



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

**VÝZKUM TECHNOLOGIE ZPĚTNÉHO VYUŽITÍ ZEMIN
VE FORMĚ SAMOZHUTNITELNÝCH ZÁLIVEK**

RESEARCH OF SOIL REUSE TECHNOLOGY IN THE FORM OF SELF-COMPACTING GROUTS

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Magdaléna Michalčíková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. ROSTISLAV DROCHYTKA, CSc., MBA

BRNO 2019

KLÍČOVÁ SLOVA

Zemina, výkopové práce, odpad, recyklace, stabilizace, samozhutnitelná zálivka, ztekucení, vápno, cement, ztekucující a plastifikační přísada.

KEYWORDS

Soil, excavation work, waste, recycling, stabilization, self-compacting grout, flowability, lime, cement, flowable and plasticizing additive.

NÁZEV PRACOVISTĚ

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců

OBSAH:

1 ÚVOD	5
2 CÍLE PRÁCE	6
3 METODIKA PRÁCE	6
3.1 ETAPA I – Charakteristika vstupních surovin a návrh na úpravu zemin	6
3.2 ETAPA II – Sledování vlivu stabilizačních činidel při návrhu samozhutnitelných zálivek	7
3.3 ETAPA III – Sledování vlivu dalších druhů přísad a příměsí při návrhu samozhutnitelných zálivek	8
3.4 ETAPA IV – Samozhutnitelné zálivky vs. stávající technologie, ověření vyvinuté technologie in situ	9
4 REALIZACE, VYHODNOCENÍ A DISKUSE PRÁCE JEDNOTLIVÝCH ETAP	10
4.1 ETAPA I – Charakteristika vstupních surovin a návrh na úpravu zemin	10
4.1.1 Charakteristika vybraných typů zemin	10
4.1.2 Návrh na úpravu zemin	11
4.1.3 Výběr surovin pro úpravu zemin	11
4.2 ETAPA II – Sledování vlivu stabilizačních činidel při návrhu samozhutnitelných zálivek	12
4.2.1 Vliv stabilizačních činidel při návrhu samozhutnitelných zálivek	12
4.3 ETAPA III – Sledování vlivu dalších druhů přísad a příměsí při návrhu samozhutnitelných zálivek	15
4.3.1 Laboratorní testování a výběr dispergačních činidel	15
4.3.2 Vliv plastifikačních a ztekucujících přísad při návrhu samozhutnitelných zálivek	16
4.3.3 Vliv vedlejších energetických produktů na samozhutnitelné zálivky	19
4.4 ETAPA IV – Samozhutnitelné zálivky vs. stávající technologie, ověření vyvinuté technologie in situ	19
4.4.1 Samozhutnitelné zálivky vs. stávající technologie	19
4.4.2 Ověření vyvinuté technologie in situ	22
5 ZÁVĚR	24
6 PŘÍNOS PRO VĚDNÍ OBOR A PRAXI	26
7 SEZNAM VYBRANÉ LITERATURY	26
8 CURRICULUM VITAE	27
9 ABSTRACT	30

1 ÚVOD

Disertační práce se zabývá výzkumem využitelnosti zemin, které vznikají v rámci výkopových prací. Pozornost tomuto materiálu byla v disertační práci věnována především z toho důvodu, že produkce zemin z výkopových prací, z hlediska všech druhů odpadů, zaujímá značnou část (cca 65 %). Snahou tak bylo, i vzhledem k přicházejícím novým legislativním požadavkům, najít řešení problematiky spočívající nejenom v minimalizaci vzniku těchto zemin, ale také v jejich využití pro následnou stavební výrobu.

Obecně lze z geotechnického hlediska říci, že nelze získat zeminu, která bude splňovat požadavky na konstrukci bez jakékoliv úpravy. Z tohoto důvodu je snahou hledat optimální technologie či způsoby, které vedou k dosažení zlepšení požadovaných parametrů zemin tak, aby bylo možné jejich zpětné využití v konstrukci. Při výběru technologie je vždy nutné si uvědomit, k jakému účelu bude zemina sloužit.

V dnešní praxi existuje celá řada technologií pro úpravu či ošetření zemin. Způsoby zlepšení vlastností zeminy lze rozdělit do dvou širokých kategorií, kterými je mechanická stabilizace (dosažena změnou fyzikálních vlastností půdních částic např. vibrací, hutněním bariérami, přibíjením atd.) a chemická stabilizace (dosažena chemickou reakcí mezi stabilizátorem/pojivem a minerálními látkami v zemině). Výzkumná činnost této disertační práce je zaměřena především na chemickou stabilizaci.

Mezi netradiční možnosti úpravy zemin patří ztekucení. Jedná se o nový druh technologie, který není v nynější praxi znám. V České Republice se jedná o dosud zcela nepoužívanou technologii. V zahraničí je tato technologie popsána a realizována pouze výjimečně. Zmínky o zkušenostech s využíváním ztekucených zemin lze najít např. v Německu, Švýcarsku, Francii, Itálii, Velké Británii, USA a Japonsku. Principy ztekucení zemin jsou založeny na použití materiálů, kterými jsou např. stabilizátory (pojiva), ztekucovadla a případně alternativní suroviny. Konkrétní typy přísad, vzhledem k omezenému používání této technologie a tzv. „know how“, nejsou v praxi běžně známy. Zároveň pro technologii ztekucení zemin nejsou stanoveny přesné normové požadavky, podle kterých by bylo možné ověřovat jejich vlastnosti. Z těchto důvodů bylo snahou dizertační práce se tématem ztekucení zemin a vývojem nové unikátní technologie samozhutnitelných záливок na bázi zemin zabývat. Vzhledem k tomu, že se jedná o poměrně neznámou tematiku, vycházelo se při výzkumu a vývoji nové technologie úpravy zemin ze zkušeností s výrobou samozhutnitelných betonů a keramických výrobků.

2 CÍLE PRÁCE

Dominantním cílem disertační práce bude vyvinout novou pokročilou technologii zpětného využití zemin ve formě samozhutnitelné zálivky, která by mohla nahradit stávající technologii zhutňování zemin.

Jedním z dílčích cílů této disertační práce bude volba ideálního složení samozhutnitelné zálivky, což bude realizováno na základě vyhodnocení a optimalizace výsledků laboratorních zkoušek. Spektrum testovaných vlastností bude zvoleno tak, aby nejlépe simulovalo požadované vlastnosti samozhutnitelné zálivky. Dalším z dílčích cílů celého výzkumu u nově vyvíjeného materiálu bude nutnost experimentálně stanovit možnosti jeho aplikace bez nutnosti vibrace či zhutňování. Tento fakt umožní aplikaci nově vyvíjeného materiálu i v těch nejméně přístupných místech. Srovnáním výsledků testování nově vyvinutých samozhutnitelných zálivek bude rovněž možné posoudit vliv různých materiálových složek na výsledné vlastnosti zálivky.

Vzhledem k tomu, že pro funkčnost a vůbec pro vznik vlastní samozhutnitelné zálivky je bezpodmínečně nutná dostatečná tekutost a následný vývoj pevnosti v čase, tak dalším významným dílčím cílem této disertační práce bude objasnění vlivu synergického působení ztekucujících či plastifikačních přísad s minerály obsaženými v různých typech zemin. Výsledky výzkumu budou vytvořeny na základě poznatků získaných z vědeckého zkoumání a při využití ostatních vědeckých poznatků současnosti. Zjištěná fakta o samozhutnitelných zálivkách budou přínosné pro široké spektrum geotechnických prací a budou v mnoha směrech unikátní.

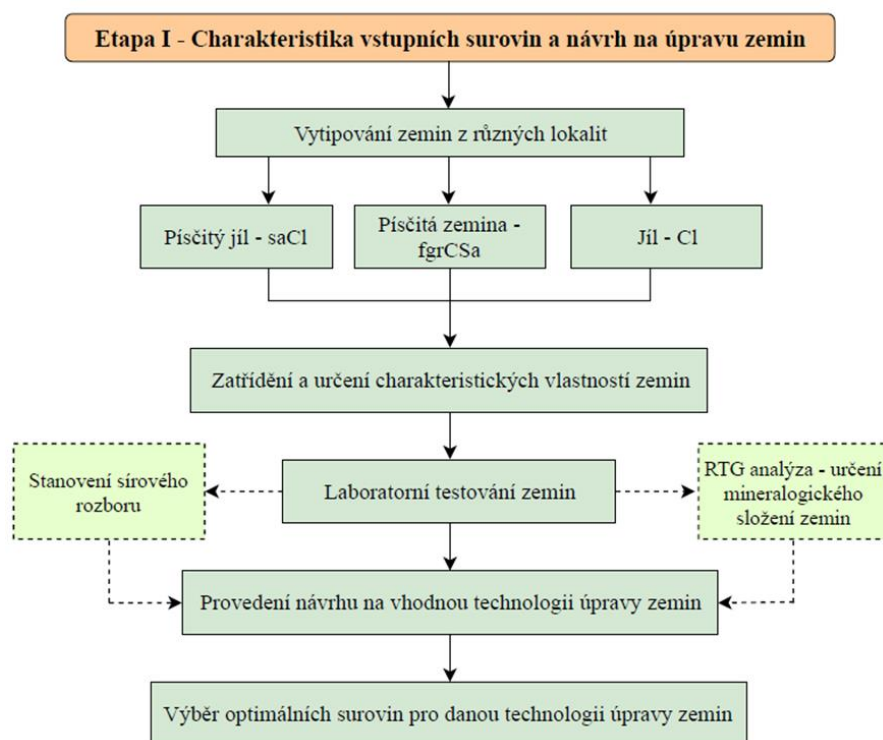
3 METODIKA PRÁCE

Praktická část disertační práce je vzhledem k jejímu rozsahu a v zájmu její přehlednosti rozdělena do čtyř na sebe navazujících etap řešení, jejichž věcná náplň je podrobně rozepsána v následujících kapitolách.

3.1 ETAPA I – CHARAKTERISTIKA VSTUPNÍCH SUROVIN A NÁVRH NA ÚPRAVU ZEMIN

I. etapa disertační práce je zaměřena na vlastnosti a charakterizaci primární suroviny, kterou je právě zemina. Snahou je využít co největší množství různých typů zemin, a proto je jejich výběr zaměřen na zastoupení jak jílovité, hlinité, tak písčité zeminy. Díky geologické rozmanitosti výskytu různých druhů a typů zemin na území České republiky je vytipování zemin zaměřeno na oblast Brna a jeho okolí, a to především z toho důvodu, že podle geologické mapy se na tomto území nachází téměř všechny druhy a typy zemin. Z různých lokalit jsou odebrány vzorky tří druhů zemin, na kterých se provede určení jejich vlastností a zařídění podle platných norem. Na základě pojmenování, popisu, klasifikace, zařídění, určení vlastností zeminy a zjištění mineralogického složení se navrhne vhodná technologie úpravy. V závěru I. etapy je proveden výběr surovin, pro úpravu zemin, jak s ohledem na

