



Posudek disertační práce

Uchazeč Ing. Jakub Šedina

Název disertační práce Alternativní přísady a pojiva v technologiích prováděných za studena

Studijní obor K

Školitel doc. Ing. Petr Mondschein, Ph.D.

Oponent doc. RNDr. František Kresta, Ph.D

e-mail frantisek.kresta@geotechnika.cz

Aktuálnost tématu disertační práce

komentář: Disertační práce se věnuje alternativním přísadám a technologiím, které lze aplikovat v recyklacích za studena. Většina alternativních pojiv využívá druhotných surovin (fluidní popílků, metalurgické strusky, recyklovaný beton), což je celosvětový trend v cirkulární ekonomice a snižování uhlíkové stopy. Téma považuji za velice aktuální a zjištěné poznatky lze velmi rychle aplikovat v praxi.

vynikající nadprůměrný průměrný podprůměrný slabý

Splnění cílů disertační práce

komentář: Bohužel, v úvodu práce nebyly autorem vytýčeny cíle, kterých chtěl při řešení dosáhnout, a proto se obtížně hodnotí, zda bylo či nebylo cílů dosaženo. V obecné části chybí širší literární rešerše zkušeností ze zahraničí s kritickou analýzou dosažených výsledků.

vynikající nadprůměrný průměrný podprůměrný slabý

Metody a postupy řešení

komentář: K posouzení účinků alternativních pojiv pro recyklaci za studena bylo použito jednak standardních metod a postupů, které jsou podrobně popsány v českých a evropských normách a předpisech, jednak byly použity postupy nové, např. monotónní triaxiální zkouška. Bohužel, v metodické části chybí podrobný popis monotónní triaxiální zkoušky a její srovnání s běžnými typy triaxiálních zkoušek, které se používají v mechanice zemin. Část testovaných materiálů byla použita na zkušebních úsecích na stavbách, což považuji za velmi přínosné pro následné praktické aplikace.

vynikající nadprůměrný průměrný podprůměrný slabý

Výsledky disertace - konkrétní přínosy disertanta

komentář: Závěry jsou, bohužel, uvedeny formou "nekonečného textu". Protože na začátku práce nebyly definovány cíle práce, není ani v závěru uvedeno, jak byly vytýčené cíle splněny. Přínosem práce bylo prověření účinků hydrofobizačních přísad a přísad pro bezprašnost a prověření nových alternativních pojiv na bázi fluidních popílků a metalurgických strusek. Přínosy, bohužel, doktorand nezdůraznil (např. užité vzory, patenty apod., o kterých se zmiňuje v textu).

vynikající nadprůměrný průměrný podprůměrný slabý

Význam pro praxi a pro rozvoj vědního oboru

komentář: Práce rozšiřuje možnosti využití alterantivních pojiv na msito pojiv tradičních, zejména cementu. Práce přináší nové a zatím nepublikovnaé výsledky monotónních triaxiálních zkoušek, které nemají ve světě dlouhou tradici.

vynikající nadprůměrný průměrný podprůměrný slabý

Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň

komentář: Text práce je na stadardní úrovni, bez gramatických chyb. Autor, bohužel, často sklouzává k "nekonečnému" textu, namísto, aby text členil na kratší odstavce, se kterými by byl text srozumitelnější. Dílčí závěry a celkové závěry práce by bylo vhodné uvést v pregnatních bodech. V gradech závislosti jednotlivých velišin prokládá autor naměřené hodnoty křivkami polynomů 2. nebo 3.řádu, aniž by uvedl důvod. Rovnice regresních polynomů jsou uváděny na 4 desetinná místa bez vysvětlení, zda je taková přesnost nutná. Z praktického hlediska není nutno prokládat hodnotami regresní polynomy a pokud ano, pak je nutné tento postup zdvodnit.

vynikající nadprůměrný průměrný podprůměrný slabý

Připomínky

Kap. 1. Úvod, str. 11

Z textu "Z hlediska zlepšení zemin se již jako standardní berou vrstvy zlepšené, případně stabilizované hydraulickými pojivy, nejčastěji cementem nebo vápnem, případně jejich kombinací" vyplývá, že vápno patří mezi hydraulická pojiva. To se týká však jen hydraulického vápna, jehož použití v technologii úprav zemin je minimální. Běžně se pro úpravu zemin používá vzdušné nehašené vápno.

