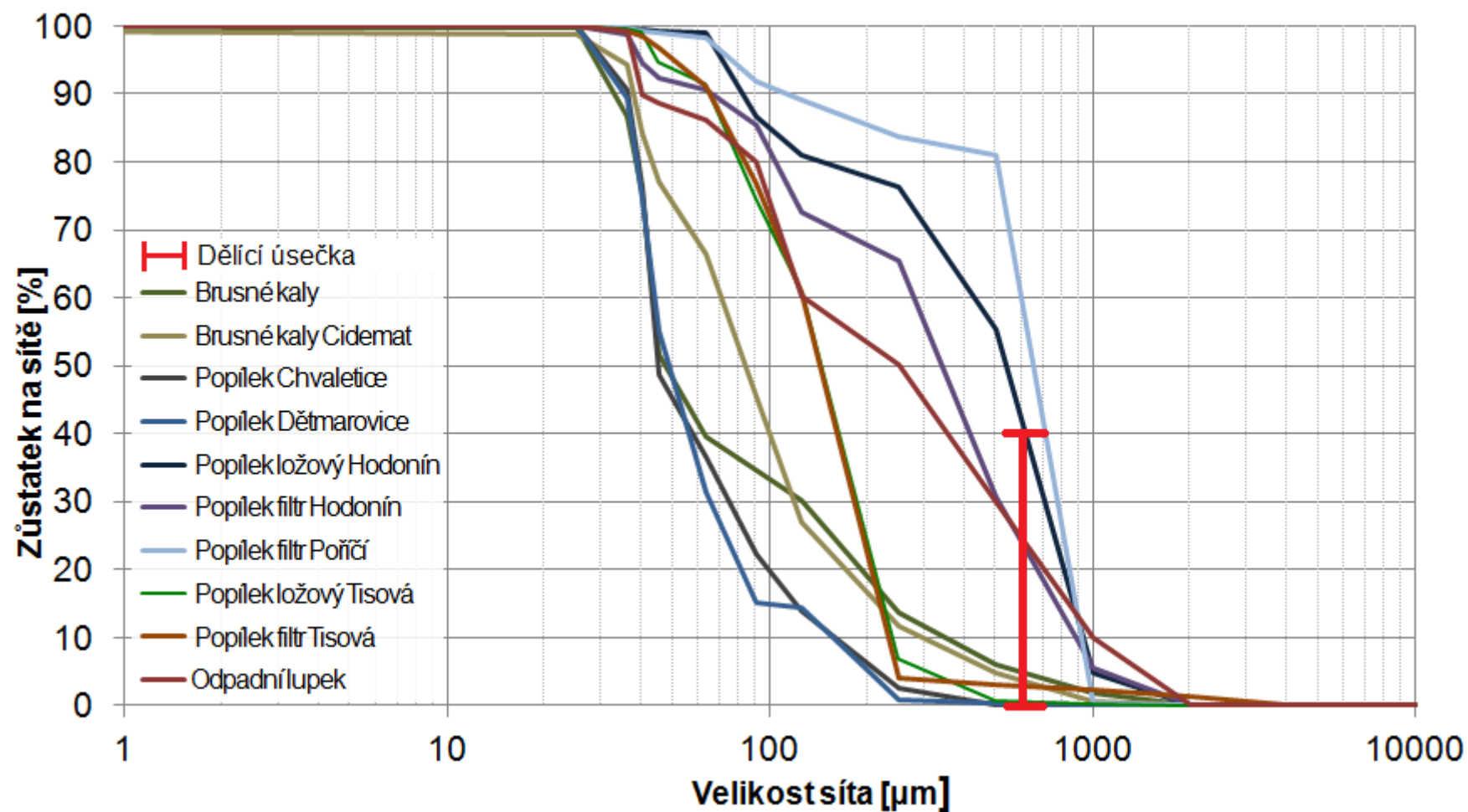
Jedná se o jeden ze základních parametrů suroviny pro těsnicí část hráze, která by měla splnit požadavky dané normou ČSN 75 2410. Na Obrázek 9-1 až Obrázek 9-3 jsou znázorněny křivky zrnitosti vybraných materiálů pro použití technologii klasické injektáže.

Z výsledků stanovení granulometrie širokého oboru odpadů je zřejmé, že se jedná o poměrně hrubé materiály, které budou využitelné pouze v malém procentu. Největší potenciál mají především ty materiály, které mají velký podíl jemných částí. Mezi tyto materiály patří hlavně vedlejší energetické produkty např. popílky. Tyto

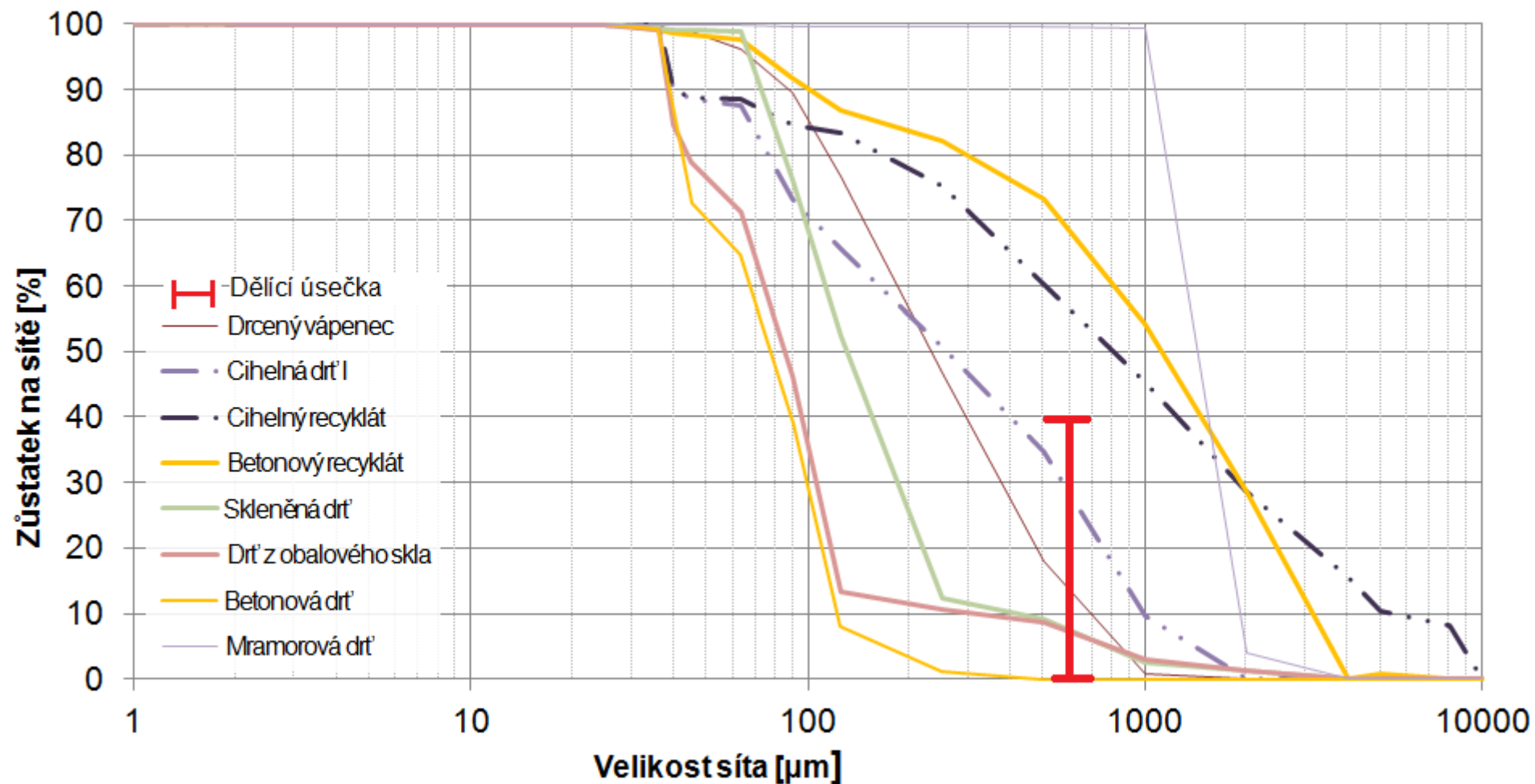
jemnozrnné suroviny mají dlouhodobě poměrně konstantní vlastnosti, granulometrie se prakticky nemění. Vylepšují např. zpracovatelnost a čerpatelnost injektážních směsí, zvyšují vodotěsnost a trvanlivost výrobků.