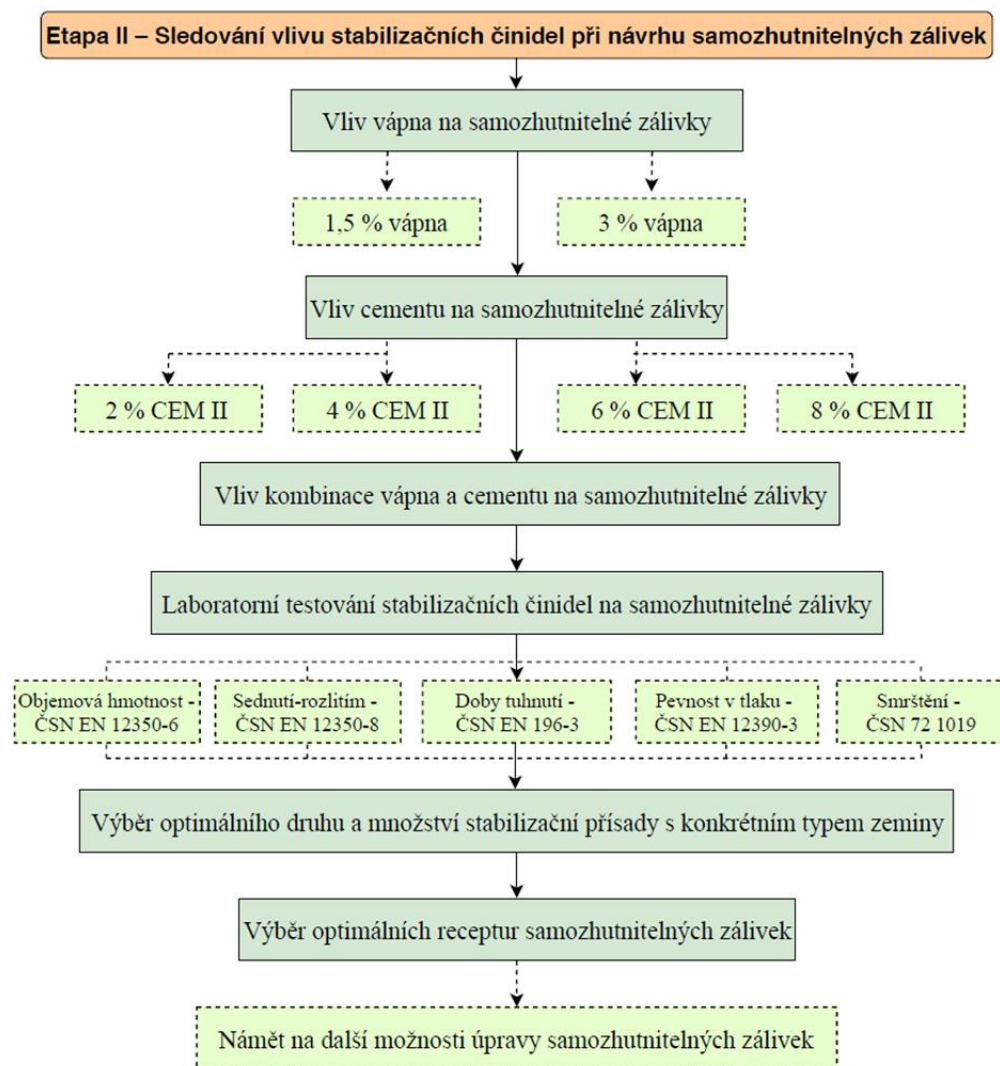
používaný typ zemin, tak aby byla zajištěna vzájemná synergie mezi jednotlivými složkami, výrazně se nezvyšovala cena, suroviny byly dostupné na našem trhu a výsledná směs splňovala požadované parametry. Schéma řešení etapy I je znázorněno na Obr. 1.



Obr. 1: Schéma postupu řešení předkládané disertační práce – etapa I

3.2 ETAPA II – SLEDOVÁNÍ VLIVU STABILIZAČNÍCH ČINIDEL PŘI NÁVRHU SAMOZHUTNITELNÝCH ZÁLIVEK

Druhá etapa práce je zaměřena na stabilizaci. Pro zjištění účinku reakce mezi zemínou (jejími jílovými minerály), stabilizačním činidlem (vápno a cementem) a vodou, se navrhne řada receptur. Při návrhu a ověřování receptur, je zvláštní pozornost věnována struktuře samozhutnitelné zálivky, od které se odvíjejí její konečné fyzikálně mechanické vlastnosti. Zřetel je kladen také na zpracovatelnost a vývoj pevnosti v tlaku samozhutnitelné zálivky. Postupně jsou ověřovány kombinace směsí složených nejprve ze zeminy a 1,5 % a 3,0 % vápna, následně 2 %, 4 %, 6 % a 8 % cementu a na závěr jsou ověřeny receptury, u kterých se provede kombinace zeminy, vápna a cementu. Účinek pojiv na stabilizaci zemin je sledován jak v čerstvém stavu (hned po zamíchání), tak v zatvrdlém stavu (po určité době zrání). Na základě zjištěných dat je proveden návrh optimálního druhu a množství stabilizační přísady (vápna, cementu) s konkrétním typem zeminy. Z dosažených výsledků II. etapy se provede námět na další možné úpravy samozhutnitelných zálivek. Schéma řešení etapy II je znázorněno na Obr. 2.

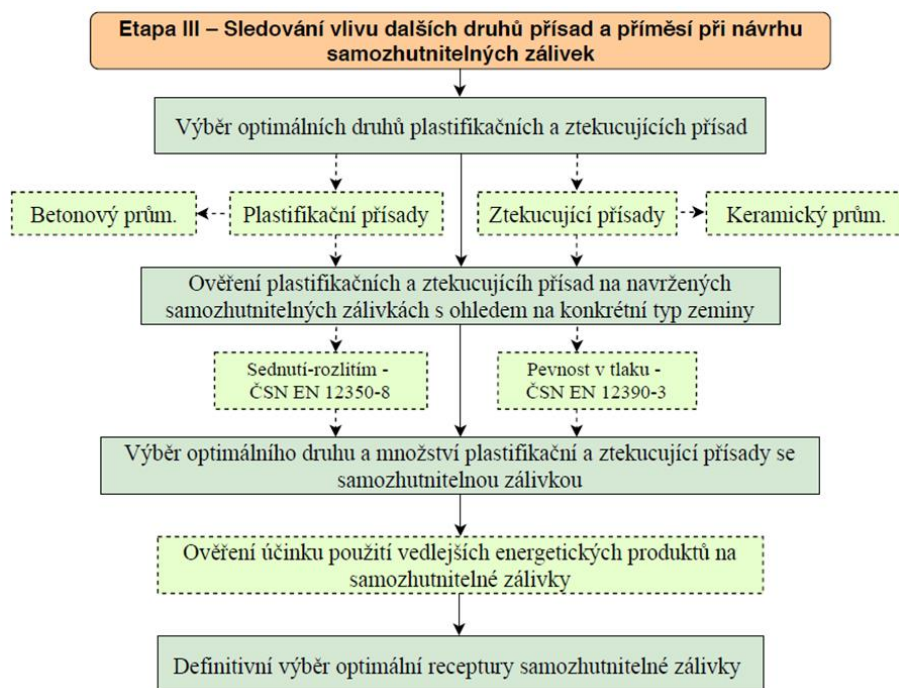


Obr. 2: Schéma postupu řešení předkládané disertační práce – etapa II

3.3 ETAPA III – SLEDOVÁNÍ VLIVU DALŠÍCH DRUHŮ PŘÍRAD A PŘÍMĚSÍ PŘI NÁVRHU SAMOZHUTNITELNÝCH ZÁLIVEK

Třetí etapa výzkumných prací je zaměřena na ověření účinku dalších druhů přísad a příměsí, které mohou vést k získání optimálních vlastností samozhutnitelných záливоek (především pak snížení množství vody, zlepšení zpracovatelnosti, schopnosti tečení záливоek a urychlení počátku a doby tuhnutí). Vzhledem k tomu, že samozhutnitelné zálivky patří mezi tzv. „hybridní materiál“, který nelze posuzovat ani jako beton, ani jako ztuhnutou zeminu či jinou cementovou zálivku, je výběr vhodných přísad (plastifikačních, ztekucujících) proveden s ohledem na daný typ zeminy, množství a druh použitého pojiva. V rámci navržených receptur se ověří množství 1 %, 2 % a 3 % plastifikační přísady (z hmot. cementu, na bázi polykarboxylátů) a 0,04 % až 10 % ztekucující přísady (z hmot. zeminy, na bázi výměny kationtů). Orientačně se ověří i účinek použití druhotných surovin, zejména vedlejších energetických produktů, které mohou ovlivnit jak reologické vlastnosti, tak proces vytvrzování. Množství vedlejších energetických produktů je voleno s ohledem jak na ekonomické, tak na environmentální parametry.

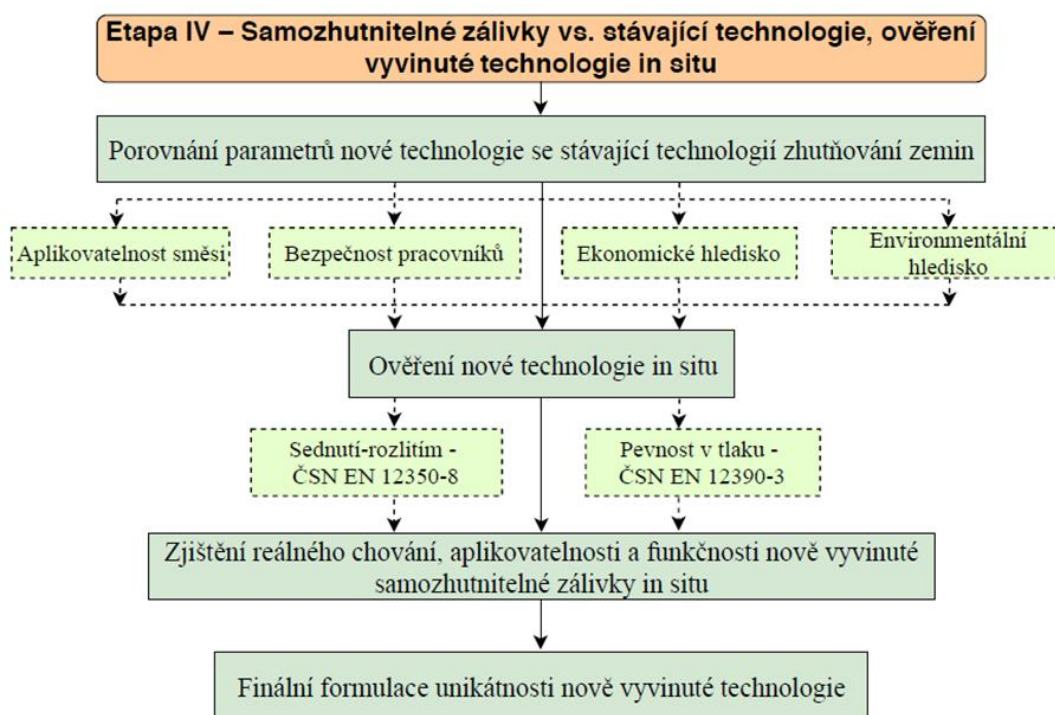
Ověřovaným množstvím je 5 %, 10 %, 30 % a 60 % vedlejších energetických produktů (z hmotnosti zeminy). Na základě zjištěných dat ze třetí etapy budou následně vybrány optimální receptury samozhutnitelných zálivek s konkrétními druhy a množstvím pojiv (vápna, cementu), přísad (plastifikačních, ztekucujících, urychlovačů tuhnutí a tvrdnutí) a vedlejších energetických produktů, s ohledem na daný typ zeminy. Schéma řešení III etapy je znázorněno na Obr. 3.



Obr. 3: Schéma postupu řešení předkládané disertační práce – etapa III

3.4 ETAPA IV – SAMOZHUTNITELNÉ ZÁLIVKY VS. STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE, OVĚŘENÍ VYVINUTÉ TECHNOLOGIE IN SITU

Poslední čtvrtá etapa je zaměřena na porovnání parametrů nové technologie zpětného využití zemin ve formě samozhutnitelných zálivek se stávajícími technologiemi provádění výkopů inženýrských sítí. Vzhledem k současné praxi je porovnání nové technologie vztaženo především na zhutňování zemin (štěrků, písků, štěrkopísku apod.), jakožto nejčastěji používanou metodu provádění zásypů výkopů inženýrských sítí. Z hlediska porovnání parametrů samozhutnitelných zálivek vs. zhutňování zemin je brán zřetel především na eliminaci skládkování zemin, aplikovatelnost směsi, zvýšení bezpečnosti pracovníků, ekonomické a environmentální hledisko. Pro zjištění reálného chování vyvíjených samozhutnitelných zálivek je v rámci čtvrté etapy zároveň provedeno ověření nové technologie zpětného využití zemin ve formě samozhutnitelných zálivek in situ. Na základě zjištěných poznatků z předchozích etap je pro ověření vybrána samozhutnitelná zálivka optimálních vlastností, která se aplikuje do určeného výkopu. Závěrem IV etapy je finální formulace unikátnosti nově vyvinuté technologie. Schéma řešení etapy IV je znázorněno na Obr. 4.