Zabudování nevhodného materiálu do komunikace je v současné době jen výjimečné.

Kap. 2 Vrstvy prováděné za studena, str. 13

Autor bez předchozího vysvětlení používá termíny úprava, zlepšení a stabilizace. Doporučuji je používat ve smyslu ČSN EN 16907-4, kde jsou jejich přesné definice.

Str. 14

Termín úprava zemin, který považuje autor za velmi obecný a který je používán v platných normách a předpisech (TP 94, TKP 4, ČSN 73 6133) byl zvolen autory těchto předpisů právě proto, že v evropských normách řady ČSN EN 14227 nebyly odlišeny jednoznačně požadavky na úpravu zpracovatelnosti (zlepšení) a úpravu vedoucí k odolné vrstvě proti účinkům mrazu a vody (stabilizace). V současné době proto doporučuji používat normu EN 16907-4, která je jednoznačná a zahrnuje hlavně aplikace úprav zemin v zemních pracích.

Kap. 2.3.2 Hydraulická pojiva, str. 17

V případě hydraulických pojiv se autor věnuje pouze cementu a pomíjí v poslední době velmi populární hydraulická silniční pojiva dle ČSN EN 13282-1, -2.

Str. 18

V části věnované asfaltové pění autor vedle obecného popisu vlastností asfaltové pěny popisuje přístup použitý v disertační práci. Tato část (popis přípravy asfaltové pěny pro výzkum) měla být součástí kapitoly 8.

Kap. 2.3.5 Pozitiva technologie studených recyklací, str. 22

Formulace: "Původní kamenivo v místě stavby muselo při budování původních vrstev vozovky splňovat určité parametry. Proto se při jeho recyklaci již nepožaduje prokazování některých vlastností jako tvarový index, odolnost proti drcení, obsah celkové síry a odolnost proti

zmrazování a rozmrazování“ může vést k potenciálním závadám na komunikaci po provedení recyklace. Vždy je nutné vědět, jakého stáří je vozovka určená k recyklaci, zda existují doklady k použitému kamenivu a výsledky kontrolních zkoušek. Pokud tyto doklady chybí, doporučuje se provádět opakované zkoušky recyklovaného kameniva po předcení.

Zmínky o výhodách zabudování R-materiálů s obsahem dehtu nejsou v disertační práci vhodné. Jedná se de facto o obcházení environmentálních předpisů.

Kap. 3 Vedlejší energetické a metalurgické produkty, str. 25

Autor konstatuje, že “Velkým problémem jsou i chemické látky obsažené v těchto produktech, kdy například popílky obsahují celou řadu těžkých kovů, sírany, arsen atd.“. Upozorňujeme, že arsen patří mezi těžké kovy a formulace by měla být volena jinak.

Autor nepřesně komentuje příčiny vzniku objemových změn na dálnici D47 v Ostravě. Příčinou bylo jednoznačně použití tzv. studeného odvalu (hutní suti). Uhelná hlušina uvedená v textu je objemově stálá a z hlediska výstavby násypových těles bezpečná. Uhelná hlušina je i nadále na stavbách pozemních komunikací považována za bezpečný materiál a běžně se při výstavbě používá. Nedůvěra panuje vůči všem typům strusek, třebaže splňují všechny požadavky norem a předpisů a mají schvalovací dopis ze strany ŘSD ČR o možnosti jejich použití do zemního tělesa pozemních komunikací.

Kap. 3.1 VEP – vedlejší energetické produkty, str. 25

Autor uvádí, že “VEP neboli „vedlejší energetický produkt“ je odpad z energetického průmyslu, jako je výroba elektrické energie, výroba tepla, spalování komunálního odpadu, ocelářský průmysl, slévárenský průmysl a mnoho dalších odvětví“. Vedlejší energetické produkty však pocházejí pouze ze spalování uhlí (anglicky coal combustion products - CCP). Produkty ze spalování komunálního odpadu mezi tyto produkty nepatří. Mají odlišné vlastnosti (především chemické) a pro některé běžné aplikace, ve kterých se CCP používají, nelze produkty ze spalování komunálního odpadu použít.