Jíl je tvořen převážně jílovitou hmotou (zrnitostní frakce pod 2 μm), která je zastoupena více jak 50 %. Jíly se používají jako ideální těsnicí vrstva v mokřém stavu, jelikož při nasycení vodou se stává pro další vodu naprosto nepropustný.

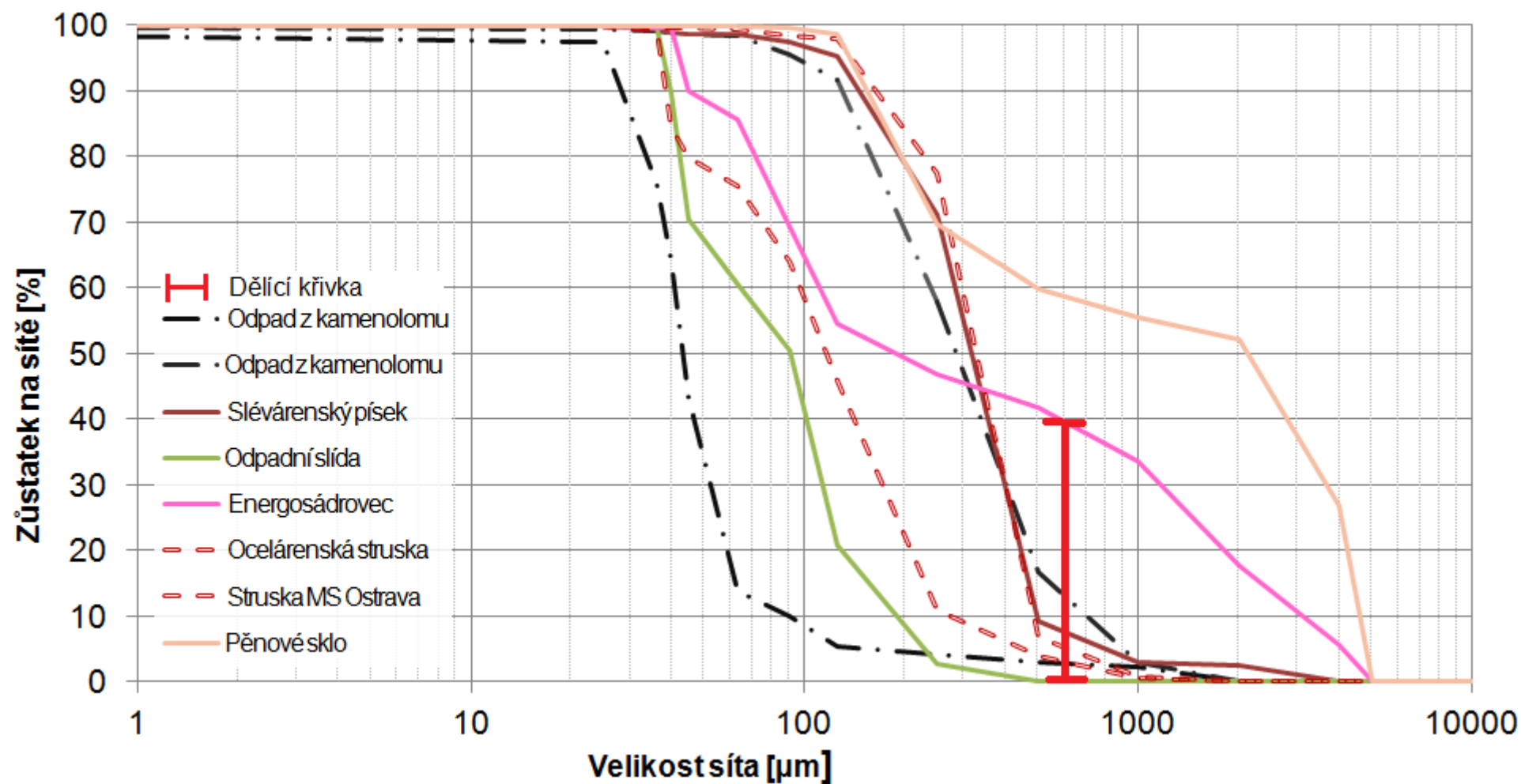
Na následujících obrázcích (Obrázek 9-1 až Obrázek 9-3) můžeme vidět křivky zrnitostí jednotlivých materiálů. Tyto křivky nám udávají vhodnost použití surovin pro směs, kterou by se sanace sypaných hrází prováděla. Z grafu můžeme vidět, že jsou preferovány ty suroviny, které mají svou granulometrii blízkou jílu. Jedná se o velmi jemně zrnité materiály. Jednotlivé suroviny jsou odděleny dělicí úsečkou. Ta nám udává vhodnou granulometrii pro směs, kterou by se sanace sypaných hrází prováděla. Materiály, které se pohybují svou granulometrií zrna okolo této hodnoty a mají podstatné zastoupení jemných zrn pod touto hodnotou, by měly být pro injektáž vhodné. Tyto materiály jsou velmi jemné a budou nám zlepšovat zpracovatelnost, čerpatelnost injektážních směsí, zvyšovat vodotěsnost a trvanlivost hráze. Zároveň se jedná o materiály, které mají své chemické složení blízké jílu, a proto nám budou zachovávat vzájemnou kompatibilitu směsi. Materiály, které mají malé zastoupení jemných podílů pod hodnotu 0,06 mm, jsou poměrně hrubé a spolu s cementem a jílem by spolupůsobily poměrně komplikovaně. [35]



Obrázek 9-1 Křivka zrnitosti alternativních surovin



Obrázek 9-2 Křivka zrnitosti alternativních surovin

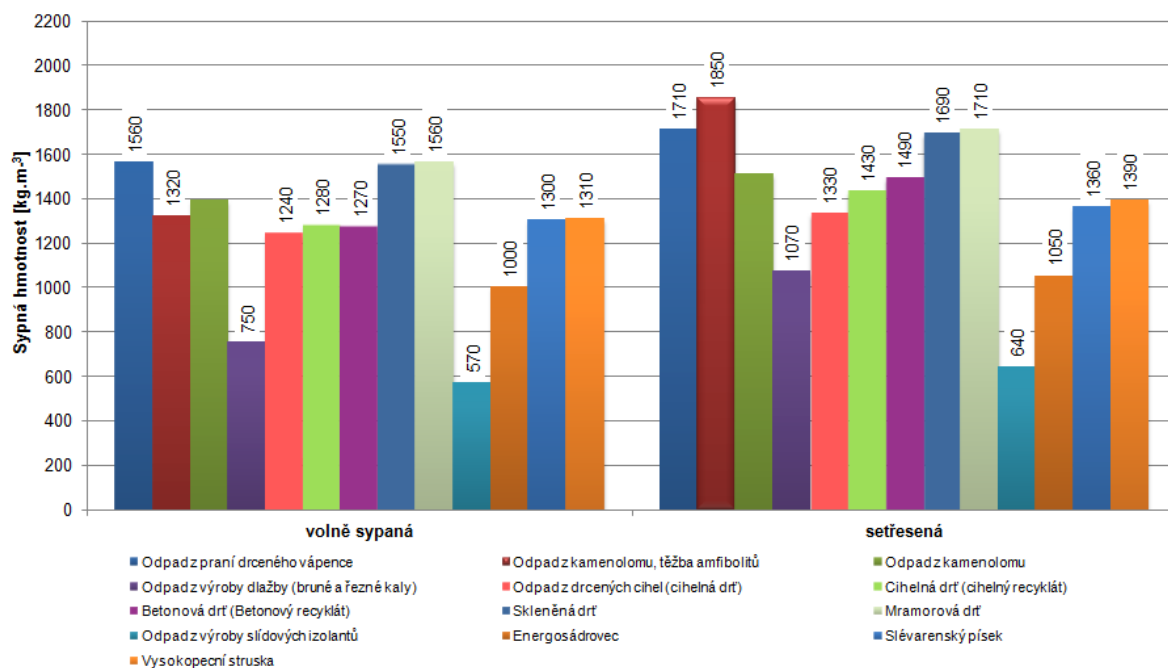


Obrázek 9-3 Křivka zrnitosti alternativních surovin

Materiály, které mají plnit těsnící funkci v hrázi, by měly vyhovovat především svou velmi jemnou granulometrií. Z obrázků křivek zrnitosti (Obrázek 9-1 až Obrázek 9-3) se jako nejvhodnější jeví brusné kaly, popílky, mramorová drť, odpadní lupek, energosádrovec, cihelná drť, odpad z kamenolomu a pěnové sklo. Tyto materiály se nachází se v oblasti, která má podstatné zastoupení jemných částic pod hodnotu 0,06 mm (procentuální zastoupení částic – zbytek pod sítem 0,06mm). [35] Tyto materiály by měly zajišťovat, spolu s dalšími složkami (cement, voda,...), vzájemnou kompatibilitu, vodotěsnost a vyplnění nespojitostí hráze, které jsou příčinou průsaků. Mezi nevhodné materiály by mohla patřit ocelářská struska, cihelný recyklát, drcený vápenec, betonový recyklát, skleněná drť, drť z obalového skla, betonová drť, slévarenský písek a odpadní slída. Jedná se o hrubozrnné materiály. Možnost použití těchto nevhodných materiálů by se mohlo upravit tím, že by se pomocí drcení a mletí upravila jejich jemnost.