Obr. 4: Schéma postupu řešení předkládané disertační práce – etapa IV

4 REALIZACE, VYHODNOCENÍ A DISKUSE PRÁCE JEDNOTLIVÝCH ETAP

4.1 ETAPA I – CHARAKTERISTIKA VSTUPNÍCH SUROVIN A NÁVRH NA ÚPRAVU ZEMIN

Předmětem této etapy bylo zkoumání a ověření vlastností zemin z vytipovaných lokalit a dalších druhů materiálů vhodných pro návrh samozhutnitelných zálivek. Zejména se jednalo o určení hlavních geologických parametrů zemin, na základě nichž bylo možné určit, zda lze zeminu zpětně použít v konstrukci ve stavu, v jakém byla vyhloubena, či je nutná její další úprava.

4.1.1 Charakteristika vybraných typů zemin

Z dostupných lokalit byly pro experimentální činnost vybrány konkrétní místa pro odběr vzorků. Jednalo se o lokalitu Brno-Černovice (písčité jílo saCl, Obr. 5), Brno-ul. Provazníková (písčité zemině fgrCSa, Obr. 6) a Brno-Medlanky (jílo Cl, Obr. 7)



Obr. 5: Zemina z lokality Brno - Černovice



Obr. 6: Zemina z lokality Brno – ul. Provazníková



Obr. 7: Zemina z lokality Brno – Medlanky

Pro to, aby se určilo, jaké konkrétní typy zemin se na daném území nacházejí a zda je nutná jejich úprava, bylo nutné provést odběr vzorků, na kterých byly následně provedeny laboratorní testy. Na základě provedených zkoušek dle normových požadavků ČSN EN ISO 14688-1, ČSN EN ISO 14688-2, ČSN EN ISO 17892-4, ČSN EN ISO 14689 a ČSN EN 1997-2 a zároveň s ohledem na technické kvalitativní podmínky TKP 30, TP 170, především pak TP 94, bylo zjištěno, že zeminy nebylo možné použít v takové stavu, v jakém byly vyhloubeny. A to především z toho důvodu, že již podle zatřídění (S-F, MH, CI) dle normy ČSN 73 6133 patří tyto zeminy do kategorie „nevhodných“ zemin, které nejsou určeny k přímému použití bez úpravy. Na základě těchto zjištění byl proveden návrh na jejich úpravu.

4.1.2 Návrh na úpravu zemin

Vzhledem k povaze zemin (především složení, obsahu vlhkosti, jemných částic a namrzavosti) a na základě normových požadavků, byla jako vhodná úprava těchto zemin navržena *stabilizace*. Tento způsob úpravy zemin byl zvolen díky tomu, že při vhodně zvoleném druhu a množství stabilizačních činidel (vápna, cementu) lze dosáhnout zlepšení zpracovatelnosti, zhutnitelnosti, namrzavosti, vlhkosti a dalších vlastností zemin. Zároveň jsou stabilizační přísady, jedny z materiálů, které jsou ochotny reagovat se zeminami a je možné je proto využít při návrhu receptur samozhutnitelných zálivek. Jako další návrh na způsob úpravy zemin, kromě stabilizace, bylo jejich *ztekucení*. V tomto případě se jedná o zcela novou technologii úpravy zemin, která doposud není v nynější praxi zcela známa a v zahraničí je používána pouze výjimečně či jako tzv. „know how“.

4.1.3 Výběr surovin pro úpravu zemin

Výsledkem první etapy byl konkrétní výběr surovin pro návrh receptur samozhutnitelných zálivek na bázi zemin, které byly následně ověřovány v rámci II Etapy disertační práce. Z hlediska stabilizace bylo na základě výsledků laboratorního testování zemin, především pak indexu plasticity I_p a obsahu jemnozrnné frakce f zemin, zvoleno jako optimální, pro návrh receptur samozhutnitelných zálivek, použití 1,5 % a 3,0 % nehašeného vápna ViaCalco 90 od společnosti Carmeuse a 2 %, 4 %, 6 % a 8 % cementu CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R ze závodu v Mokré od společnosti Českomoravský cement, a. s. (z celkové hmotnosti zeminy).

S ohledem na vývoj nové technologie ztekucení zemin, bylo pro návrh samozhutnitelných zálivek dále zvoleno použití plastifikačních a ztekucujících přísad. Konkrétními vybranými druhy plastifikačních přísad byly: Sika ViscoCrete – 1062, Sika ViscoCrete – 21 a Sika ViscoCrete – 4088 a ztekucujících přísad: uhličitán sodný, hexametafosfát sodný a tripolyfosfát sodný. S ohledem na vlastnosti plastifikačních přísad a doporučení od výrobce bylo pro návrh samozhutnitelných zálivek použito množství 1 %, 2 % a 3 % plastifikační přísady (z hmotnosti cementu). Pro ověření účinku ztekucujících přísad na konkrétní typ zeminy bylo voleno množství ztekucující přísady od 0 % až po 10 % z hmotnosti zeminy.

Pro zjištění účinku vedlejších energetických produktů, při návrhu samozhutnitelných zálivek, bylo zároveň navrženo provedení pilotního ověření přídatku 5 %, 10 %, 30 % a 60 % (z hmot. zeminy) fluidního popílku (FA) z elektrárny Tisová.

4.2 ETAPA II – SLEDOVÁNÍ VLIVU STABILIZAČNÍCH ČINIDEL PŘI NÁVRHU SAMOZHUTNITELNÝCH ZÁLIVEK

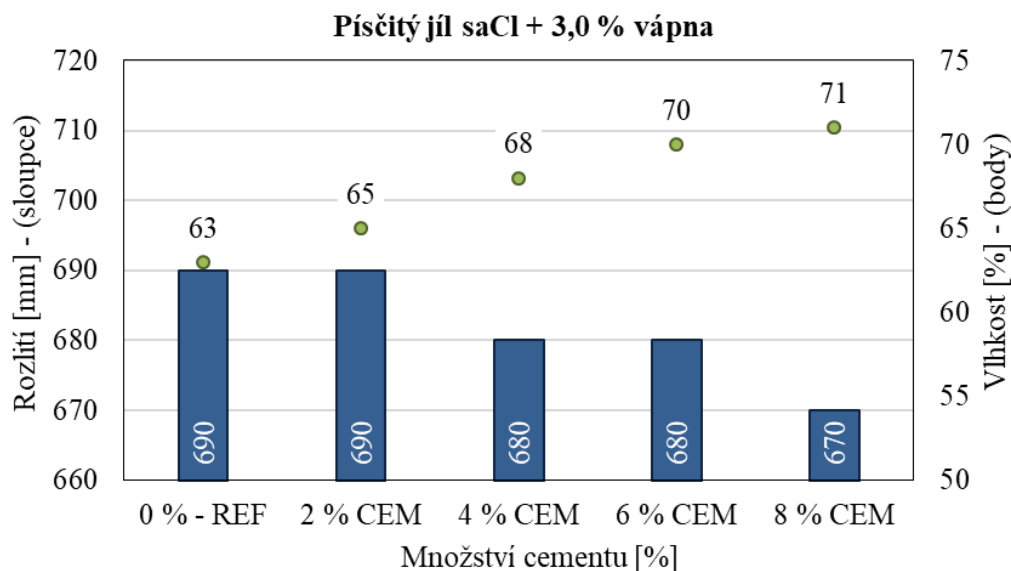
Ve druhé etapě bylo provedeno navržení a ověření receptur samozhutnitelných zálivek na bázi zemin (písčité jíl „saCl“, mírně jílovitý jemnozrnný šterkovitý hrubozrnný písek „fgrCSa“ a jíl „Cl“) a stabilizačních činidel (vápno, cement, popílek). Návrh receptur byl proveden s ohledem na co největší využití různých typů zemin a k nim vhodných druhů a množství stabilizačních činidel. Za účelem získání detailního popisu reakce mezi jednotlivými komponenty bylo rovněž provedeno laboratorní testování, kterým se ověřily požadované fyzikálně mechanické vlastnosti samozhutnitelných zálivek. Mezi nejdůležitější sledované parametry samozhutnitelných zálivek patřilo rozlití a pevnost v tlaku, proto jsou dále v textu uvedeny pouze tyto vybrané grafy.

4.2.1 Vliv stabilizačních činidel při návrhu samozhutnitelných zálivek

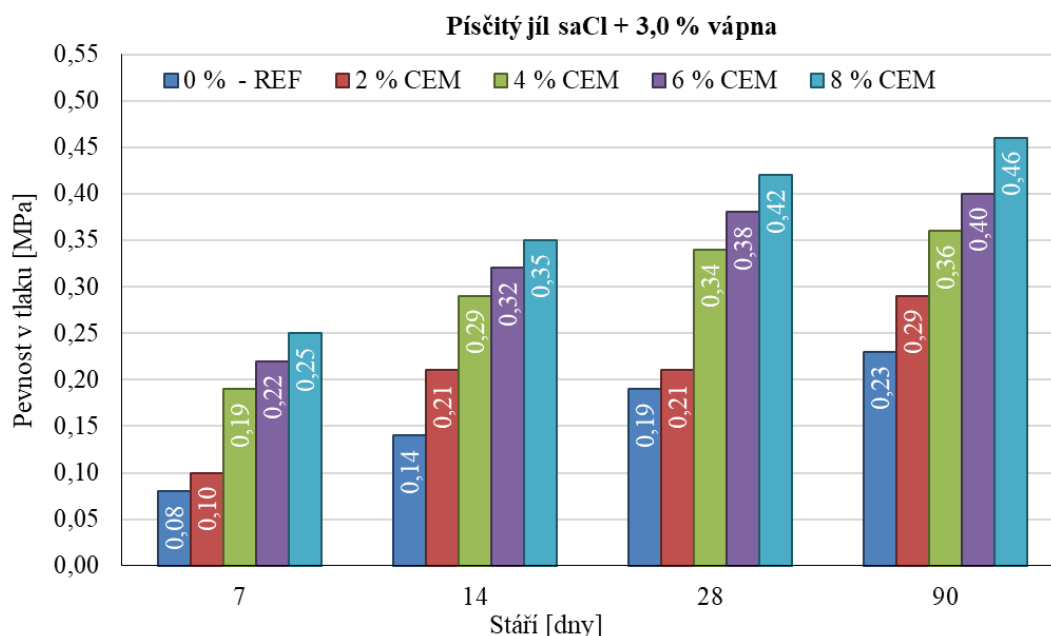
Prvním ověřovaným typem zeminy byl písčité jíl saCl odebraný z lokality Brno – Medlánky. Z dosažených výsledků samozhutnitelných zálivek na bázi písčitého jílu saCl, 1,5 % - 3,0 %, 0 – 8 % cementu bylo zjištěno, že pro zlepšení parametrů, jak v čerstvém, tak v zatvrdlém stavu bylo účinné použití 3,0 % vápna a 2 % a 4 % cementu k danému písčitému jílu saCl (Obr. 8, Obr. 9). Při porovnání účinku vápna a cementu lze konstatovat, že ochotněji s písčitém jílem saCl reagovalo vápno, konkrétně v množství 3,0 %. Na rozdíl od cementu totiž vápno atakovalo jílovité minerály, čímž docházelo k chemickým reakcím, které vedly např. k lepší stabilizaci (snížení smrštění). Pro zvýšení pevnosti v tlaku a zároveň pro stabilizaci směsi se účinně projevila přítomnost cementu, který ovšem spíše reagoval s přítomnou vlhkostí, než s jílovými minerály, za vzniku hydratačních produktů (Obr. 9). S ohledem na výše uvedené výsledky byly dále používány již vybrané receptury (jílovitá zemina saCl, 3,0 % vápna a 2 – 4 % cementu), na kterých byly ověřovány další druhy přísad.