Str. 26

Snížení emisí oxidů síry je již u velkých producentů VEPů vyřešeno. V současné době je hlavním problémem dodržení limitů emisí oxidů dusíku a nutnost denitrifikace zdrojů.

Kap. 3.2. Rozdělení vedlejších produktů

Autor nepoužívá klasifikaci vedlejších energetických produktů dle TP 93, případně klasifikaci dle ECOBy (European Coal Combustion Products Association). Navíc, dohromady uvádí jak produkty spalování, tak produkty z výroby železa a oceli.

Kap. 3.4 Strusky, str. 27

Bohužel, autor v kapitole strusky slučuje strusky pocházející z různých průmyslových odvětví, jak to udělal ve své monografii G. Wang: The utilisation of slag in civil infrastructure construction, Elsevier 2016. V evropské praxi i v připravované příloze č.1 v normách pro kamenivo a v připravovaném dokumentu TC 396 Earthworks charakteru technické zprávy (technical report) “Alternative materials in earthworks“ se jednotlivé strusky řadí ke skupinám konkrétního průmyslového odvětví. Proto elektrárenské strusky patří logicky mezi vedlejší energetické produkty – viz rovněž TP 93 a ECOBA.

Na str. 28 jsou mezi vedlejší energetické produkty (VEP) nesprávně řazeny strusky z výroby železa a oceli.

kap. 3.4.1 Vysokopecní struska, str. 30

Granulovaná vysokopecní struska patří k nejdůležitějším surovinám v cementářském průmyslu a téměř celá její produkce v České republice končí ve výrobě cementu. Proto se u nás nepoužívá pro úpravy zemin ani jako součást některých hydraulických silničních pojiv. Použití granulované vysokopecní strusky jako kameniva do zemního tělesa pozemních komunikací by bylo neefektivní a znamenalo by plýtvání kvalitním materiálem, který lze zpracovat s vyšší přidanou hodnotou práce při výrobě cementu.

V kapitole věnované vysokopecní strusce by měl autor popsat, jaké druhy vysokopecní strusky se používají v České republice. V části věnující se chemickému složení je popsáno chemické

složení amerických vysokopecních strusek (Yildirim 2011). Bylo by vhodné doplnit chemické složení strusek z České republiky (TŽ Třinec a ArcelorMittal Ostrava).

Kap. 3.4.2 Ocelářenské strusky, str. 33

V normách pro kamenivo (např. ČSN EN 13242, ČSN EN 13043 a dalších) se používá termín ocelářská struska (steel slag).

V textu chybí rozdělení ocelářských strusek, které se používá např. v normě ČSN EN 1744-1, nebo v TP 138

- BOF strusky
- LD strusky
- EAF strusky

Právě technologie zpracování oceli určuje i chemické složení a z něj vyplývající požadavky na zkoušky ocelářských strusek.

Na obrázku 12 (str. 38) není v legendě přeložen termín fertilizer (hnojivo). Termín hydroinženýrství by bylo vhodnější přeložit jako vodohospodářské stavby, kde je ocelářská struska hojně v zahraničí využívána.

Kap. 3.4.3 Slévárenské strusky, str. 38

Slévárenská struska patří mezi strusky druhotné metalurgie, které se v evropské praxi používají jen výjimečně, především z důvodu jejich velkého potenciálu k objemovým změnám.

Kap. 3.4,4 Strusky energetického průmyslu, str. 38

Energetické strusky (boiler slag) patří mezi vedlejší energetické produkty a jsou hojně využívány především v zemních pracích. V žádném případě nelze slučovat elektrárenské strusky s ložovým popelem z fluidního spalování. Ložový popel (fluidized bed combustion bottom ash - FBC bottom ash) je problémovým materiálem z důvodu jeho objemové nestálosti.

Kap. 3.4.5 Škvára (struska ze spalování tuhých odpadů)

Produkty spalování komunálního odpadu nejsou ve smyslu TP 93 a např. i ČSN EN 450-1 Popílek do betonu považovány za vedlejší energetické produkty. Jejich aplikace ve stavebnictví je zatím jen na experimentální bázi. Problémem je jejich chemické složení, hlavně obsah chloridů, který je např. v Německu vylučuje z mnoha aplikací v silničním stavitelství.