9.2 SYPNÁ HMOTNOST

Pro přehled byl z vybraných surovin proveden Graf č. 9-4 sypných hmotností ve stavu volně sypaném a ve stavu setřeseném. Nejvhodnějšími surovinami jsou ty, které mají nižší sypné hmotnosti.



Graf č. 9-4 Přehled sypných hmotností

Z grafu je zřejmé, že nejnižší hodnotu sypaných hmotností má odpad z výroby slídových izolantu a dále pak odpad ze zpracování dlažby (brusné a řezné kaly). Pro nedostupnost v dané lokalitě jej jako materiál pro injektáž nevolíme. Tento důvod platí i pro ostatní materiály.

9.3 CHEMICKÉ SLOŽENÍ

Dalším kritériem vhodnosti použití odpadů pro injektážní směsi je jejich chemické složení. V následujících tabulkách (Tabulka 9-1 a Tabulka 9-2) jsou uvedeny některé rozbory jednotlivých materiálů.

Výsledky ukazují, že hlavní složkou odpadů je především SiO_2 nebo CaO a mohou tak spolu s jílem, jakožto hlavní surovinou, vytvářet vzájemnou kompatibilitu.

Tabulka 9-1 Chemické složení fluidního popílku z Chvaletic

Název	Chemické složení [%]										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	P ₄ O ₁₀	MnO	Celk. S
Jíl	52,00	16,00	1,00	2,00	1,00	9,00	0,20	2,50	0,20	0,05	0,05
Název/Chem. slož [%]	CaO	MnO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Sírany	SiO ₂	TiO ₂	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	ZŽ
Popílek Chvaletice	1,80	0,03	29,00	6,00	0,20	57,00	2,00	1,30	1,80	0,30	0,75
Název/Chem. slož [%]	CaO	MnO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Sírany	SiO ₂	TiO ₂	MgO	K ₂ O		
Mramorová drť	54,00	0,01	0,08	0,09	0,90	0,01	0,01	0,6	0,02		
Název/Chem. slož [%]	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O							
Odpadní lupek	41,30	1,90	7,50	1,00							

Tabulka 9-2 Chemické složení dalších odpadních materiálů

Název	CaO	MnO	Al_2O_3	Fe_2O_3	Sírany	SiO_2	MgO	CaCO_3	MgCO_3	Cl^-	Síranová síra	Celk. síra	Na^+	K^+
6. Odpad z kam.	0,80	-	0,4	1,00	-	-	-	2,00	0,03	29,00	0,05	0,08	-	-
8. Brus. a řez. kal.	51,00	0,02	0,40	0,90	1,30	4,50	1,60	-	-	0,02	-	1,50	-	-
10. Odpadní slída	0,30	-	30,00	1,50	-	42,00	-	-	-	-	-	-	0,20	2,50

9.4 STANOVENÍ KOEFICIENTU FILTRACE

Koeficient filtrace byl stanoven zkouškou v propustoměru s konstantním spádem dle platné normy ČSN CEN ISO/TS 17892-11 - "Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 11: Stanovení propustnosti zemin při konstantním a proměnném spádu".

9.4.1 Termíny a definice

Pro účely této normy platí následující termíny a definice.

Průtok Q - množství vody, které proteče zkušebním vzorkem za jednotku času t .

Průtoková rychlost v - rychlost proudění vody na jednotku plochy zeminy (včetně částic a pórů) kolmo na směr proudění.

Hydraulický sklon i - poměr rozdílu totálních tlakových výšek vody (ztráty tlakové výšky) h mezi dvěma průřezovými body, ku délce proudnice l , (vzdálenost mezi dvěma průřezovými body měřená ve směru proudění).

Neporušený zkušební vzorek - obvykle vzorek ve třídě kvality 1 nebo přinejmenším 2 v souladu s EN 1997-2.

Součinitel filtrace k - v souladu s Darcyho zákonem. Pro laminární proudění je součinitel filtrace k u vodou nasycených zemin poměr průtokové rychlosti v k hydraulickému sklonu i .

POZNÁMKA: Pro částečně nasycené zeminy je součinitel filtrace vždy menší než pro plně nasycené zeminy v důsledku turbulence způsobené vzduchovými póry a nefunkčnosti kapilárního vztlávacího.

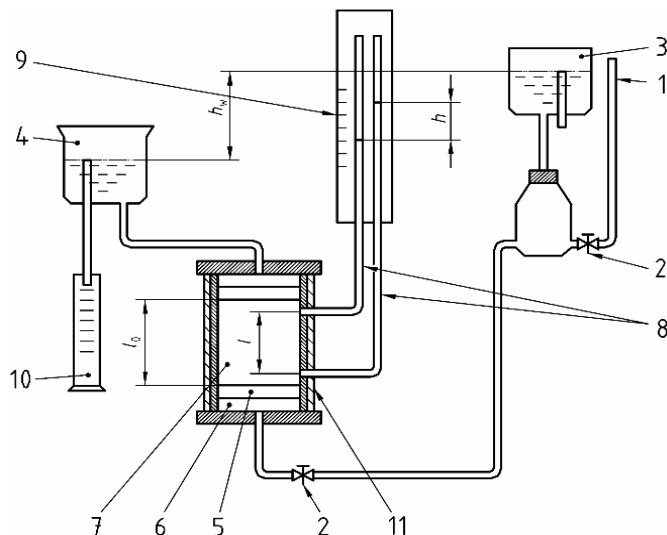
9.4.2 Zkouška v propustoměru s konstantním spádem

Postup zkoušky

Vzorek se osadí do přístroje, připojí se trubice a pustí se průtok vody. Pro stanovení koeficientu filtrace (= součinitel propustnosti) „ k “ musí být v pravidelných intervalech zjišťováno množství vody v odměrném válci. Navíc musí být měřena teplota vody. V případě nesoudržných a hrubozrnných zemin musí být zkouška zahájena s velmi nízkým rozdílem hladin h (viz Obrázek 9-5) a opakována s větším rozdílem. Pokud se potom poměr množství protečené vody k rozdílu hladin sníží, značí to ovlivnění výsledků turbulencí. Konstantní hladina vypouštěné vody je udržována zpětným sytícím

tlakem nebo přepadem, kterým odtéká měřené množství vody. Výsledkem zkoušky je hodnota koeficientu filtrace. [32]

Pracovní zařízení



Obrázek 9-5 Příklad uspořádání zkoušky propustnosti s konstantním sklonem

Vysvětlivky:

- | | |
|--|--|
| 1 - přívod odvdzušněné vody | 7 - zkušební vzorek |
| 2 - ventil pro kulový kohout | 8 - piezometrická trubice |
| 3 - přítoková nádrž | 9 - stupnice |
| 4 - výtoková nádrž | 10 - odměrný válec |
| 5 - filtr | 11 - komora |
| 6 - perforovaná destička s drátěnou tkaninou | |
| h - rozdíl piezometrických výšek | l - délka průtokové dráhy |
| h _w - rozdíl hladin v přítokové a odtokové nádrži | l ₀ - výška zkušebního vzorku |

Princip zkoušky

Musí být sestrojen graf množství vody protečené zkušebním vzorkem v závislosti na čase. *Průtok* Q se musí vypočítat z lineární části grafu pomocí rovnice:

$$Q = \Delta V / \Delta t$$

Kde; ΔV - množství vody protečené ve vybraném časovém intervalu (m^3), Δt - odpovídající časový interval (s).

koeficient filtrace k se stanoví z rovnice:

$$k = (Q \times l) / (A \times h)$$

Kde; h - rozdíl tlakových výšek hladin piezometrů (m), l - vzdálenost mezi body, ke kterým jsou připojeny dvě piezometrické trubice (m), A - průřezová plocha zkušební vzorku (m²). [32]

Vyhodnocení výpočtu

Jako modelaci uvádím praktické ověření koeficientu filtrace. [33] Tento příklad vyjadřuje vliv vsakování povrchové dešťové vody na stavební objekty. Stále častěji požaduje správce kanalizace zachycení dešťové vody na staveništi. Řešení, při kterém se dešťová voda vsakuje na pozemku, vyžaduje podrobný hydrogeologický průzkum. Hydrogeologický průzkum by měl stanovit koeficient filtrace.