Účinek pojiv byl u vybraných samozhutnitelných zálivek (na bázi písčitého jílu saCl) zároveň sledován, mimo jiné, i pomocí elektronové rastrovací mikroskopie. Na základě provedené analýzy bylo zaznamenáno, že vyšší množství vápna (3,0 %) způsobovalo přeměnu vrstevnaté struktury písčitého jílu saCl, která je typická pro jílové minerály na strukturu zrnitou a zároveň docházelo k mírnému zvýšení pórovitost samozhutnitelných zálivek (Obr. 10, Obr. 11). Vznik pórovitější struktury byl způsoben restrukturalizací záporně nabitých jílovitých částic, které byly obklopeny kladně nabitým kationtovým obalem. Zpočátku byly totiž částice jílu rozptýleny a vyskytovalo se u nich paralelní uspořádání. Kvůli jejich negativnímu povrchovému náboji a kladně nabitým kationtovým obalům ovšem následně

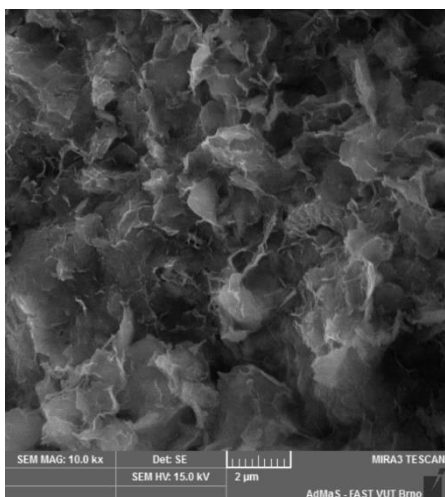
docházelo k tomu, že se částice navzájem mírně odpuzovaly. Tento jev byl ovšem překonán následnými pucolánovými reakcemi, které vedly především ke zvýšení pevností v tlaku a snížení smrštění samozhutnitelných záливоček. Na základě mikroskopické analýzy byl mechanismus pucolánové reakce zaznamenán transportem hydroxidu vápenatého pomocí vody a spojením s hlinitanovými a/nebo silikátovými jílovými minerály. Výsledkem byl vznik „cementových produktů“ obsahujících hydráty křemičitanů a hlinitanů vápenatých (Obr. 10, Obr. 11).



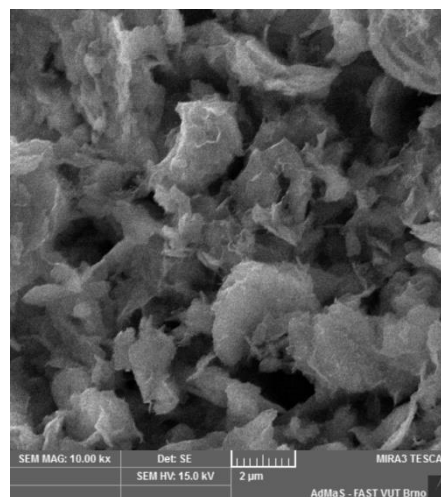
Obr. 8: Závislost rozliti na vlhkosti směsi na bázi saCl, 3,0 % vápna a 0 % - 8 % cementu



Obr. 9: Hodnoty pevností v tlaku směsi na bázi saCl, 3,0 % vápna a 0 % – 8 % cementu



Obr. 10: Jíl Cl, 1,5 % vápna,
4 % CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R



Obr. 11: Jíl Cl, 3,0 % vápna,
4 % CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R

Druhým ověřovaným typem zemin spolu se stabilizačními činidly byl „mírně jílovitý jemnozrnný šterkovitý hrubozrnný písek – fgrCSa“ odebraný z lokality Brno – Černovice. Na základě výsledných parametrů samozhutnitelných zálivek na bázi písčité zeminy fgrCSa, především pak hodnoty rozlití, pevnosti v tlaku a smrštění, lze konstatovat, že pro účinnou stabilizaci a vhodnou úpravu bylo optimální použití 1,5 % vápna a 4 % cementu. Vzhledem k povaze samozhutnitelných zálivek na bázi písčité zeminy fgrCSa můžeme říci, že větší vliv na pevnosti v tlaku měl přírůstek cementu než přírůstek vápna. Vápno totiž ochotněji reagovalo s jílovými minerály, jak bylo uvedeno u předchozí zeminy saCl, kdežto cement lépe reagoval s křemičitými složkami, jak tomu bylo o písčité zeminy fgrCSa. S ohledem na dosažené výsledky byly dále používány již vybrané receptury samozhutnitelných zálivek složených z písčité zeminy fgrCSa, 1,5 % vápna a 4 % cementu, na kterých byly ověřovány další druhy přísad.

Třetím ověřovaným typem zemin byl jíl Cl odebraný z lokality Brno – ul. Provazníková. Při sledování účinku pojiv (vápna a cementu) u samozhutnitelných zálivek na bázi jílu Cl, bylo zjištěno, že pro dosažení optimálních parametrů zálivek je vhodné použití 3,0 % vápna a 2 – 4 % cementu. Vápno ochotně reagovalo spolu s jílovými minerály, obsaženými v jílu Cl, což se projevilo především zlepšením stabilizace směsi (snížením smrštění). Cement s jílem a vodou ochotně reagoval za vzniku hydratačních produktů, které měly vliv na zvýšení hodnot pevností v tlaku a snížení smrštění. Jak vápno, tak cement se v případě účinku na samozhutnitelné zálivky na bázi jílu Cl projeví jako vhodné stabilizační přísady. Pro dosažení optimálních vlastností samozhutnitelných zálivek na bázi jílu Cl bylo tedy vhodné použití 3,0 % vápna a 2 – 4 % cementu. Takto navržené receptury jsou proto dále používány a ověřovány v další etapě.

4.3 ETAPA III – SLEDOVÁNÍ VLIVU DALŠÍCH DRUHŮ PŘÍRAD A PŘÍMĚSÍ PŘI NÁVRHU SAMOZHUTNITELNÝCH ZÁLIVEK

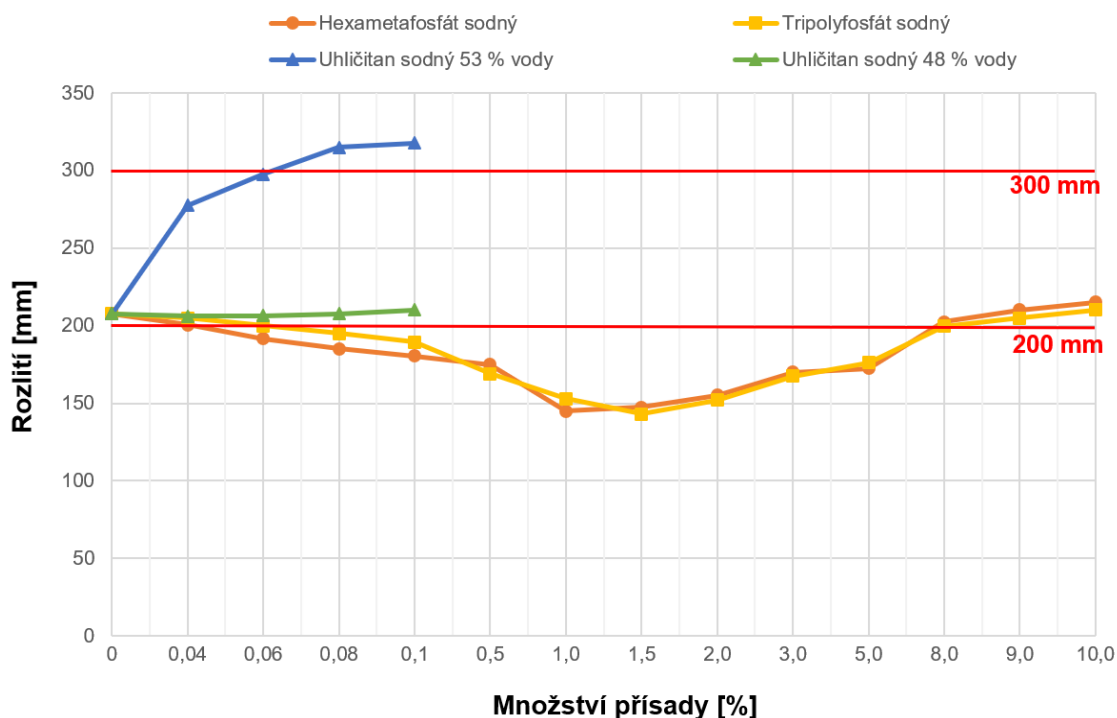
Z předchozích výzkumných prací disertace bylo zjištěno, že vhodnou volbou a množstvím pojiv, k danému typu zemin, spolu s přidavkem vody, lze získat samozhutnitelnou zálivku, která svými parametry umožňuje její použití v konstrukci. Nutné je zde poznamenat, že ztekucení samozhutnitelných zálivek bylo dosaženo pouze pomocí vody, což se především u zálivek na bázi jílu Cl projevilo jejím vysokým podílem, které mělo následně největší vliv na zvýšení hodnoty smrštění. Snahou a jedním z cílů III Etapy disertační práce proto bylo objasnění vlivu synergického působení ztekucujících či plastifikačních přísad s minerály obsaženými v různých typech zemin, které mohou vést k redukci vody a tím i ke zlepšení dalších parametrů zálivek.

4.3.1 Laboratorní testování a výběr dispergačních činidel

Vzhledem k tomu, že samozhutnitelné zálivky patří mezi tzv. „hybridní materiál“, který nelze posuzovat ani jako beton, ani jako zhutněnou zeminu či jinou cementovou zálivku, byl výběr vhodných plastifikačních a ztekucujících přísad proveden s ohledem na daný typ zeminy.

Pro návrh samozhutnitelných zálivek byly použity následující druhy přísad: plastifikační přísady - Sika ViscoCrete 21, Sika ViscoCrete 4088 a Sika ViscoCrete 1062, v množství 1 %, 2 % a 3 % (z hmotnosti cementu) a ztekucující přísady - hexametafosfát sodný, tripolyfosfát sodný a uhličitan sodný, v množství 0,04 %; 0,06 %; 0,08 %; 0,1 %; 0,5 %; 1,5 %; 2,5 %; 3,5 %; 5,0 %; 8,0 %. Nejprve se na samozhutnitelných zálivkách ověřoval účinek ztekucujících přísad. Vzhledem k povaze zemin bylo testování zaměřeno na písčitý jíl „saCl“. U této zeminy se, na rozdíl od mírně jílovitého jemnozrnného šterkovitého hrubozrnného písku „fgrCSa“, předpokládal větší účinek ztekucující přísady, která by ochotně reagovala spolu s jílovitými minerály (jemnozrnnými částicemi f), jež jsou v zemině obsaženy ve více jak 69 %. Zároveň písčitý jíl saCl, ve srovnání s jílem Cl, reprezentuje zeminu, která se svými vlastnostmi nejvíce podobá těm druhům zemin, jež jsou v ČR zastoupeny v největší míře.

Při porovnání účinku přísad na ztekucení zeminy můžeme na Obr. 12 vidět, že největší vliv na ztekucení (hodnotu rozlití) měl uhličitan sodný. Tento účinek se projevil již při přidavku malého množství (0,04 % z hmot. zeminy) této přísady. Požadovaného rozlití (200 – 300 mm, podle zkoušky ASTM D 6103-96) bylo dosaženo při obsahu vody v množství 48,5 %. Použitím této přísady se podařilo snížit množství vody pro dosažení optimálního rozlití o 5 %



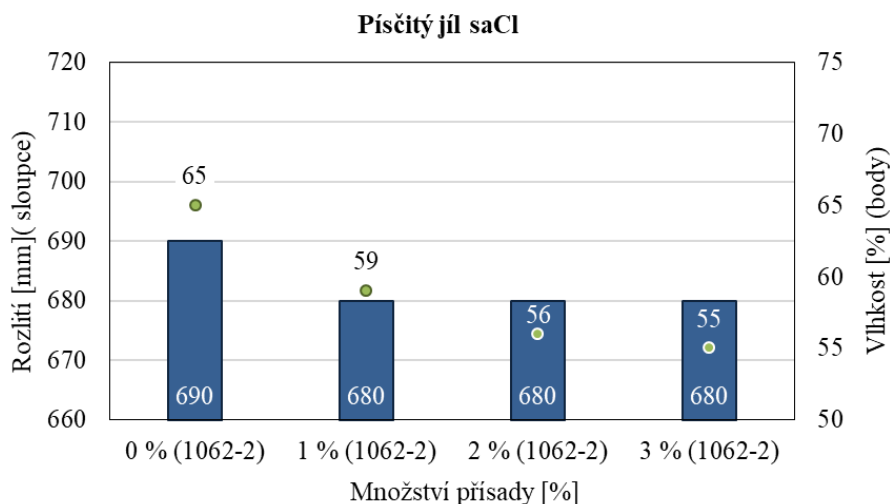
Obr. 12: Ověření účinku dispergačních činidel s jílovitou zeminou saCl

Experimentálně bylo stanoveno, že uhličitan sodný (anorganický elektrolyt) reagoval především s jemnozrnnými jílovitými částicemi obsaženými v písčitém jílu saCl. Touto reakcí docházelo ke zvýšení elektrokinetického potenciálu, díky čemuž se snižovala viskozita. Chemicky se tato reakce projevila vázáním vícemocných kationtů na povrchu micely jílovitých minerálů. Sloučenina uhličitanu sodného Na_2CO_3 při této reakci byla schopna vázat kationty Ca^{2+} a nahradit je za kationty Na^+ , což se projevilo ztekucením samozhutnitelné zálivky. Pro další experimentální činnost ověření přísad ve směsi zeminy s pojivy byl proto testován kromě výše zmíněných plastifikačních přísad (Sika ViscoCrete 21, Sika ViscoCrete 4088 a Sika ViscoCrete 1062) také uhličitan sodný v množství 0,08 %.