Na str. 41 se popisuje možnost použití škváry z České republiky. Není však uvedeno, zda se jedná o škváru ze spalování komunálního odpadu nebo o škváru ze spalování uhlí. Informaci o původu škváry ze spalování komunálního odpadu lze nalézt teprve v citované literatuře.

Kap. 3.5 Fluidní spalování, str. 45

Využití fluidních popílků do protipovodňových hrází musí být podmíněno jejich samotuhnoucím efektem. Pokud by nedocházelo k jejich samovolnému tuhnutí, byla by tato aplikace velmi nebezpečná. Autor by měl podrobněji tuto myšlenku rozvést, nebo uvést citací zdroje.

I v této části jsou uvedeny jak obecné informace o fluidním spalování a produktech fluidního spalování uhlí, tak konkrétní informace z experimentální části, které by měly patřit do kapitoly 9.

Kap. 3.6 Posuzované FBCB (str. 46)

Zkratka FBCB není vysvětlena – fluidized bed coal ash – popílek z fluidního spalování.

Tato část by měla patřit do kapitoly 9.

V kapitole je popsáno, že byly využívány popílků z fluidního spalování, ale i popílků z vysokoteplotního spalování. Proto by měla být tato část v kapitole 9 a neměla by se jmenovat posuzované FBCB.

Kap. 3.6.1. FBCB-TU a FBCB-TL Fluidní popílek Tisová úlet a lože

V tabulce 2 na str. 47 by měly být názvy sloučenin přeloženy do češtiny. Podobně i tabulka 3 na str. 48. Rovněž popisky v grafech vyhodnocení XRD by měly být popisky v češtině.

Kap. 4 Přísady

V kapitole jsou popsány přísady použité v experimentální části. U každé z popisovaných přísad je popsán způsob jejich působení ve směsi se zeminou a cementem, ale chybí obecný teoretický přístup. Popis přísad by měl být součástí experimentální části práce.

Kap. 5 Hydraulická pojiva, str. 53

Z textu „...využívání hydraulických pojiv zejména cementu a vápna má dlouholetou tradici...“ můžeme vyvozovat, že vápno je hydraulickým pojivem. To se týká však jen hydraulického vápna, jehož použití v technologii úprav zemin je minimální. Běžně se pro úpravu zemin používá vzdušné nehašené vápno.

Autor popisuje domnělý rozpor mezi ČSN EN 14227-15 a TP 94 ve věci používání vysokopecní strusky pro úpravu zemin. TP 94 používání granulované vysokopecní strusky pro úpravu zemin podrobně popisuje, včetně doporučené aplikace pro úpravu zemin s vysokým obsahem síranů. Komentář v TP 94, že se vysokopecní struska pro úpravy zemin ČR nepoužívá, pouze konstatuje aktuální stav, kdy většina produkce granulované vysokopecní strusky se používá v cementářském průmyslu.

V historickém exkursu o používání cementu chybí informace o použití římského cementu a přírodních pucolánů (z lokality Puzzoli).

Ve výčtu hydraulických pojiv autor vůbec neuvádí hydraulická silniční pojiva dle ČSN 13282-1, -2.

Kap. 5.1 Vápno, str. 54

Auto správně popisuje rozdíl i aplikaci použití nehašeného vápna a vápna hydraulického. Proto není zřejmé, proč je kapitola věnovaná vápnu součástí kapitoly Hydraulická pojiva.

Popis výroby vápna není pro potřeby disertační práce důležitý a mohl by se vypustit.

Věta “V případě dekarbonizace uhličitanu vápenatého navíc vznikají oxidy hořčíku.” nedává smysl. Oxidy vápníku a hořčíku vznikají dekarbonizací dolomitu, jak je správně uvedeno v rovnici 5 pod textem.

Není zřejmé, proč autor popisuje výrobu hašeného vápna (str. 55), které se pro úpravu zemin nepoužívá.

Kap. 5.2 Cement, str. 56

Popis výroby cementu není pro potřeby disertační práce důležitý a mohl by se vypustit.

Kap. 5.2.1 Hydratace cementu, str. 58

Formulace “...krystalických struktur amorfního kalcium-silikátového-hydrátu (C-S-H)” si protiřečí. Jak může mít amorfní CSH gel krystalickou strukturu?