Na základě hodnoty koeficientu filtrace se může optimálně navrhnout plocha vsakování a objem nezbytné akumulace dešťové vody. Například na skoro celém sídlišti v Brně-Vinohradech jsou dešťové vody ze střech panelových domů již přes třicet let odváděny do vsakovacích studní hlubokých kolem 15 m. V této hloubce se nachází vrstva štěrkopísku, která je velmi vhodná pro vsakování. Na okraji sídliště je místo, kde toto řešení nemohlo být použito, protože tato část těsně přimyká ke svážnému svahu. Hluboká studna neovlivní základovou spáru, která je v obvyklých hloubkách. [33]

Jako modelovou situaci jsem provedla aplikaci výpočtu koeficientu filtrace pro vybrané materiály, které jsou uvedeny v Tabulce 9-4. Výsledkem zkoušky je stanovení hodnoty koeficientu filtrace. Ten je mírou propustnosti pórového (horninového) prostředí pro vodu a číselně je roven filtrační rychlosti (= objemovému průtoku vody jednotkovým průtočným průřezem), při jednotkovém hydraulickém gradientu. Typické hodnoty koeficientu filtrace (součinitele propustnosti) jsou uvedeny v Tabulce 9-3.

Tabulka 9-3 Typické hodnoty koeficientu filtrace

Materiál	Hodnota koeficientu filtrace [m·s ⁻¹]
štěrk	10 ⁻¹ až 10 ⁻³
písek	10 ⁻² až 10 ⁻⁴
jemný písek	10 ⁻⁵ až 10 ⁻³
písečnatá hlína	10 ⁻⁶ až 10 ⁻⁸
jíl	< 10 ⁻⁸

Výpočet součinitele filtrace dle [34] byl modelově, pro srovnání, proveden na vybraných směsích. Jednalo se o směs, která byla složena z montmorillonitického jílu Ge (J 100). Další směs se skládala z 25 % vysokoteplotního úletového popílku a 75 % montmorillonitického jílu (EPC 25). Následně byl proveden výpočet pro směs,

kteřá byla složena z 50 % vysokoteplotního úletového popílku a 50 % montmorillonitického jílu (EPC 50). Výsledky provedených zkoušek jsou uvedeny v Tabulce 9-4.

Tabulka 9-4 Výsledky stanovení koeficientu filtrace

Označení směsi	Koeficient filtrace k [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
J 100	$7.598 \cdot 10^{-10}$
EPC 25	$1.564 \cdot 10^{-9}$
EPC 50	$4.967 \cdot 10^{-9}$

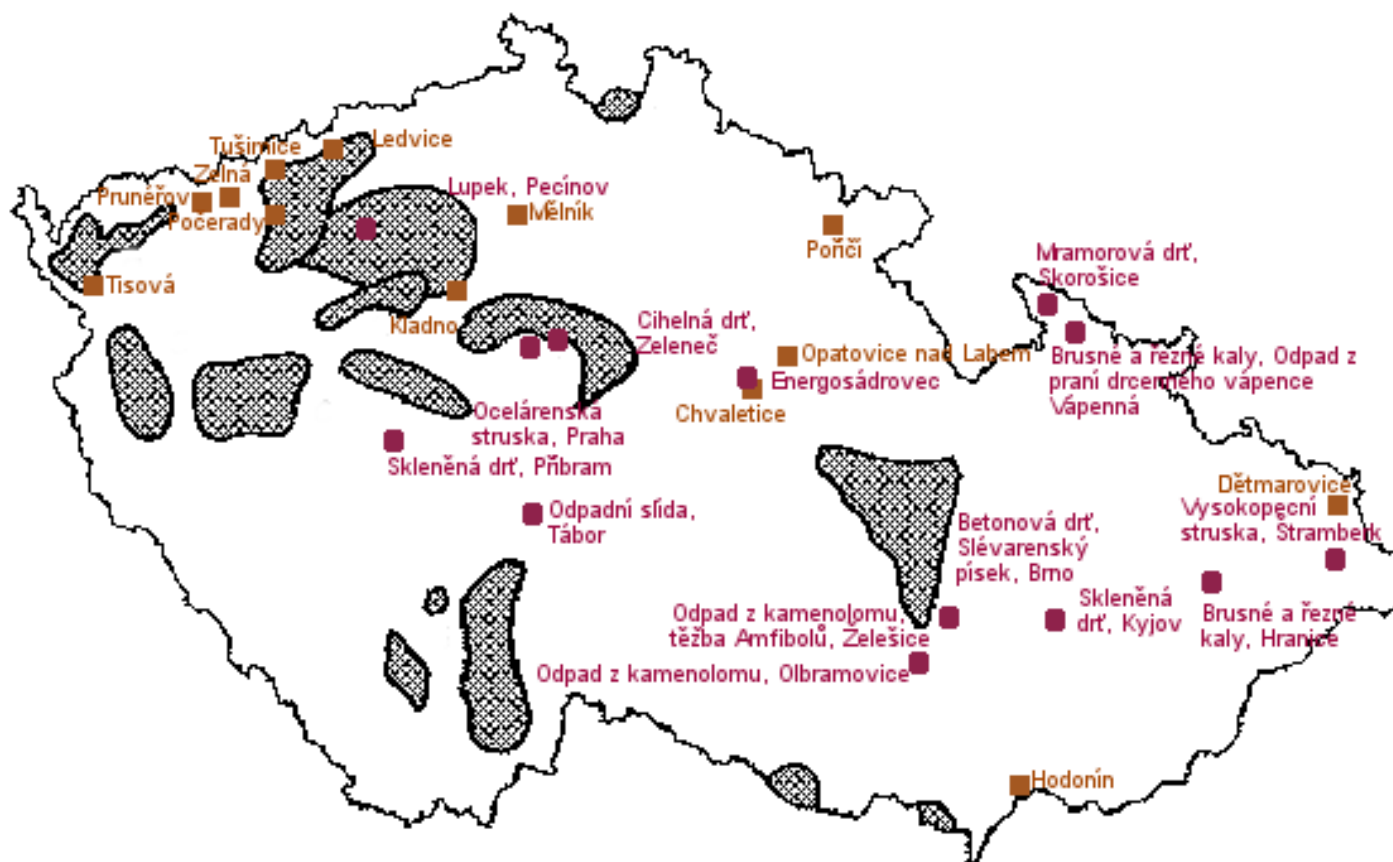
Tabulka 9-5 Oblasti propustnosti dle ČSN 73 2310

Označení	Koeficient filtrace k [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]	Klasifikace zemin
1 - velmi nepropustné	$<10^{-10}$	Jíl s vysokou plasticitou
2 - nepropustné	10^{-8} ----- 10^{-10}	Jíly středně plastické-písčité a hlinité
3 - málo propustné	10^{-6} ----- 10^{-8}	Písky hlinité a jílovité štěrky
4 - propustné	10^{-4} ----- 10^{-6}	Písky a štěrky se zeminou

Z uvedených hodnot v Tabulce 9-4 můžeme vidět výsledky stanovení koeficientu filtrace. V Tabulce 9-5 jsou uvedeny oblasti propustnosti dle ČSN 73 2310. Z výsledků můžeme vidět, že se elektrárenský popílek jeví jako vhodný materiál, který by mohl nahrazovat kvalitní montmorillonitický či illitický jíl. Koeficient filtrace popílku je ovlivněn velkým podílem velmi jemné granulometrie a amorfní fáze. Stoupající hodnota koeficientu filtrace má za následek zajištění většího utěsnění. Tyto poznatky nám ukazují vhodné využití jílovopopílkových směsí při opravách ochranných sypaných hrází, které nejsou schopny samy o sobě odolávat působení účinku vody.

9.5 OPTIMALIZACE SUROVIN

Na základě nejvhodnějších surovin pro provádění sanace sypaných hrází klasickou injektáží a vybrané lokality provádím modelovou situaci. Tyto modelové situace lze provádět pro jakékoliv zvolené oblasti. Z ekonomického hlediska je jejich dostupnost primární záležitostí. Na Obrázku 9-6 a Obrázku 9-7 je znázorněna mapa ČR, ve které jsou zobrazeny suroviny, které by mohly být vhodné pro návrh injektážní směsi.