4.3.2 Vliv plastifikačních a ztekucujících přísad při návrhu samozhutnitelných zálivek

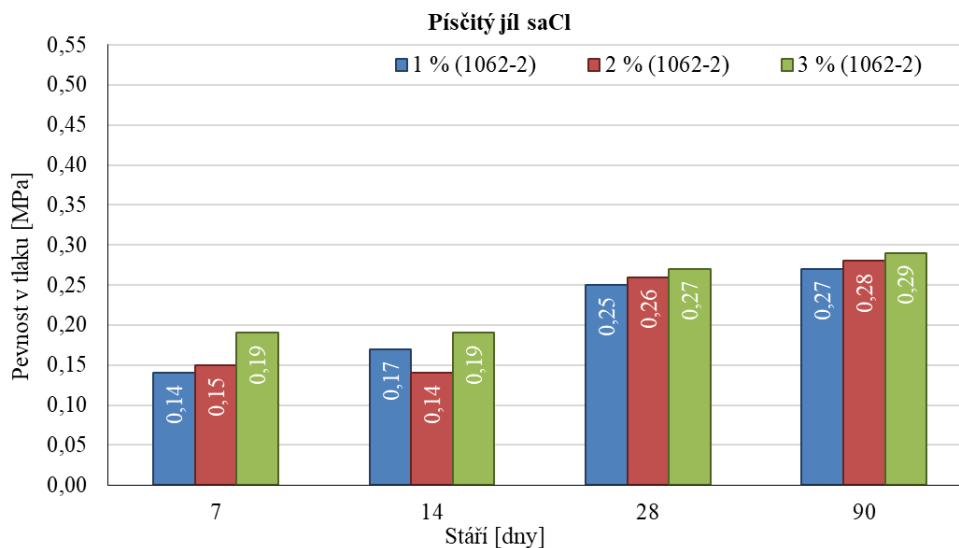
Na základě dosažených výsledků bylo zjištěno, že největší vliv na zlepšení parametrů zálivek (především rozliti, pevnosti v tlaku a smrštění) měla plastifikační přísada Sika ViscoCrete - 1062 v množství 3,0 % (z hmot. cementu) a ztekucující přísada uhličitan sodný v množství 0,08 % (z hmot. zeminy).

Při použití plastifikační přísady Sika ViscoCrete - 1062 v množství 3,0 % bylo dosaženo u samozhutnitelných zálivek (na bázi saCl) snížení hodnoty vody až na 56 %, při zachování parametru rozliti 690 mm (Obr. 13). Zároveň bylo zjištěno, že k mírnému zvyšování hodnoty rozliti (až na 720 mm, při 8% dávce cementu a 61 % vlhkosti u samozhutnitelných zálivek na bázi saCl) docházelo se zvyšující se dávkou cementu. Tím byl prokázán synergický účinek plastifikační přísady s cementem.



Obr. 13: Závislost rozliti na vlhkosti samozhutnitelných zálivek na bázi písčitého jílu saCl, 3,0 % vápna, 4 % cementu a 0-3 % plastifikační přísady Sika ViscoCrete – 1062

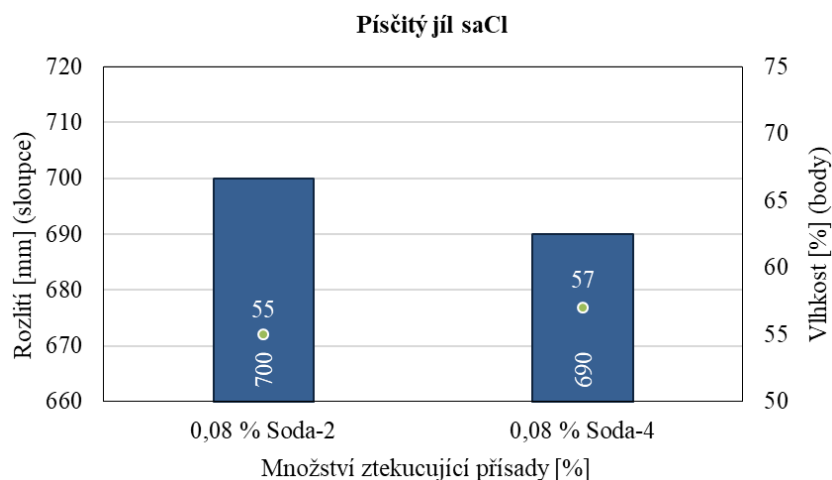
Vliv plastifikační přísady a cementu se projevil i na parametru pevnosti v tlaku a smrštění. U samozhutnitelné zálivky na bázi písčitého jílu saCl, 3,0 % vápna, 2 % cementu a plastifikační přísady Sika ViscoCrete – 1062 (v množství 3,0 % z hmot. cementu) bylo dosaženo pevnosti v tlaku 0,27 MPa po 28 dnech zrání (Obr. 14) a smrštění 2,1 % (při vlhkosti 23 %, po 28 dnech zrání). Samozhutnitelné zálivky obsahující vyšší dávku cementu (4 %) dosahovaly pevnosti v tlaku až 0,32 MPa po 28 dnech zrání a smrštění 2,1 % (při vlhkosti 24 %, po 28 dnech zrání).



Obr. 14: Pevnosti v tlaku samozhutnitelných zálivek na bázi písčitého jílu saCl, 3,0 % vápna, 2 % cementu a 1-3 % plastifikační přísady Sika ViscoCrete – 1062

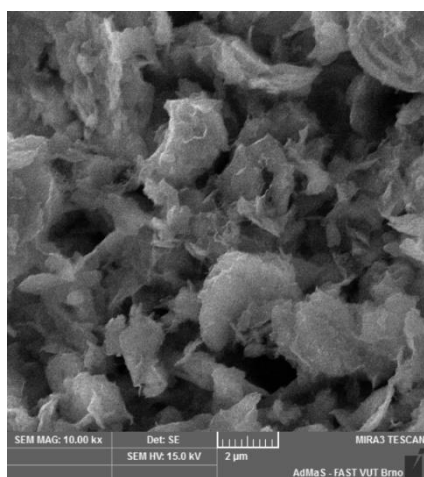
Experimentálně bylo u samozhutnitelných zálivek na bázi jílovitých zemín (písčitého jílu saCl – Obr. 15, jílu Cl), 3,0 % vápna a 2 – 4 % cementu, zároveň zjištěno, že ještě většího snížení množství vlhkosti (až na hodnotu 55 %)

a zvýšení parametru rozlití (až na hodnotu 700 mm) bylo dosaženo za pomoci ztekucující přísady uhličitanu sodného v množství 0,08 % (z hmot. zeminy). Synergický účinek uhličitanu sodného se projevil především s jemnozrnnými jílovitými částicemi obsaženými v písčitém jílu saCl.

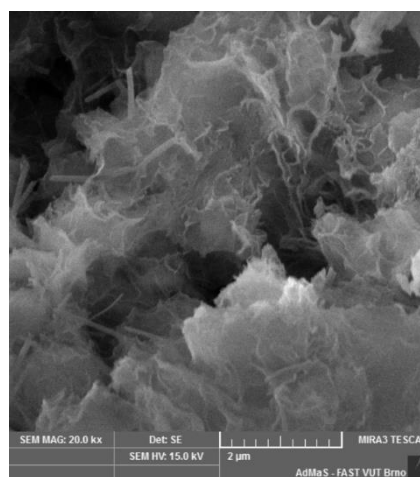


Obr. 15: Závislost rozlití na vlhkosti samozhutnitelných zálivek na bázi písčitého jílu saCl, 3,0 % vápna, 2 a 4 % cementu a 0,08 % uhličitanu sodného (sody)

Účinek plastifikačních a ztekucujících přísad byl u vybraných samozhutnitelných zálivek (na bázi písčitého jílu saCl) zároveň sledován, mimo jiné, i pomocí elektronové rastrovací mikroskopie. Na snímcích z elektronové mikroskopie byl viditelný vznik tzv. „gelů“, které vznikaly reakcí plastifikačních a ztekucujících přísad spolu s dalšími složkami obsaženými v zálivkách (Obr. 16, Obr. 17). U samozhutnitelné zálivky na bázi písčitého jílu saCl, byla zaznamenána především synergická reakce cementu spolu s plastifikační přísadou Sika ViscoCrete – 1062. A u samozhutnitelné zálivky na bázi jílu Cl, obsahující uhličitan sodný, byla zaznamenána synergická reakce této přísady spolu s jílovými minerály.



Obr. 16: saCl, 3,0 % vápna, 4 % CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R, 3,0 % Sika ViscoCrete 1062



Obr. 17: saCl, 3,0 % vápna, 4 % CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R, 0,08 % uhličitanu sodného

Z výsledků sledování parametrů samozhutnitelných zálivek na bázi písčité zeminy fgrCSa, 1,5 % vápna, 4 % cementu a 0 – 3 % rozdílných druhů plastifikačních přísad bylo zjištěno, že největší vliv na výsledné vlastnosti měla plastifikační přísada Sika ViscoCrete – 1062 v množství 3,0 % (z hmot. cementu).

U samozhutnitelných zálivek na bázi jílu Cl měla na výsledné vlastnosti největší vliv ztekucující přísada uhličitanu sodného v množství 0,08 % (z hmot. zeminy).

4.3.3 Vliv vedlejších energetických produktů na samozhutnitelné zálivky

Předmětem výzkumných prací III Etapy zároveň bylo pilotně navrhnout a ověřit ztekucení zemin, umožňující jejich zpětné použití ve stabilizované a samozhutnitelné formě, s použitím alternativních surovin (fluidního popílku).

Z hlediska reologických vlastností bylo zjištěno, že přidavek fluidního popílku v množství do 30 % (z hmot. zeminy) výrazně zvyšoval hodnotu rozlití směsi až na 790 mm (SF3). Vyšší množství popílku (60 %) naopak hodnotu rozlití snižovalo. Tento jev byl ovlivněn přítomností CaO v popílku, který okamžitě reagoval s přidanou vodou. Při srovnání hodnoty rozlití zálivky, kde nebyl a kde byl přítomný cement, lze konstatovat, že na hodnotu rozlití měl spíše vliv popílek než cement.

Při hodnocení pevnosti v tlaku můžeme říci, že s přibývajícím množstvím fluidního popílku v zálivce, docházelo ke zvyšování pevnosti v tlaku, ovšem pouze do hodnoty 10 %. Vyšší dávka fluidního popílku (30 % a 60 %) hodnoty pevnosti v tlaku samozhutnitelných zálivek na bázi písčitého jílu saCl snižovala. Přítomnost CaO ve fluidním popílku mohla hodnoty pevnosti v tlaku směsi mírně zvyšovat, ovšem tento jev nebyl až tak znatelný. Výrazný vliv na zvýšení hodnoty pevnosti v tlaku měl především cement. Cement spolu se zeminou reagoval velice ochotně za vzniku hydratačních produktů (rozpustných gelů), které postupem času krystalovaly a vytvářely propletenou mřížku, což se projevilo i na výsledných pevnostech vzorků.