Kap. 5.3 SP-D, str. 59

V případě popisovaného hydraulického pojiva SP-D chybí informace, zda jej lze klasifikovat jako hydraulické silniční pojivo dle ČSN 13282-1, -2. Pojivu SP-D by měl autor věnovat více pozornosti s ohledem na jeho používání v experimentální části práce.

Kap. 6.1 Vysokorychlostní mletí, str. 60

Na str. 62 popisuje autor, že vysokorychlostním mletím fluidních popílků se eliminuje vznik objemově nestálých minerálů (ettringit, thaumasit). Chybí však odkaz na literární zdroj této informace.

Kap. 6.3 AP-D

Při popisu pojiva AP-D chybí odkaz na český patent (číslo patentu). Popisy sloučenin v tabulce 4 a na obrázku 24 (XRD analýzy) by měly být v češtině.

Kap. 6.4 AP-S

V textu se popisuje, že vysokorychlostním mletím lze eliminovat objemové změny ettringitu obsaženého v tomto pojivu. Chybí však odkaz na laboratorní výsledky, které tento fakt potvrzují.

U obrázku 26 (SRD analýza AP-S chybí legenda k jednotlivým píkům.

Kap. 6.5 AP-SK

V textu je pouze popsáno, že ocelářská struska pochází z Kladna. Chybí však informace, o jaký typ ocelářské strusky jde (pravděpodobně BOF).

Text v tabulce 6 a na obrázku 27 by měl být přeložen do češtiny. Popisky na obrázku 27 jsou nečitelné.

Při XRD analýze určitě nebyla identifikována sádra (hemihydrát síranu vápenatého), ale anhydrit. Není vysvětleno, zda 3% thaumasitu nemůže negativně ovlivňovat objemové změny mikromleté ocelářské strusky.

Kap. 6.6 AP-SO, str. 67

V případě pojiva AP-SO je uvedeno, že bylo vyrobeno z vysokopecní strusky z lokality Ostrava. Není uvedeno, zda jde o granulovanou vysokopecní strusku nebo vzduchem chlazenou vysokopecní strusku a zda jde strusku čerstvou nebo strusku z odvalů. V textu je chybně uveden vzorec oxidu manganatého (MnO), v textu je oxid hořečnatý (MgO).

Text v tabulce 7 a na obrázku 28 by měl být přeložen do češtiny. Popisky na obrázku 28 jsou nečitelné. Součet podílů jednotlivých minerálních fází v tabulce 7 je 101%, což nedává smysl.

V textu pod tabulkou 7 (str. 68) je uvedeno, že se jedná o mikromletou ocelářskou strusku, přičemž na začátku kapitoly 6.6 je uvedeno, že se jedná o strusku vysokopecní. Nutno opravit.

V textu se uvádí, že mikromletá struska obsahovala i skelnou fázi. Chybí však informace o podílu skelné fáze ve strusce.

Kap. 6.7 Mechanicky aktivovaný beton, str. 69

V textu by měl být upřesněn zdroj betonového recyklátu. Nelze uvést jen dálnice D1, úsek 14. Alespoň je nutné uvést, že se jedná o úsek Větrný Jeníkov - Jihlava. Text na str. 69 byl převzatý pravděpodobně z příspěvku na konferenci, ale odkaz: „...což je i téma tohoto příspěvku“ nemůže zůstat v disertační práci.

Kap. 7.1 Zeminy, str. 70

V disertační práci není nutné popisovat klasifikační systém z ČSN 73 6133. Tyto informace patří do učebnic, případně norem a nikoliv do disertační práce.

Termíny jílovité a hlinité zeminy se v nomenklatuře nepoužívá, používá se termín jemnozrnné zeminy.

Formulace na str. 71 „...pro zabudování zemin do vyšších konstrukčních vrstev nejčastěji posuzujeme pevnost v tlaku a odolnost proti mrazu a vodě (podkladní vrstvy) obsahuje termín vyšší konstrukční vrstvy. Tento termín není vhodný, protože se v normách a předpisech nepoužívá.

Kap. 7.1.1 Písek s příměsí jemnozrnné zeminy (Z-S-F), str. 71

V textu je uvedeno, že zemina obsahovala velké množství zeminy upravené cementem. Proč nebyl podíl cementem upravené zeminy stanoven. Určitě by to byla zajímavá informace o vlastnostech starých stabilizací zabudovaných do násypů dálnice v 80. letech 20. století v blízkosti Hořovic (viz Bílek 2002).