Obrázek 9-6 Mapa ložisek surovin v ČR

- Elektrárny skupiny ČEZ, a. s.
- Druhotné suroviny



Obrázek 9-7 Mapa ložisek surovin v ČR

- | | | | |
|--------------------------------------|-------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| — | Ložiska bentonitů | — | Cementárny |
| — | Ložiska jílu | — | Ložiskové oblasti vápenců |

Jako modelovou situaci jsem si vybrala oblast Královéhradeckého kraje, pro kterou byl zúžen výběr surovin. V této oblasti se vyskytují sypané hráze, proto jsem si ji vybrala jako modelovou situaci. Touto oblastí protéká řeka Labe a Orlice. Přímo v Hradci králové dochází k soutoku těchto dvou řek. Hráze řek jsou prováděny jako sypané. Již v minulosti, přesněji v roce 1997 a 2002 byla tato oblast zasažena velkými záplavami, které byly mimo jiné zapříčiněny právě prosakováním těchto hrází. Suroviny, kterými by se sanace mohla provádět, je jíl, který by byl použit jako hlavní surovina, dále popílek a cement, případně vápno a energosádrovec (Obrázek 9-6 a Obrázek 9-7).

Materiály byly vybrány na základě dostupnosti, ceny, množství produkce a vlivu na životní prostředí. **Jíl**, který se nachází v oblasti moravské a východočeské křídly, což odpovídá blízké dostupnosti tohoto materiálu v oblasti Královéhradeckého kraje, by byl použit jako primární surovina. Tento materiál je také poměrně levný. V ložisku moravské a východočeské křídly se nachází největší množství zásob této suroviny, což je výhodou jeho využití. Průměrná cena těchto jílu se pohybuje okolo 200 až 400 Kč/t. Cena tohoto materiálu nám tak splňuje i ekonomické kritérium. Jíl je ryze přírodní surovina, která díky svému působení s dalšími materiály nebude mít negativní vliv na životní prostředí.

Dalším vhodným materiálem nacházejícím se v této oblasti pochází z Chvaletic. Jedná se o vedlejší energetický produkt elektrárny, a to o klasický **popílek**. Produkce těchto popílků je poměrně velká (cca 800 tis. t/rok), proto je možné jej využít ve větším množství. Cena se pohybuje okolo 40 – 90 Kč/t za klasický popílek a cca 25 – 40 Kč/t za fluidní popílek. Tato cena je velice přijatelná. Popílek, jako vedlejší energetický produkt, zároveň negativně neovlivňuje vliv na životní prostředí. Popílký mají dlouhodobě poměrně konstantní vlastnosti, granulometrie se prakticky nemění, zlepšují zpracovatelnost a čerpateľnost směsi. S těmito výhodami jej volíme jako vhodnou surovinu pro provádění sanace sypaných hrází.

Surovina, díky které bude dosaženo vyšších pevností, je **cement**. Ten nám také zajišťuje stabilizaci cementové směsi. Výhodou tohoto materiálu je jeho velmi jemná granulometrie, která bude plnit těsnící funkci. Cement nacházející se v této oblasti pochází z Prachovic (Holcim (česko) a. s., Prachovice). Produkce této suroviny je cca 1,8 mil. tun/rok. Cena se pohybuje okolo 2000 až 3200 Kč/t. Hodnota ceny oproti

ostatním materiálům by se mohla zdát jako velká nevýhoda. Množství cementu ovšem můžeme eliminovat vedlejšími energetickými surovinami, proto cenu nebereme jako velkou nevýhodu této suroviny. Tento materiál nemá negativní vliv na životní prostředí. Díky již výše popsaných vlastností jej považujeme za vhodnou surovinu pro složení injektážní směsi.

Vápno (nehašené) z vápenky Vitošov, která se nachází poblíž Královéhradeckého kraje, by mohlo sloužit jako další vhodná surovina pro injekční směs. Přednostně bychom vápno využili při návrhu směsi s popínkem. Sklovitá fáze, nacházející se v popínku, nám totiž zásadním způsobem ovlivňuje reaktivitu s CaO . Popílek sám o sobě není hydraulický, tj. není schopen reagovat s vodou. Je-li však smísen s hydroxidem vápenatým (např. i z cementu) reaguje a vytváří stejné produkty jako při reakci cementu s vodou. Proto bychom vápno mohli použít (spolu s popínkem) jako částečnou náhradu cementu. Vápno reagující s dalšími složkami v injektážní směsi neovlivňuje negativně životní prostředí. Cena tohoto materiálu se pohybuje okolo 3200 Kč/t. Vápno stejně jako cement můžeme použít jako vhodnou surovinu pro injektáž sypaných hrází.

10 ZÁVĚR

Předmětem bakalářské práce bylo provedení návrhu optimální technologie pro provádění oprav stávajících sypaných hrází s důrazem na jednoduchost a ekonomickou nenáročnost. Z již používaných technologií byl proveden optimalizační výpočet, který ukázal, že nejvhodnější technologie pro provádění sanace sypaných hrází je provedení klasickou injektáží. Klasická injektáž je prováděná pomocí cemento-jílových směsí, z čehož se následně vycházelo a tyto suroviny byly voleny jako základní.

Při návrhu optimalizace směsi byl kladen důraz na využití vedlejších energetických produktů a vhodných typů druhotných surovin, které se vyznačují nejen nízkými pořizovacími náklady, ale v mnoha případech jsou plnohodnotnou náhradou klasických stavebních látek. Pro stanovení rozhodujících parametrů bylo prováděno množství vstupních analýz. Hlavním parametrem z fyzikálně-mechanických a chemických vlastností je granulometrie. Vysoký podíl jemných částic je parametrem pro snížení propustnosti hráze a tím snížení hodnoty součinitele propustnosti „ k “.

Výsledky zkoušek provedených na VUT ukazují, že nejvhodnější surovinou pro náhradu kvalitních jílu je popílek z elektráren, který díky velkému podílu jemné frakce výborně nahrazuje a koriguje primární surovinu. Zároveň směs s popílkem dosahuje velmi nízkých hodnot součinitele propustnosti a je tak zařazena mezi nepropustné. I při 50% náhradě velmi plastického jílu bylo zjištěno vysokého zamezení průsaku směsi. Pro názorné zobrazení zdrojů surovin byla provedena mapa ČR (Obrázek 9-6 a Obrázek 9-7), kde můžeme vidět zastoupení surovin, které jsou vhodné pro návrh injektážní směsi.

Modelově byly suroviny vybrány pro oblast Královéhradeckého kraje. Pro tuto oblast jsou hlavními dostupnými surovinami *jíl* z oblasti moravské a východočeské křídly, *cement* CEM II/A-M Holcim (Česko) a.s. Prachovice, klasický *popílek* a *energósádovec* z Chvaletic, *vápno* z vápenky Vitošov, případně další alternativní suroviny, které by byly dováženy.

Lze konstatovat, že využití vedlejších energetických produktů pro opravy stávajících sypaných hrází, technologií injektáží směsí, na jílové bázi má velkou perspektivu, zejména u těch hrází, které již díky stáří neplní svou funkci.

Na základě výsledků, které byly stanoveny, se nabízí možnost pokračovat v další práci, jejímž cílem bude experimentální ověření různých druhů odpadů. V rámci těchto experimentů bude stanovení parametrů, jako je: proctor standard, koeficient propustnosti, bobtnací tlak atd. Kromě uvedených zkoušek pro další využitelnost budou podstatné i zkoušky ekotoxicity a hygienické nezávadnosti, jakož i trvanlivosti sanovaných hrází.

11 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HULLA, J., TURČEK, P. *Zakladanie stavieb*. Bratislava, Jaga group, v.o.s., 1998. ISBN 80-88905-05-2.
- [2] MACEKOVÁ, Věra. *Zakládání staveb*. 2., dopl. vyd. Brno: ERA, 2006, vi, 130 s. ISBN 80-736-6055-5.
- [3] KELLER, Group plc. *Propagační materiály. Keller: Our services & projects* [online]. 2013 [cit. 2013-03-09]. Dostupné z: <http://www.keller.co.uk/>, <http://www.keller-ge.co.uk/>; <http://www.kellergrundbau.cz>.
- [4] MOTYČKA, Z. *Poznámky o zpevňování a těsnění hornin při výstavbě tunelů III. Uplatnění tryskové injektáže*. In.: *Zpevňování, těsnění a kotvení horninového masivu a stavebních konstrukcí*, 2002. Sborník příspěvků 7. mezinárodního semináře. Technická univerzita Ostrava.
- [5] SVOBODA, P. *Odborný portál pro profesionály v oblasti stavebnictví. ASB (Architektura, Stavebnictví, Byznys): Technologie protipovodňových podzemních těsnících clon* [online]. 2009 [cit. 2013-03-09]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/inzenyrske-stavby/geotechnika/technologie-protipovodnovych-podzemnich-tesnicich-clon-1528.html>.
- [6] SOLETANCHE, Česká republika s.r.o., Soletanche, *Speciální základy pro vaši stavbu: Technologie* [online]. 2011 [cit. 2013-03-09]. Dostupné z: <http://www.soletanche.cz/>.
- [7] VERFEL, Jaroslav. *Injektování hornin a výstavba podzemních stěn*. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1983, 404 s. ISBN 80-712-7043-1.
- [8] FIEDLER, K. *Nové metody injekčních prací*. In: *Injekčné clony vo vodnom staviteľstve a výstavba podzemných stien*. Sborník príspevkov. I.A.E.G.-IGHP n.p. Žilina, 1968, s. 118–127.
- [9] ŠAMALÍKOVÁ, Milena. *Geologie a inženýrská geologie: Určeno pro posl. fak. stavební*. 4., přeprac. vyd. Brno: VUT, 1989, 250 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0025-0.