Na základě dosažených hodnot rozlití a pevnosti v tlaku, a s ohledem na ekologické parametry lze konstatovat, že se jako optimální jevílo při návrhu samozhutnitelných zálivek na bázi saCl a 4 % cementu použití fluidního popílku do 10 %.

4.4 ETAPA IV – SAMOZHUTNITELNÉ ZÁLIVKY VS. STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE, OVĚŘENÍ VYVINUTÉ TECHNOLOGIE IN SITU

IV Etapa disertační práce byla zaměřena na porovnání nově vyvinuté technologie zpětného využití zemin ve formě samozhutnitelných zálivek se stávajícími technologiemi provádění výkopů inženýrských sítí. Porovnání technologií bylo provedeno s ohledem především na aplikovatelnost samozhutnitelné zálivky, její použitelnost, ekonomické, bezpečnostní a environmentální hledisko.

4.4.1 Samozhutnitelné zálivky vs. stávající technologie

Technologie zpětného využití zemin ve formě samozhutnitelných zálivek má, ve srovnání s technologií zhutňování zemin, řadu výhod. Hlavními výhodami samozhutnitelných zálivek

na bázi zemin jsou:

- ***Využitelnost zemin a eliminace jejich skládkování.*** Ve srovnání s technologií zhutňování nedochází při provádění samozhutnitelných zálivek ke vzniku odpadu a nutnosti skládkování zemin. Zároveň lze, za pomoci vhodné úpravy, využít téměř všech typů zemin. Samozhutnitelnou zálivku je možné aplikovat do výkopu ihned po jejím zhotovení.
- ***Úprava receptury samozhutnitelných zálivek.*** Velkou výhodou samozhutnitelných zálivek na bázi zemin je všestrannost jejího návrhu pro dosažení požadovaných parametrů. Pomocí vhodného druhu a množství pojiv, přísad či příměsí lze upravit např. tekutost směsi, pevnost v tlaku, urychlit či zpomalit počátek a konec tuhnutí, snížit objemovou hmotnost, smrštění atd.
- ***Využitelnost alternativních typů surovin.*** Při návrhu samozhutnitelných zálivek je možné použít alternativních typů surovin (popílků), pomocí kterých lze zlepšit reologické vlastnosti, zvýšit pevnost v tlaku, počátek a konec tuhnutí atd.
- Při využití popílku se zároveň eliminuje nutnost jejich skládkování a zvyšuje se tím potenciál jejich použití v rámci dalšího druhu technologie. Množství popílků v samozhutnitelné zálivce musí být ovšem vždy v souladu s ekologickými parametry.
- ***Pevnost v tlaku a odolnost.*** Jak již bylo zmíněno výše pevnost v tlaku samozhutnitelných zálivek lze upravit na požadované parametry. Důležité ovšem je, že pomocí samozhutnitelných zálivek lze dosáhnout vyšších pevností v tlaku než v případě technologie zhutňování zemin, které není ani v některých případech vůbec možné. Samozhutnitelné zálivky jsou zároveň, ve srovnání s technologií zhutňování, méně propustné a tím více odolné vůči erozi.
- ***Ztekucení.*** Ve srovnání s technologií zhutňování zemin, má samozhutnitelná zálivka velkou výhodu ve schopnosti jejího tečení bez nutnosti použití dalších stavebních strojů a zařízení.
- ***Eliminace sedání a odvodnění.*** Samozhutnitelné zálivky po jejich aplikaci, ve srovnání s technologií zhutňování, nevyžadují žádnou údržbu, jako např. dohutnění, doplnění atp. Při aplikaci samozhutnitelné zálivky nevznikají žádné prázdné prostory, čímž je eliminováno sedání. Samozhutnitelné zálivky zároveň dokážou vytlačit jakoukoliv stojící vodu ve výkopu a eliminovat tím odvodnění.
- ***Rozměrové omezení výkopů.*** Technologie aplikace samozhutnitelných zálivek umožňuje její použití i v užších výkopech, kde by nebylo možné použít zhutňovacích strojů. Zároveň je možné aplikovat samozhutnitelné zálivky i ve velkorozměrových výkopech za dalších výhod (rychlejší aplikace, snížení množství zařízení, zvýšení bezpečnosti pracovníků atd.).
- ***Snadné dodání a aplikace.*** V případě, že nejsou samozhutnitelné zálivky zhotoveny přímo na staveništi, je možné je dovážet pomocí autodomíchávačů.

Umístění pomocí autodomíchávačů je rychlé a zpravidla vyžaduje pouze jednu osobu, aby nasměrovala žlab.

- ***Rychlost aplikace bez nutnosti hutnění.*** Samozhutnitelné zálivky lze provádět pomocí rychlého vypouštění ze skluzu/žlabu, čerpadel nebo koleček bez nutnosti hutnění či vibrace, čímž se eliminuje čas nutný pro uzavření silnice, chodníku atd.
- ***Jednodušší aplikovatelnost i v méně přístupných místech.*** Pomocí žlabů, čerpacích zařízení či koleček lze, ve srovnání s technologií zhutňování, aplikovat samozhutnitelné zálivky i do těch nejméně přístupných a vzdálených míst a zároveň zajistit, že bude vyplněn veškerý prostor okolo IS.
- ***Redukce množství zařízení.*** Ve srovnání s technologií zhutňování zeminy lze samozhutnitelné zálivky umístit do výkopů bez nutnosti použití nakladačů, zhutňovacích zařízení a bez nutnosti přítomnosti stavebního dozoru.
- ***Zvýšení bezpečnosti pracovníků.*** Při provádění samozhutnitelných zálivek nemusí pracovníci vstupovat do výkopů, aby je zaplnili, čímž se snižuje nutnost pohybu pracovníků v zúžených prostorech. Zároveň nejsou pracovníci při aplikaci samozhutnitelné zálivky vystaveni působení dynamických rázů od zhutňovacích zařízení.
- ***Menší riziko poškození IS.*** Na rozdíl od provádění technologie zhutňování, je při aplikaci samozhutnitelné zálivky menší riziko porušení inženýrských sítí. A to především z toho důvodu, že při vyplňování výkopů samozhutnitelnou zálivkou nevznikají dynamické rázy, které by mohly trouby poškodit.
- ***Snadná vyhloubitelnost.*** Velkou výhodou samozhutnitelných zálivek je to, že jsou navrhovány na takové pevnosti v tlaku, aby bylo možné je v budoucnu vyhloubit (v případě poškození či výměny trub) a to i za pomoci běžných nástrojů pro kopání zeminy či bagrů.
- ***Testování samozhutnitelných zálivek.*** Testování samozhutnitelných zálivek (rozliti, pevnost v tlaku) a to přímo na staveništi, je snazší než testování spojené s určením pevnosti zhutněné zeminy.

I přes výše uvedenou řadu výhod použití samozhutnitelných zálivek pro vyplnění prostor IS může mít v praxi tato technologie i nevýhody. Mezi některé z nich patří například to, že:

- technologie samozhutnitelných zálivek může být díky použití potřebných surovin více nákladná, než zásypy (písek, štěrkopísek atd.),
- nesprávné navržení samozhutnitelných zálivek (příliš vysoká pevnost) může způsobit nesnadné vyhloubení v budoucnu,
- pro veškeré používané suroviny nelze na staveništi zajistit jejich dostatečné skladování,
- mohou vznikat prodlevy při umístění a dodávce samozhutnitelných zálivek pomocí autodomíchávačů,

- pracovníci nejsou dostatečně informováni o správném návrhu a použití surovin pro samozhutnitelné zálivky (nesprávné dávkování, manipulace atd.).

Všechny výše uvedené nevýhody by nemusely nastat v případě, že budou pracovníci dostatečně informováni o provádění a aplikaci samozhutnitelných zálivek a bude řádně provedeno plánování jednotlivých prací. Pro eliminaci nevýhod je tedy nutná přítomnost stavebního dozoru.

4.4.2 Ověření vyvinuté technologie in situ

V rámci výzkumných prací IV Etapy disertační práce, bylo zároveň provedeno ověření nově vyvinuté technologie in situ. Proces výzkumných prací probíhal na staveništi v lokalitě Brno, ul. Provazníkova. Směs byla vyzkoušena na výkopu o rozměrech 1,5 m x 0,4 m x 0,5 m, ve kterém vedlo vodovodní potrubí z polymerní roury o průměru 125 mm (Obr. 18).

Pro ověření byla použita směs složená z písčitého jílu saCl, 3,0 % vápna, 4 % cementu a 0,08 % ztekucující přísady (uhličitanu sodného). U směsi bylo sledováno dokonalé obtečení instalací, samozhutnění, stabilita a únosnost v čase. V rámci experimentu byla použita zemina, která byla vykopána přímo na staveništi. Použitá pojiva (nehašené vápno, CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R) byly na staveništi dovezeny v pytlované formě a skladovány v suchém prostředí. Dávkování pojiv probíhalo ručně. Ztekucující přísada byla skladována v plastové nádobě. Před dávkováním ztekucující přísady bylo provedeno její důkladné protřepání. Dávkování ztekucující přísady probíhalo ručně. Všechny složky byly před mícháním odvažovány pomocí laboratorních vah. Vzhledem k vyššímu obsahu vlhkosti zeminy (22 %), přítomnosti jílovitých složek a také s ohledem na nižší teploty prostředí (cca 2° C), bylo nejprve přistoupeno k promísení zeminy s 3,0% dávkou vápna 24 hodin předem. Tento krok byl zvolen především pro snížení množství záměsové vody, která ovlivňuje tuhnutí směsi. Míchání zeminy s vápnem bylo prováděno ručně (Obr. 19). Následné míchání bylo provedeno pomocí míchačky s nuceným oběhem, určené pro zeminy. Míchačka je svým horním povrchem osazena sítí (Obr. 20) pro separaci zrn větších jak 16 mm. Odstranění větších zrn bylo nutné z toho důvodu, že by mohly znesnadnit zatékání směsi do nejmenších prostor v okolí instalace.



Obr.18: Výkop s vloženou instalací



Obr. 19: Ruční míchání zeminy s vápnem



Obr. 20: Michačka na zeminy opatřena na horní straně sítem

Po 24 hodinách, od mísení zeminy s vápnem, následovalo míchání zeminy s ostatními složkami. Nejprve se jednalo o 5 minut mísení vápnem ošetřené zeminy s cementem. Následně byla do směsi přidána ztekucující přísada, která byla předem rozmíchána spolu s malým množstvím vody. Za intenzivního míchání, které probíhalo cca 5 min, byla do směsi postupně přidávána voda. Množství vody přidané do směsi se řídilo hodnotou optimálního rozlití, které se ověřovalo pomocí zkoušky rozlití Abrams kuželem (Obr. 21 a Obr. 22), kdy bylo naměřeno v průměru rozlití 700 mm. Po namíchání byla směs odlita do výkopu. Přeprava a odlévání směsi bylo prováděno pomocí koleček (Obr. 23). Pro laboratorní ověření byly ze směsi odebrány vzorky, na kterých se po sedmi dnech uložení v laboratorních podmínkách stanovovala pevnost v tlaku (Obr. 24). Ta dosahovala hodnoty 0,3 MPa. V reálných podmínkách bylo pozorováno, že se v čase stávala směs únosnější a po sedmi dnech zrání i částečně pochozí.



Obr. 21: Stanovení hodnoty rozlití směsi



Obr. 22: Stanovení hodnoty rozlití směsi



Obr. 23: Odlévání směsi



Obr. 24: Odběr vzorků směsi

Z hlediska posouzení dosažených vlastností lze konstatovat, že směs měla tendenci snadno vodovodní instalaci obtékat a vykazovala samozhutňující účinek (Obr. 25). Směs tedy bylo možné snadno odlévat bez nutnosti vibrace. V důsledku přítomnosti pojiv (vápna a cementu) vykazovala směs svou stabilitu. Tento jev byl pozorován tím, že nedocházelo k sedimentaci částic a až do vytvrdnutí si směs zachovala rovnoměrné rozptýlení částic. Účinek pojiv se projevil i zvyšováním únosnosti směsi v čase (Obr. 26). Vzhledem k nízkým teplotám (cca 2° C) však bylo tuhnutí směsi poměrně pomalé a v reálných podmínkách stavby by komplikovalo navazující stavební činnosti.