Z poskytnutých dat není zřejmé, zda byla zrnitost materiálu stanovena pouze proséváním nebo kombinací prosévání a hustoměrné metody, která je pro klasifikaci zemin dle ČSN 73 6133 určující. V křivkách zrnitosti chybí na ose x hranice jednotlivých skupin materiálů – jíl, prach, písek, štěrky – 0.002 mm, 0.063 mm, 2 mm, 63 mm). Autor použil jednoduchou logaritmickou stupnici na ose x.

Autor nekomentuje výsledky zkoušek vlhkosti optimální a vlhkosti přirozené, kdy přirozená vlhkost je o 6% nižší než vlhkost optimální dle zkoušky Proctor Standard. Zeminy se nacházejí na suché straně Proctorovy křivky a jejich zpracování je proto složitější než v případě zemin na straně vlhké. V případě zemin na suché straně upravených cementem by se měla stanovit pórovitost, která musí být nižší než $n=12\%$ (viz TP 94).

Na obrázku 32 není nutné vypisovat rovnice regresního polynomu třetího řádu, kterým se prokládají body ze zkoušky Proctor Standard a pokud ano, není nutné čísla vypisovat na 4 desetinná čísla.

Autor nekommentuje tvar Proctorovy křivky a rozdíly mezi zeminami neupravenými a upravenými pojivy. V našem případě byl upravován suchý materiál, a proto se neprojevily zeminy ve tvaru křivky zkoušky PS a PM, kdy po úpravě se křivka stává plošší (viz např. Rogers et al. 1987 a TP 94).

Autor nevhodně používá termínu únosnost ve spojení s CBR. Nejedná se o únosnost, ale o poměr únosnosti zkoušeného materiálu a materiálu standardizovaného. Hodnota CBR vyjadřuje spíše pevnost materiálu.

V případě hodnoty CBR=30% není uvedeno, zda jde o výsledky zkoušky CBR nesyčeného vzorku nebo vzorku po 96 hodinách sycení, jak požadují české předpisy.

V textu není uvedeno, jak byla stanovena namrzavost zeminy – odvozena z křivky zrnitosti nebo stanovena přímou metodou dle ČSN 72 1191.

Kap. 7.1.2 Písek jílovitý (Z – SC), str. 73

V textu se uvádí, že zemina byla upravena pojivem Dorosol. Není specifikováno o jaký typ pojiva Dorosol šlo (C50, C70) a jaké bylo jeho dávkování. Rovněž není uvedeno, že pojivo Dorosol patří mezi hydraulická silniční pojiva normálně tuhnoucí.

Z poskytnutých dat není zřejmé, zda byla zrnitost materiálu stanovena pouze proséváním nebo kombinací prosévání a hustoměrné metody, která je pro klasifikaci zemin dle ČSN 73 6133 určující. V křivkách zrnitosti chybí na ose x hranice jednotlivých skupin materiálů – jíl, prach, písek, štěrky – 0.002 mm, 0.063 mm, 2 mm, 63 mm). Autor použil jednoduchou logaritmickou stupnici na ose x.

Autor nekommentuje výsledky zkoušek vlhkosti optimální a vlhkosti přirozené, kdy přirozená vlhkost zhruba odpovídá vlhkosti optimální dle zkoušky Proctor Standard a o úpravě cementem vlhkost optimální dle zkoušky PM poklesla.

V případě hodnoty CBR=13,5% není uvedeno, zda jde o výsledky zkoušky CBR nesyčeného vzorku nebo vzorku po 96 hodinách sycení, jak požadují české předpisy.

V textu není uvedeno, jak byla stanovena namrzavost zeminy – odvozena z křivky zrnitosti nebo stanovena přímou metodou dle ČSN 72 1191.

Kap. 7.1.3 Písek hlinitý (Z – SM)

Připomínky jsou obdobné jako u předchozích typů zemin

Z poskytnutých dat není zřejmé, zda byla zrnitost materiálu stanovena pouze proséváním nebo kombinací prosévání a hustoměrné metody, která je pro klasifikaci zemin dle ČSN 73 6133 určující. V křivkách zrnitosti chybí na ose x hranice jednotlivých skupin materiálů – jíl, prach, písek, štěrky – 0.002 mm, 0.063 mm, 2 mm, 63 mm). Autor použil jednoduchou logaritmickou stupnici na ose x.