- [10] BALÍK, Michael. *Odvhlčování staveb*. 2., přeprac. vyd. Praha: Grada, 2008, 307 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-2693-9.
- [11] SOKOLÁŘ, R., NEVŘIVOVÁ, L., VODOVÁ, L., GRYGAROVÁ, S. *Žárovzdorné jíly v ČR a metodika posuzování jejich vlastností*. Akademické nakladatelství CERM, Brno, 2012. ISBN 978-80-7204-817-5.
- [12] GEOFYZIKÁLNÍ ÚSTAV AVČR, *Geofyzikální ústav Akademie věd České republiky*, v.v.i. Horniny [online]. Praha: Geofyzikální ústav AVČR, v. v. i., 2005 [cit. 2012-10-21]. Dostupné z: <http://www.ig.cas.cz/cz/onas/popularizace/geopark-sporilov/horniny/>, (<http://ceg.fsv.cvut.cz/vyzkum/bentonit/loziskabentonitu>).
- [13] CENTRUM EXPERIMENTÁLNÍ GEOTECHNIKY, *Bentonit*. ČVUT V PRAZE, Fakulta stavební. *Centrum experimentální geotechniky* [online]. 2010 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://ceg.fsv.cvut.cz/vyzkum/bentonit>.
- [14] VŠB TU OSTRAVA, Anorganická pojiva: Cement, vápno. *VŠB TU Ostrava: Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství Fakulta stavební* [online]. 2005 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/anorganicka_pojiva.html
- [15] PTÁČEK, Petr. Pozemní stavitelství. *Pozemní stavitelství: Druhy cementů* [online]. 2002 [cit. 2013-03-01]. Dostupné z: www.pozemnistavitelstvi.wz.cz.
- [16] Společný výklad EURELECTRIC/ECOPA: Klasifikace vedlejších energetických produktů podle revidované rámcové směrnice o odpadech (2008/98/ES).
- [17] FEČKO, P., M. KUŠNIEROVÁ, B. LÝČKOVÁ, V. ČABLÍK, A. FARKAŠOVÁ. *Popílký*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2003, 187 s. ISBN 80-248-0327-5.
- [18] ROUBÍČEK V., BUCHTELE J., *Uhlí – zdroje, procesy, užití*, Montanex 2002. 173 s.
- [19] PADIA A. S., *The behavior of ash in pulverized coal under simulated combustion conditions*. PhD – Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1976.

- [20] ČECHOVIČ M., KRLIČKOVÁ E., *Je možné použitie fluidného popolčeka v stabilizáciách?* Nové trendy v úpravníctví, VŠB-TU Ostrava, 1996.
- [21] LYČKOVÁ B., *Aplikace separačních procesů z hlediska využití popílků*. Košice, 1997. Doktorská práce. FBERG TU Košice.
- [22] FEČKO, P., RACLAVSKÁ, H., MATÝSEK, D. & BERNATÍKOVÁ, B., 1994: *Hodnocení vlastností odpadu a podmínek pro jejich trvalé ukládání*. VŠB – TU, 1994, Ostrava.
- [23] MICHALÍKOVÁ F., *Možnosti priemyslného využitia energetických popolčeka*, sborník z konference Odpady 96, VŠB-TU Ostrava, 1996.
- [24] RŮŽIČKOVÁ Z., SRB J., VIDLÁŘ J., *Druhotné suroviny - nové zdroje průmyslu*, SNTL Praha, 1989.
- [25] LEDEREROVÁ J., a kol., *Odpady z tepelných procesů*, Odpady 11, 1998, str. 8 – 16.
- [26] UHELNÉ ELEKTRÁRNY V ČR, Skupina ČEZ. *Skupina ČEZ, Výroba elektřiny: Uhelne elektrárny* [online]. 2004 [cit. 2013-03-09]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/uhelne-elektřiny.html>.
- [27] SMITH R. D., *The trace element chemistry of coal during combustion and the emissions from coal fired power plant*. Prog. Energy combustion Science 6, 1980, pp. 53 - 119.
- [28] MICHALCOVÁ, G., *Modifikace epoxidových stěrek a správkových hmot plniv z odpadních materiálů*, diplomová práce, Brno 2003.
- [29] KONSTRUKCE Media, s. r. o., *Vliv průmyslových odpadních materiálů na tepelnou odolnost polymerních správkových hmot*. Konstrukce, odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství: Materiály [online]. 2009 [cit. 2013-03-09]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz>.
- [30] CIELECKÝ, J., *Prodej sypaných stavebních materiálů: Co je to struska?* [online]. 2007 - 2010 [cit. 2013-03-09]. Dostupné z: <http://www.prodej-strusky.cz>.
- [31] PETRÁNEK, V., *Report of material lab tests – part A raw materials*, Prodicon – COOP – CT – Brno 2006 - 032847.

- [32] DROCHYTKA R., ČERNÝ V., JANDORA J., *Studie využitelnosti vedlejších energetických produktů pro stavby protipovodňových hrází. Ověření způsobu využití VEP pro stavby hrází*. Výzkumná zpráva č. 10/12/1710, Brno 2010.
- [33] TOPINFO, s. r. o., *Vliv vsakování povrchové dešťové vody na stavební objekt: TZB-info*. TZB info: stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online]. 2007 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4385-vliv-vsakovani-povrchove-destove-vody-na-stavebni-objekty>.
- [34] ČSN 72 1014 – Laboratorní stanovení meze tekutosti zemin.
- [35] ČSN 75 2410 – Malé vodní nádrže.
- [36] ČSN 73 6850 - Sypané přehradní hráze.
- [37] ČSN 73 1001 - Zakládání staveb. Základová půda pod plošnými základy.
- [38] ČSN 72 1330 – Jílovité suroviny. Základní technické požadavky.
- [39] ČSN EN 197 – 1 (722101) - Cement - Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití.
- [40] ČSN EN 459 – 1 – Stavební vápno. Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody.
- [41] ČSN 721127 – Stanovení zrnitosti keramických látek sedimentací.

SEZNAM TABULEK

Tabulka 5-1 Chemické složení jílových minerálů	19
Tabulka 5-2 Průměrné chemické složení severočeských bentonitů	25
Tabulka 6-1 Charakteristické složení popílků	35
Tabulka 6-2 Průměrné chemické složení popílků z klasického a fluidního spalování....	35
Tabulka 6-3 Hydrofyzikální vlastnosti jílu Ge.....	39
Tabulka 6-4 Mineralogické složení jílu Ge pomocí RTG difrakční analýzy	39
Tabulka 6-5 Chemické složení jílu Ge v závislosti na hloubce uložení.....	40
Tabulka 6-6 Koeficient filtrace jílu Ge a jeho směsí s křemičitým pískem	40
Tabulka 6-7 Chemické složení odpadního kalu	43
Tabulka 8-1 Preferovaná kritéria	51
Tabulka 8-2 Vyčíslení kritérií	52
Tabulka 8-3 Výběr nejvhodnější technologie pro provádění.....	52
Tabulka 9-1 Chemické složení fluidního popílku z Chvaletic.....	60
Tabulka 9-2 Chemické složení dalších odpadních materiálů	60
Tabulka 9-3 Typické hodnoty koeficientu filtrace	63
Tabulka 9-4 Výsledky stanovení koeficientu filtrace	64
Tabulka 9-5 Oblasti propustnosti dle ČSN 73 2310.....	64