Obr. 25: Snadné obtékání směsi



Obr. 26: Zrání směsi v čase

5 ZÁVĚR

Cílem dizertační práce byl vývoj nové unikátní technologie zpětného využití zemin ve formě samozhutnitelných zálivek. Bylo nutné formulovat pro stavební praxi optimální technologii či způsob, který by vedl k dosažení zlepšení požadovaných parametrů zemin tak, aby bylo možné jejich zpětné využití. K tomuto cíli bylo využito moderních vědeckých metod, které následně mohly podat přehled o chování a mikrostruktuře vyvinutých hmot.

Na základě výstupů této práce bylo zjištěno, že všechny testované zeminy podle normových požadavků zcela nesplňují všechny parametry pro jejich zpětné použití v konstrukci a byla proto nutná jejich úprava. Vzhledem k povaze zemin (především mineralogickému složení, granulometrii, obsahu vlhkosti a namrzavosti) a na základě normových požadavků, byla jako vhodná úprava navržena stabilizace a následně nová technologie ztekucení.

Z pohledu studované problematiky o účinku pojiv (vápna, cementu) na jednotlivé typy zemin bylo experimentálně prokázáno, že mají tyto příměsi významný stabilizační účinek, který se projevil především na parametru rozlití, pevnosti v tlaku a smrštění navržených samozhutnitelných zálivek. Výsledky výzkumných prací zcela jednoznačně potvrdily, že na rozdíl od cementu mělo významný vliv na chemické atakování jílových minerálů především vzdušné vápno (ViaCalco 90), což se projevilo hlavně u samozhutnitelných zálivek na bázi písčitého jílu saCl a jílu Cl.

Účinek cementu se ve srovnání s vápnem výrazně projevil na zvýšení pevnosti v tlaku samozhutnitelných zálivek. Významněji se účinek cementu projevil u samozhutnitelných zálivek na bázi písčité zeminy fgrCSa, ve srovnání se samozhutnitelnými zálivkami na bázi saCl a Cl.

Experimentálně bylo stanoveno, že použitím pojiv (cementu, vápna, v určitém množství, s ohledem na daný typ zeminy) lze dosáhnout u samozhutnitelných zálivek požadovaných hodnot rozlití (SF2 - 660 mm až 750 mm), pevností v tlaku (větších jak 0,14 MPa po třech dnech zrání a větší jak 0,2 MPa po 28 dnech zrání - pro vyhloubitelné zálivky) a snížení smrštění. Ovšem v návaznosti na dosažení hlavního cíle, tedy vyvinutí nové technologie zpětného využití zemin ve formě samozhutnitelných zálivek, byly výzkumné práce dále zaměřeny na zjištění účinku plastifikačních a ztekucujících přísad a příměsí.

Významný vědecký přínos této disertační práce spočívá především v objasnění synergického účinku plastifikačních a především ztekucujících přísad při návrhu samozhutnitelných zálivek. Oproti stávajícím tuzemským i zahraničním zkušenostem s použitím ztekucujících přísad v keramickém průmyslu, pro dosažení optimální konzistence licích břeců na bázi kaolinitu, byla nově zjištěna možnost použití ztekucujících přísad i na neupravené zeminy (na bázi samozhutnitelných zálivek). Z dosažených výsledků této disertační práce bylo jednoznačně prokázáno, že použitím plastifikačních a ztekucujících přísad a příměsí (fluidního popílku), při návrhu samozhutnitelných zálivek na bázi zemin, došlo ke zlepšení parametrů rozlití, pevnosti v tlaku, smrštění a dob tuhnutí, a proto se výslovně doporučuje jejich použití. Množství přísad a příměsí je nutné vždy volit s ohledem na mineralogické složení zemin, což bylo v práci prokázáno. Experimentálně bylo stanoveno, že z vybraných druhů ztekucujících přísad se nejvíce, spolu s jílovými minerály obsaženými v zeminách, projevil synergický účinek ztekucující přísady uhličitanu sodného v množství 0,08 % (z hmot. zeminy). U plastifikačních přísad se prokázalo, že ochotněji reagovaly s cementem a jako nejúčinnější se pro zlepšení parametrů samozhutnitelných zálivek projevilo použití přísady Sika ViscoCrete – 1062 v množství 3,0 % (z hmot. cementu). Práce rovněž prokázala zlepšení parametrů samozhutnitelných zálivek při použití fluidního popílku, jakožto náhrady primární suroviny (zeminy) v množství do 10 % (s ohledem na ekologická kritéria).

Na základě dosažených výsledků bylo celkovým výsledkem práce vybrání, ze všech navržených samozhutnitelných zálivek, finálních variant receptur, vhodných pro stavební praxi. Celkem bylo vybráno 9 optimálních variant samozhutnitelných zálivek.

Experimentálně bylo zároveň na samozhutnitelné zálivce na bázi písčitého jílu saCl, 3,0 % vápna, 4 % cementu a 0,08 % uhličitanu sodného (z hmot. zeminy) provedeno její ověření in situ. Na základě dosažených výsledků byla jednoznačně prokázána aplikovatelnost zálivky bez nutnosti vibrace, její snadné obtékání inženýrských sítí i v těch méně přístupných místech a vývoj pevnosti v čase.

Z hlediska použitých druhů přísad a příměsí lze konstatovat, že jsou výsledky výzkumných prací této disertace vedoucí k nově vyvinuté technologii

samozhutnitelných zálivek na bázi zemin zcela unikátní. A i přes možnou vyšší cenu samozhutnitelných zálivek na bázi zemin, ve srovnání se stávající technologií provádění výkopů inženýrských sítí, bylo prokázáno, že může díky svým výhodám jednoznačně konkurovat technologii zhutňování.

6 PŘÍNOS PRO VĚDNÍ OBOR A PRAXI

Mezi hlavní přínosy předkládané disertační práce pro vědní obor a praxi patří bezesporu samotný vývoj nové unikátní technologie zpětného využití zemin ve formě samozhutnitelných zálivek na bázi zemin, která může šetřit zdraví pracovníku, čas a použití či aplikovatelnost v různých typech konstrukcí. Samozhutnitelné zálivky lze aplikovat bez nutnosti vibrace, je zajištěno jejich snadné obtékání kolem inženýrských sítí, a to i v hůře přístupných místech a vývoj pevnosti v čase.

Dalším přínosem je naplnění požadavku možnosti využití různých typů zemin, v kombinaci s dalšími materiály upravující jejich vlastnosti tak, že lze tyto zeminy zpětně využít v konstrukci, aniž by končily na skládkách odpadů. Z environmentálního hlediska vede tento fakt k výrazné úspoře přírodních zdrojů a nutnosti skládkování zemin.

Zcela dominantním přínosem disertační práce pro vědní obor je objasnění vlivu synergického působení ztekucujících a plastifikačních přísad s minerály obsaženými v různých typech zemin. Zjištěná fakta o samozhutnitelných zálivkách jsou přínosné pro široké spektrum geotechnických prací a jsou tímto v mnoha směrech unikátní.

Jasným přínosem je rovněž začlenění druhotných surovin do receptury samozhutnitelných zálivek, čímž dochází ke snížení nákladů a dopadu případné průmyslové výroby na životní prostředí.

Posledním zcela samozřejmým přínosem je publikace řady odborných článků o tématu disertační práce, a tím rozšíření získaných informací a dosažených výsledků mezi odbornou veřejnost, které mohou ve výsledku podpořit používání těchto materiálů a jejich další výzkum a vývoj.

7 SEZNAM VYBRANÉ LIERATURY

- [1] AL-HARTHY, A.S., TAHA, R., ABU-ASHOUR, J., AL-JABRI, K., & AL-ORAIMI, S. *Effect of water quality on the strength of flowable fill mixtures*. Cement and Concrete Composites, Volume 27, 2005, str. 33-39, DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2004.01.005.
- [2] BELL, F. G. *Ground Engineer's Reference Book*. Butterworths, London, 1987, str. 38/1-17, ISBN-13: 978-0408011730.
- [3] FEČKO, P., M. KUŠNIEROVÁ, B. LÝČKOVÁ, V. ČABLÍK, A. FARKAŠOVÁ. *Popílky*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2003, 187 s. ISBN 80-248-0327-5.
- [4] HANYKÝŘ, V., KUTZENDÖRFER, J. *Technologie keramiky*. Vyd. 2. Praha: Silikátový svaz, 2008, 387 s. ISBN 978-80-86821-48-1.
- [5] INGLES, O., METCALF, J. *Soil stabilization: principles and practice*. 1972, 374 s. ISBN 04-094-8215-3.
- [6] KAUN, M., LEHOVEC, F. *Pozemní komunikace 20*. 2. přeprac. vyd., Praha: ČVUT, 2004, 233 s., ISBN 80-01-02874-7.
- [7] LITTLE, D. N. *Handbook for stabilization of pavement subgrades and base courses with lime*. Dubuque, Iowa: Kendall/Hunt Pub. Co., 1995, 219 s., ISBN 0840396325.

- [8] LOVENCIN, W. *Assessment of design and properties for flowable fill usage in highway pavement construction for conditions in Florida*. University of Florida in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy, Civil and Coastal Engineering, Florida, 2007, s. 276.
- [9] PACHECO-TORGAL, F. *Handbook of Alkali-Activated Cements, Mortars and Concretes*. Edited by: Labrincha, J.A., Leonelli, C., Palomo, A., Chindapasirt P., Copyright © 2015 Elsevier Ltd. All rights reserved, 2015, 852 s., ISBN: 978-1-78242-276-1.
- [10] PYTLÍK, P. *Technologie betonu*. 2. vydání. Brno: VUTIUM, 2000, 390 s., ISBN 80-214-1647-5.
- [11] SHERWOOD, P. *Soil stabilization with cement and lime*. State of the Art Review. London: Transport Research Laboratory, 1993, HMSO.
- [12] SOKOLÁŘ, R., NEVŘIVOVÁ, L., VODOVÁ, L., GRYGAROVÁ, S. *Žárovzdorné jíly v ČR a metodika posuzování jejich vlastností*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2012, 183 s. ISBN 978-80-7204-817-5.
- [13] WHITE, D.J., HARRINGTON, D.S., THOMAS, Z. *Fly Ash Soil Stabilization for Non-Uniform Subgrade Soils*, Volume I: Engineering properties and construction guidelines. IHRB Project TR-461, FHWA Project 4, Washington, 2005.

8 CURRICULUM VITAE

Osobní údaje:

Jméno a příjmení: Magdaléna Michalčíková
 Datum a místo narození: 25.6.1990, Hranice
 Stav: vdaná
 Trvalé bydliště: Horní Újezd 128, 753 53 Všechnovice

Dosažené vzdělání:

2015–dosud: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Doktorský studijní program, Obor: Fyzikální a stavebně materiálové inženýrství, státní doktorská zkouška absolvovala 23. 9. 2016
 2013–2015: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Magisterský studijní program, Obor: Stavebně materiálové inženýrství, získán titul inženýr
 2009–2013: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Bakalářský studijní program, Obor: Stavebně materiálové inženýrství, získán titul bakalář
 2005–2009: Střední průmyslová škola stavební, Lipník nad Bečvou, obor: Vodohospodářské stavby, studium zakončeno maturitou

Pracovní zkušenosti:

2018–dosud: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, odborný asistent
 2015–2018: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, technicko-hospodářský a vědecký pracovník ve výzkumném centru AdMaS
 2012–2015: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, student – práce na dílčích činnostech projektu
 2011–2012: Cement Hranice a.s., Bělotínská 288, 753 39 Hranice I – město, laborant

Publikace:

1. HELANOVÁ, E.; KOCIÁNOVÁ, M.; DROCHYTKA, R. *Jílovopopílkové injektážní směsi pro sanace sypaných hrází*. Sborník XX. mezinárodní konference CONSTRUMAT 2014 - Construction materials. Vysoká škola báňská, Technická univerzita Ostrava, 2014. s. 1 - 6. ISBN: 978-80-248-3381- 1.
2. HELANOVÁ, E.; KOCIÁNOVÁ, M. *Směsi pro injektáže sypaných hrází na bázi jílu a popílku*. Juniorstav 2015. VUT v Brně, FAST, 2015. s. 1 - 6. ISBN: 978-80-214-5091- 2.