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 3-1 Čáry zrnitosti.....	7
Obrázek 4-2 Charakteristický řez klasickou injektáží	9
Obrázek 4-3 Schéma uložení injektáží v tělese hráze.....	10
Obrázek 4-4 Schéma technologie Prodicon	11
Obrázek 4-5 Schéma zařízení pro provádění injektáže SOILFRAC®	12
Obrázek 4-6 Injektáž SOILFRAC®.....	12
Obrázek 4-7 Technologický postup provádění tryskové injektáže.....	13
Obrázek 4-8 Varianty použití sloupů tryskové injektáže	13
Obrázek 4-9 Rekonstrukce a dotěsnění hráze vodního kanálu Nová řeka.....	14
Obrázek 5-1 Grafické znázornění využitelnosti injektáží dle typu injektované zeminy ..	15
Obrázek 5-2 Grafické znázornění aplikovatelnosti injektáží	15
Obrázek 5-3 Grafické znázornění aplikovatelnosti tryskové injektáže.....	15
Obrázek 5-4 Oblasti použití tryskové injektáže Soilcrete.....	16
Obrázek 5-5 Stupnice zrnitosti	20
Obrázek 5-6 Názvosloví hornin vápenec – jílovec.....	20
Obrázek 5-7 Evidovaná ložiska v ČR	21
Obrázek 5-8 Vzdálenost základního trojvrství	22
Obrázek 5-9 Mapa ložisek bentonitů v ČR	28
Obrázek 5-10 Producenti cementu v České republice	29
Obrázek 6-1 Elektrárny skupiny ČEZ, a. s.	37
Obrázek 6-2 Diagram plasticity (pro částice < 0.5 mm).....	40
Obrázek 6-3 Ložiskové oblasti vápenců v ČR	42
Obrázek 6-4 Sedimentační metoda.....	43
Obrázek 9-1 Křivka zrnitosti alternativních surovin.....	56
Obrázek 9-2 Křivka zrnitosti alternativních surovin.....	57
Obrázek 9-3 Křivka zrnitosti alternativních surovin.....	58
Obrázek 9-5 Příklad uspořádání zkoušky propustnosti s konstantním sklonem.....	62
Obrázek 9-6 Mapa ložisek surovin v ČR	65

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

MTG...	(Modifiziertes Tangemisch) – modifikovaná jílová směs
K...	Součinitel hydraulické vodivosti [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
D...	Průměr částice [m]
K...	Koeficient propustnosti [m^2]
k_f ...	Koeficient filtrace [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
w_p ...	Mez plasticity [%]
w_l ...	Mez tekutosti [%]
I_p ...	Index plasticity [%]
R...	(Rapid), cement s vysokou počáteční pevností
SSSR...	Svaz sovětských socialistických republik
SRN...	Spolková republika Německo
K^+ ...	Kation draslíku
Ca^+ ...	Kation vápník
Mg^+ ...	Kation hořčík
Na^+ ...	Kation sodíku
Si...	Křemík
Fe...	Železo
Al	Hliník
O_2 ...	Kyslík
H_2O ...	Voda
KCl...	Kyselina chlorovodíková
CaO...	Oxid vápenatý
MgO...	Oxid hořečnatý
MnO...	Oxid manganatý
FeO...	Oxid železnatý
H_3O ...	Hydronium (hydroxoniový ion)
SiO_2 ...	Oxid křemičitý
$CaSO_4$...	Síran vápenatý
$CaCO_3$...	Uhličitan vápenatý
Al_2O_3 ...	Oxid hlinitý
Fe_2O_3 ...	Oxid železitý (hematit)
TiO_2 ...	Oxid titaničitý
P_2O_5 ...	Oxid fosforečný
K_2O ...	Oxid draselný
Li_2O ...	Oxid litný

$\text{SO}_3\ldots$	Oxid sírový
$\text{Na}_2\text{O}\ldots$	Oxid sodný
$\text{FeCO}_3\ldots$	Uhličitan železnatý
$\text{Fe}_3\text{O}_4\ldots$	Magnetit
$2\text{SiO}_3 \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3\ldots$	Mullit
$\beta - \text{C}_2\text{S}\ldots$	Belit (Dikalciumsilikát)
$\text{C}_2\text{A}\ldots$	Dikalciumaluminát
$\text{FeO}(\text{OH})\ldots$	Železitý oxyhydroxid
$\text{C}_4\text{AF}\ldots$	Brownmillerit
pH...	Vodíkový exponent, (potential of hydrogen)

SEZNAM PŘÍLOH

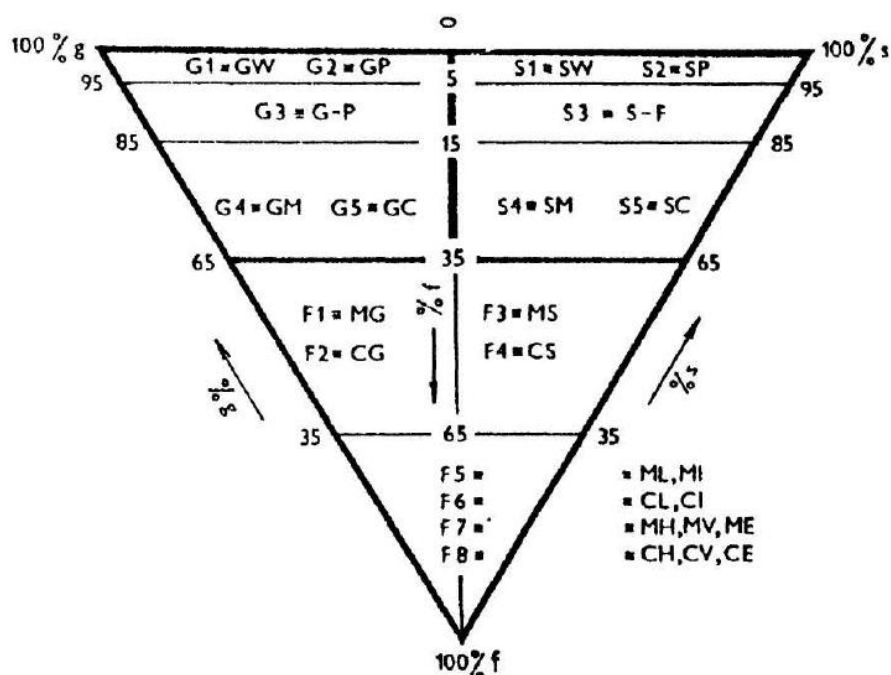
Zatřídění zemin dle ČSN 75 2410

Příloha č. 1 Zatřídění zemin - Klasifikace štěrkovitých zemin ($g > s$)

Název zeminy	Symbol	Třída	Kvalitativní znaky			
			Obsah jemnozrnné frakce ($<0,06$ mm) v %	C_u	C_c	Diagram plasticity
Štěrka dobře zrněná	GW	G1	<5	>4	1 až 3	-
Štěrka špatně zrněná	GP	G2	<5	<4	<1 nebo >3	-
Štěrka s příměsí jemnozrnné zeminy	G-F	G3	5 až 15	-	-	-
Štěrka hlinitá	GM	G4	15 až 35	-	-	pod čarou A
Štěrka jílovitá	GC	G5	15 až 35	-	-	nad čarou A

Příloha č. 2 Zatřídění zemin - Klasifikace písčitých zemin ($s > g$)

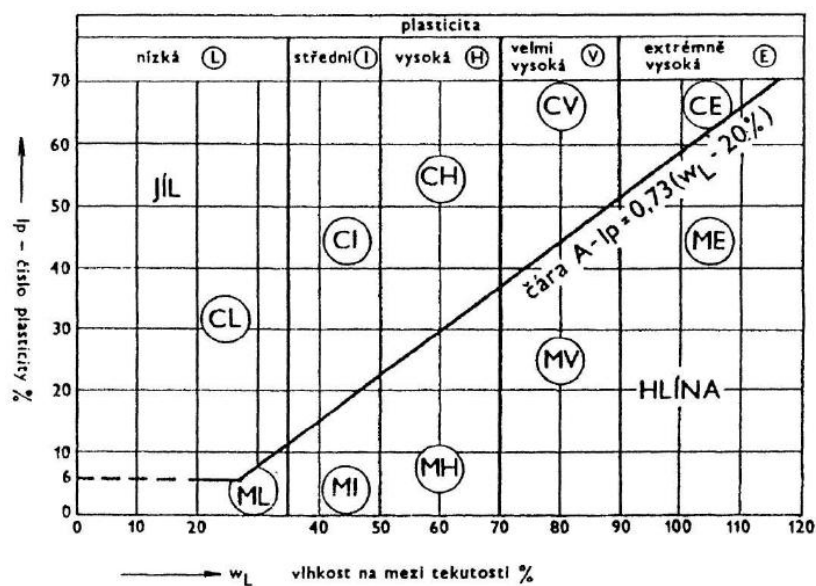
Název zeminy	Symbol	Třída	Kvalitativní znaky			
			Obsah jemnozrnné frakce ($<0,06$ mm) v %	C_u	C_c	Diagram plasticity
Písek dobře zrněný	SW	S1	<5	>6	1 až 3	-
Písek špatně zrněný	SP	S2	<5	<6	<1 nebo >3	-
Písek s příměsí jemnozrnné zeminy	S-F	S3	5 až 15	-	-	-
Písek hlinitý	SM	S4	15 až 35	-	-	pod čarou A
Písek jílovitý	SC	S5	15 až 35	-	-	nad čarou A



Příloha č. 3 Klasifikační diagram zemin s částicemi < 60 mm

Příloha č. 4 Zatřídění zemin - Klasifikace jemnozrnných zemin

Název zeminy	Symbol	Třída	Obsah jemnozrnné frakce (<0,06 mm) v %	Poměr štěrkové (g) a písčité (s) frakce	Diagram plasticity (čára A)	w _L v %
Hlína štěrkovitá	MG	F1	35 až 65	g>s	pod A	-
Jíl štěrkovitý	CG	F2	35 až 65	g>s	nad A	-
Hlína písčitá	MS	F3	35 až 65	s>g	pod A	-
Jíl písčitý	CS	F4	35 až 65	s>g	nad A	-
Hlína s nízkou plasticitou	ML	F5	>65	-	pod A	<35
Hlína se střední plasticitou	MI	F5	>65	-	pod A	35 až 50
Jíl s nízkou plasticitou	CL	F6	>65	-	nad A	<35
Jíl se střední plasticitou	CI	F6	>65	-	nad A	35 až 50
Hlína s vysokou plasticitou	MH	F7	>65	-	pod A	50 až 70
Hlína s velmi vysokou plasticitou	MV	F7	>65	-	pod A	70 až 90
Hlína s extrémně vysokou plasticitou	ME	F7	>65	-	pod A	<90
Jíl s vysokou plasticitou	CH	F8	>65	-	nad A	50 až 70
Jíl s velmi vysokou plasticitou	CV	F8	>65	-	nad A	70 až 90
Jíl s extrémně vysokou plasticitou	CE	F8	>65	-	nad A	<90



Příloha č. 5 Diagram plasticity (pro částice < 0,5 mm)

Příloha č. 6 Orientační půdně mechanické vlastnosti zhutněných zemín

Skupina	Standardní Proctorova zkouška		Objemová hmotnost suché zeminy		Smyková pevnost		Filtrační součinitel k ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
	$\rho_{d \max}$ ($\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$)	w_{opt} (%)	max. ($\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$)	min. ($\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$)	c_{ef} (kPa)	ϕ_{ef} (°)	
1	4	5	6	7	8	9	10
GW	> 1,91	< 13	1,97 až 2,3	1,58 až 1,9	0	44	$5\cdot 10^{-4}$ až $7\cdot 10^{-5}$
GP	> 1,76	< 13	2,1 až 2,3	1,67 až 1,93	0	41	$5\cdot 10^{-4}$ až $6\cdot 10^{-5}$
G-F	> 1,74	< 13,5	-	-	0	38	$1\cdot 10^{-6}$ až $5\cdot 10^{-8}$
GM	> 1,8	< 20,5	2,06 až 2,16	1,7 až 1,76	5	34	$8\cdot 10^{-5}$ až $8\cdot 10^{-10}$
GC	> 1,84	< 17,7	-	-	5	27	$1\cdot 10^{-4}$ až $1\cdot 10^{-9}$
SW	1,92 až 2,11	7,4 až 10,8	1,9 až 2,1	1,48 až 1,71	0	41	$5\cdot 10^{-5}$ až $4\cdot 10^{-6}$
SP	1,7 až 2,00	8,8 až 12,8	1,73 až 1,96	1,35 až 1,64	0	37	$2\cdot 10^{-4}$ až $1\cdot 10^{-6}$
S-F	1,74 až 1,83	11,8 až 14,2	-	-	0	33	$1\cdot 10^{-5}$ až $1\cdot 10^{-7}$
SM	1,72 až 2,01	9,1 až 15,9	1,62 až 1,9	1,23 až 1,48	5	34	$1\cdot 10^{-5}$ až $1\cdot 10^{-10}$
SC	1,81 až 2,00	10 až 14,7	-	-	6	34	$1\cdot 10^{-7}$ až $5\cdot 10^{-10}$
ML	1,49 až 1,82	14 až 25	-	-	12	34	$5\cdot 10^{-7}$ až $1\cdot 10^{-10}$
CL	1,66 až 1,84	14 až 19	-	-	25	25	$1\cdot 10^{-7}$ až $1\cdot 10^{-10}$
MH	1,33 až 1,4	33 až 35	-	-	20	18	$8\cdot 10^{-9}$ až $1\cdot 10^{-10}$
CH	1,42 až 1,63	19,5 až 30,5	-	-	20	17	$4\cdot 10^{-7}$ až $2\cdot 10^{-10}$

Příloha č. 7 Vhodnost zemín pro různé zóny hutnění hrází

Znak skupiny	Homogenní hráz	Těsnicí část	Stabilizační část
GW	nevhodná	nevhodná	výborná
GP	nevhodná	nevhodná	výborná
G-F	málo vhodná	nevhodná	velmi vhodná
GM	výborná	velmi vhodná	málo vhodná
GC	výborná	velmi vhodná	málo vhodná
SW	nevhodná	nevhodná	vhodná
SP	nevhodná	nevhodná	vhodná
S-F	nevhodná	nevhodná	vhodná
SM	vhodná	vhodná	málo vhodná
SC	velmi vhodná	výborná	nevhodná
MG	velmi vhodná	velmi vhodná	nevhodná
CG	velmi vhodná	výborná	nevhodná
MS	vhodná	vhodná	nevhodná
CS	velmi vhodná	velmi vhodná	nevhodná
ML-MI	málo vhodná	vhodná	nevhodná
CL-CI	vhodná	velmi vhodná	nevhodná
MH-ME	málo vhodná	málo vhodná	nevhodná
CH-CE	málo vhodná	málo vhodná	nevhodná

Rozdělení zemin dle propustnosti ČSN 73 6850

Příloha č. 8 Rozdělení zemin dle propustnosti

Zemina podle ČSN 73 6850 – relativní propustnost	Rozmezí koeficientu filtrace k_f [m.s^{-1}]	Příklady zemin
Velmi nepropustná	$< 10^{-10}$	Jíl s vysokou plasticitou
Nepropustné	$10^{-8} - 10^{-10}$	Jíly středně plastické-písčité a hlinité
Málo propustné	$10^{-6} - 10^{-8}$	Písky hlinité a jílovité štěrky
Propustné	$10^{-4} - 10^{-6}$	Písky a štěrky se zeminou

SUMMARY

The subject of the bachelor thesis was finding the optimal technology for the repairs of existing embankment dams with emphasis on simplicity and economical scalability. A calculation was performed, from already used technologies, which showed that the most suitable technology for redevelopment of embankment dams is performed by the use of classic grouting. Classic grouting is performed by using a clay-cement mixture, and on these bases these elementary materials were then chosen.

In optimizing the mixture, the emphasis was on the use of secondary energy products and appropriate types of recyclable materials, which are characterized not only by their low cost but in many cases are a full featured replacement of classic building materials. A number of initial analyses were performed for the determination of critical parameters. The main parameter of physic-mechanical and chemical properties is granulometry. A high proportion of fine particles is a parameter for reduced permeability of the dam and therefore is ranked among the impermeable.

The results tests conducted at the Technical University show that the best quality raw material to replace the clay is ash. These materials due to the large promotion of fine fraction perfectly replace and correct the primary raw material. A high prevention of mixture leakage was found even at 50 % highly plastic clay replacement. For visual show of source materials was made a map of CR (Picture 9-6 and Picture 9-7). There we can see a representation material, which are suitable for the design of injection grouts.

To model the raw materials were chosen for the area of the Královehradecký region. For this area are the main available materials clay from the Moravian and east Bohemian of chalk, cement CEM II / AM Holcim (Czech) as Prachovice, classic ash and industrial gypsum from Chvaletice lime from lime Vitošov or other alternative materials that would be imported.

We can say that using the secondary energy products for repair of existing embankment dams, has great potencial especially for those dams that are not fulfilling their function due to their age.

Based on the results which have been established, there is a possibility continue with further work aimed at experimental verification of the various types of waste. In

these experiments will be determination of parameters, such as: Proctor standard permeability coefficient, swelling pressure etc. Apart from the mentioned examinations for other usability will be essential also examinations of ecotoxicity tests and wholesomeness, as well as the durability of the remediated dam.