3. HELANOVÁ, E.; KOCIÁNOVÁ, M.; DROCHYTKA, R. *Utilization of Liquefying Additives in Clay Fly Ash Grouting Mixtures*. Advanced Materials Research Vol. 1122, Trans Tech Publications, Switzerland, 2015. p. 229 - 232. ISBN: 1022-6680.
4. KOCIÁNOVÁ, M.; ČERNÝ, V.; DROCHYTKA, R. *Popílek jako vhodná součást injektážních směsí pro sanace sypaných hrází*. Sborník recenzovaných přednášek konference popílky ve stavebnictví 2015, Vysoké učení technické v Brně, 2015. p. 121 - 132. ISBN: 978-80-214-5192- 6.
5. TŮMOVÁ, E.; KOCIÁNOVÁ, M.; ČERNÝ, V.; ROVNANÍKOVÁ, P. *Trendy na poli popílků z biomasy*. Sborník recenzovaných přednášek konference popílky ve stavebnictví 2015. Vysoké učení technické v Brně, 2015. p. 237 - 244. ISBN: 978-80-214-5192- 6.
6. KOCIÁNOVÁ, M.; ČERNÝ, V.; DROCHYTKA, R. *Development of grout for additional seal embankment dams*. In Book of Abstracts. Procedia Engineering. Tomasz Tracz, Izabela Hager. Nizozemsko: Procedia Engineering (2015), 2015. p. 632-638. ISSN: 1877- 7058.
7. KOCIÁNOVÁ, M.; DROCHYTKA, R.; ČERNÝ, V. *Optimalizace složení injektážních směsí pro sanace sypaných hrází*. In CONSTRUMAT 2015 - Sborník příspěvků z XXI. mezinárodní konference o stavebních materiálech. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2015. s. 1-5. ISBN: 978-80-214-5205- 3.
8. ČERNÝ, V.; KOCIÁNOVÁ, M.; SOKOL, P. *Studium vlivu charakteru popílku na kvalitu umělého kameniva*. In CONSTRUMAT 2015 - Sborník příspěvků z XXI. mezinárodní konference o stavebních materiálech. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2015. s. 1-8. ISBN: 978-80-214-5205- 3.
9. ČERNÝ, V.; KOCIÁNOVÁ, M. *Umělé spěkané popílkové kamenivo pro výrobu lehkých betonů*. Beton - technologie, konstrukce, sanace. Beton TKS, s.r.o., Praha. ISSN: 1213-3116.
10. ŠNIRCH, Z.; VANĚREK, J.; DROCHYTKA, R.; KOCIÁNOVÁ, M., *Výzkum za účelem predikce koroze ocelových prvků u OK distribuční soustavy VVN společnosti E.On Česká republika s.r.o.*, ss. 1-72, 2015.
11. KOCIÁNOVÁ, M.; ČERNÝ, V.; DROCHYTKA, R. *Influence of fly ash and binders on designing a grouting mix*. Waste forum, Praha. ISSN: 1804-0195.
12. KOCIÁNOVÁ, M. *Využitelnost popílků a stabilizátorů pro návrh injekčních směsí sypaných hrází*. In Juniorstav 2016. Brno: VUT v Brně, 2016. s. 1-7. ISBN: 978-80-214-5312- 8.
13. KOCIÁNOVÁ, M.; DROCHYTKA, R. *Possibilities of Redevelopment of Embankment Dams by suitable Grouting mixtures*. In Europe and the Mediterranean: Towards a Sustainable Built Environmental, SBE16 Malta International Conference. Ruben Paul Borg, Paul Gauci, Cyril Spiteri Staines. Malta: SBE Malta - Sustainable Built Environment, 2016. p. 1-6. ISBN: 978-99957-0-935- 8.
14. KOCIÁNOVÁ, M.; DROCHYTKA, R.; ČERNÝ, V. *Technology of Remediation of Embankment Dams by Optimal Grout*. In Elektronický sborník přednášek. Výzkumný ústav stavebních hmot, a.s. The Netherlands: Procedia Engineering (2016), 2016. p. 1-8. ISBN: 978-80-87397-23- 7.
15. KOCIÁNOVÁ, M.; ČERNÝ, V.; DROCHYTKA, R. *Možnost úpravy zemin z výkopových prací*. In CONSTRUMAT 2016, Sborník příspěvků z XXII. mezinárodní konference o stavebních materiálech. Jan Kočí, Eva Vejmelková. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2016. s. 1-6. ISBN: 978-80-01-05958- 6.
16. HROUDOVÁ, J.; SEDLMAJER, M.; KOCIÁNOVÁ, M. *Dispersed Reinforcement Based on Natural Fibres Used in Cement Composites*. In Special Concrete and Composites 2016. Key Engineering Materials (print). Švýcarsko: Trans Tech Publications, 2016. p. 216-221. ISBN: 978-3-0357-1079- 3. ISSN: 1013-9826.
17. HROUDOVÁ, J.; KOCIÁNOVÁ, M.; PAŘÍLKOVÁ, J.; SEDLMAJER, M. *Observation of moisture behaviour of thermal insulation materials based on silicates*. EUREKA 2016 4th conference and working session. EUREKA. VUTUM, Brno University of Technology. 2016. s. 60-70. ISBN: 978-80-214-5338- 8. ISSN: 2464-4595.
18. HROUDOVÁ, J.; SEDLMAJER, M.; ZACH, J.; KOCIÁNOVÁ, M. *The Development of Lightweight Thermal Insulation Plasters and Experimental Analysis of Their Moisture Behaviour*. In Buildings and

- Environment - Energy Performance, Smart Materials and Buildings. Applied Mechanics and Materials. Švýcarsko: Trans Tech Publications, 2016. p. 40-47. ISBN: 978-3-0357-1070- 0. ISSN: 1660-9336.
19. ČERNÝ, V.; KOCIÁNOVÁ, M.; DROCHYTKA, R. *Verification of manufacturing of sintered fly ash aggregate*. Waste forum, 2016, vol. 2016, no. 4, p. 171-178. ISSN: 1804-0195.
 20. KOCIÁNOVÁ, M.; ČERNÝ, V.; DROCHYTKA, R.; ZÁRUBOVÁ, R. *Technologie sanace sypaných hrází optimální injektážní směsí*. Zpravodaj Hnědé uhlí. Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s. DH DB, 2017, roč. 2017, č. 1, s. 31-35. ISSN: 1213-1660.
 21. KOCIÁNOVÁ, M.; DROCHYTKA, R. *Zpětné využití zemin ve stabilizované formě*. In Juniorstav 2017. Brno: VUT v Brně, 2017. s. 1-6. ISBN: 978-80-214-5473- 6.
 22. KOCIÁNOVÁ, M.; DROCHYTKA, R. *Vliv přísad na zeminy a jejich recyklace*. In Juniorstav 2017. Brno: VUT v Brně, 2017. s. 1-6. ISBN: 978-80-214-5473- 6.
 23. FLEISCHHACKER, J.; ČERNÝ, V.; KOCIÁNOVÁ, M.; DROCHYTKA, R. *Vliv druhu křemičité složky na vývoj tobermoritu při specifických hydrotermálních podmínkách*. In Sborník recenzovaných přednášek konference popílky ve stavebnictví 2017. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2017. s. 45-54. ISBN: 978-80-214-5498-9.
 24. KOCIÁNOVÁ, M.; ČERNÝ, V.; DROCHYTKA, R. *Technologie injektáže sypaných hrází s použitím popílku*. In Sborník recenzovaných přednášek konference popílky ve stavebnictví 2017. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2017. s. 67-76. ISBN: 978-80-214-5498-9.
 25. KOCIÁNOVÁ, M.; ČERNÝ, V.; DROCHYTKA, R. *Vliv popílku a přísad na stabilizaci a ztekucení zemin*. In Sborník recenzovaných přednášek konference popílky ve stavebnictví 2017. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2017. s. 77-86. ISBN: 978-80-214-5498-9.
 26. KOCIÁNOVÁ, M.; ČERNÝ, V.; DROCHYTKA, R. *Úprava zemin pro jejich zpětné použití ve ztekucené formě*. In CONSTRUMAT 2017, International Conference on Structural Materials, Zborník recenzovaných příspěvků z XXIII. medzinárodnej konferencie v Kočovciach. Ing. Zuzana Štefunková, PhD. Kočovce: Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, 2017. s. 172-177. ISBN: 978-80-227-4689-2.
 27. ČERNÝ, V.; KOCIÁNOVÁ, M.; DROCHYTKA, R. *Possibilities of Lightweight High Strength Concrete Production from Sintered Fly Ash Aggregate*. In CRRB – 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON REHABILITATION AND RECONSTRUCTION OF BUILDINGS. Procedia Engineering. Copyright © 2017 Elsevier Ltd. All rights reserved. Brno: Procedia Engineering (2017), 2017. p. 9-16. ISBN: 978-80-02-02701-0. ISSN: 1877-7058.
 28. ČERNÝ, V.; KOCIÁNOVÁ, M.; DIEDERICH, U. *Modification of Soils for Excavation Work and Underlayer*. In CRRB – 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON REHABILITATION AND RECONSTRUCTION OF BUILDINGS. Procedia Engineering. Copyright © 2017 Elsevier Ltd. All rights reserved. Brno: Procedia Engineering (2017), 2017. p. 252-258. ISBN: 978-80-02-02701-0. ISSN: 1877-7058.
 29. KOCIÁNOVÁ, M.; DROCHYTKA, R. *Options for the remediation of embankment dams using suitable types of alternative raw materials*. Construction and building materials, 2017, vol. 143, no. 089, p. 649-658. ISSN: 0950-0618.
 30. KOCIÁNOVÁ, M.; ČERNÝ, V.; DROCHYTKA, R. *Technologie využití vykopaných zemin ve ztekucené formě s přidavkem popílku*. TZB-info, 2017, roč. 04.09.2017, č. 2017, s. 1-10. ISSN: 1801-4399.
 31. KOCIÁNOVÁ, M. *Zpětné využití zemin z výkopových prací ve stabilizované a ztekucené formě*. In JUNIORSTAV 2018, Sborník příspěvků. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2018. s. 928-933. ISBN: 978-80-86433-69-1.
 32. DROCHYTKA, R.; KOCIÁNOVÁ, M. *Dataset on the innovation remediation technology of embankment dams by using suitable types of alternative raw materials*. Data in Brief (Online), 2018, vol. 2018, no. 092, p. 1-4. ISSN: 2352-3409.

33. KOCIÁNOVÁ, M.; DROCHYTKA, R.; MÜLLER J. *Progresivní technologie sanace sypaných hrází*. Stavebnictví, 2018, roč. 04, č. 04/2018, s. 50-53. ISSN: 1802-2030.
34. MICHALČÍKOVÁ, M.; DROCHYTKA, R. *Techniques of Soil Modification for Re-use in Construction*. In Construmat 2018. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Volume 385. Herlany, Slovakia: IOP Publishing, 2018. p. 1-6. ISSN: 1757-8981.
35. ČERNÝ, V.; FLEISCHHACKER, J.; MICHALČÍKOVÁ, M.; DROCHYTKA, R. *Synthesis of tobermorite structure with non-traditional silica components*. International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, 2018, vol. Volume 8, no. Issue 3, p. 904-910. ISSN: 2088-5334.

9 ABSTRACT

The increasing volume of waste of all kinds is currently a phenomenon of economically developed society and one of the problems of environmental protection. It is therefore imperative, in the interest of sustainable development, to monitor impacts related to the impact on our ecology, to regulate waste production by legislation and universally promote their reuse and recycling. Construction and demolition waste occupy a significant share of the total waste volume. This category also includes excavated soils. Recycling of these materials could significantly reduce the amount of landfilled waste and at the same time, these materials could be used as an important source of secondary raw materials. The doctoral thesis describes the research and development of the new technology of reuse soils in the form of self-compacting grouts. The result of the solution will be a suspension of optimal rheological properties, providing a perfect leaking around the stored utility networks. Emphasis will be placed on the study of the interaction of different types of soils with the stabilizers, flowable or plasticizing additives and its typical dispersible substance, including verification of the developed technology in situ.