Autor nekommentuje výsledky zkoušek vlhkosti optimální a vlhkosti přirozené, kdy přirozená vlhkost byla o cca 1-2% nižší než vlhkosti optimální dle zkoušky Proctor Standard a o úpravě cementem vlhkost optimální dle zkoušky PM poklesla.

V případě hodnoty CBR=19,7% není uvedeno, zda jde o výsledky zkoušky CBR nesyčeného vzorku nebo vzorku po 96 hodinách sycení, jak požadují české předpisy.

V textu není uvedeno, jak byla stanovena namrzavost zeminy – odvozena z křivky zrnitosti nebo stanovena přímou metodou dle ČSN 72 1191.

Kap. 7.1.4 Recyklovaná cementem upravená zemina (RCZ), str. 75

Vlastnostem tohoto materiálu mělo být věnováno více pozornosti. Diskutabilní je především stanovení zrnitosti a vliv vlhkosti zemin. Označení materiálu 0/8 jako jemnozrnného neodpovídá normám pro kamenivo.

Autor hovoří o tom, že tento materiál je nasákavý, ale nejsou zde uvedeny výsledky zkoušek nasákavosti.

Autor nekommentuje výsledky zkoušek vlhkosti optimální a vlhkosti přirozené, kdy přirozená vlhkost byla o více než 7% nižší než vlhkosti optimální dle zkoušky Proctor Standard.

V případě hodnoty CBR=21,7% není uvedeno, zda jde o výsledky zkoušky CBR nesyčeného vzorku nebo vzorku po 96 hodinách syčení, jak požadují české předpisy.

Analýze nízké hodnoty CBR u recyklované cementem upravené zeminy by mělo být věnováno více pozornosti.

Kap. 7.2 Asfaltový recyklát, str. 76

Na začátku této kapitoly je uveden seznam všech recyklovaných materiálů dle TP 210. Protože se kapitola jmenuje asfaltový recyklát, je popis zbývajících recyklátů zbytečný.

Kap. 7.3 Betonový recyklát

Informace o betonovém recyklátu jsou oproti ostatním materiálům velmi stručné. Chybí výsledky zkoušky Proctor Standard a CBR apod.

Kap. 8.1 Hutnění směsí, str. 78

Formulace: "Zeminy a směsi stmelené hydraulickými pojivy se všeobecně hutní pomocí proctorova pěchu, pro směsi studené recyklace je v ČR využíván hydraulický lis." platí pro laboratorní zkoušky. Začátek věty navozuje, že se jedná obecně o hutnění na stavbách.

Kap. 8.1.1 Hutnění zemin.

Autor neuvádí zdroj informace, že v České republice panuje nedůvěra ke vzorkům připravených pomocí vibračních metod.

Volba metodiky pro zkoušku zhutnitelnosti – Proctor Standard nebo Proctor modifikovaný -závisí i na požadavcích norem a předpisů, které ve většině případů výslovně uvádějí požadovaný způsob hutnění.

V textu disertační práce není nutné opisovat z normy ČSN EN 13286-2 parametry zkoušky zhutnitelnosti a požadavky na rozměry forem (tabulky 7 a 8). Autor se měl zaměřit na způsob přípravy jeho vlastních vzorků, jaká metoda byla použita, případně forma a případně odchylky od norem.

Kap. 8.1.3 Hutnění těles pro technologii studené recyklace

Autor popisuje, že bylo akceptováno i hutnění dle ČSN EN 12697-23. Z textu však není zřejmé, zda toto platí obecně nebo pouze pro jeho disertační práci.

Srovnání jednotlivých postupů hutnění (Marshalův pěch, hydraulický lis, gyrátor) by bylo vhodné doplnit grafy srovnávacími výsledky jednotlivých veličin uváděných v textu po zhutnění rozdílným způsobem.

Kap. 8.2.1 Zrání před zkouškou IBI a CBR, str. 83

Autor popisuje minimální doby zrání a následného syčení pro zkoušku CBR. Pro posouzení časového vývoje pevnosti směsi zemin a poživ se provádějí i zkoušky s delší dobou zrání (např. po 7, 28, 60, 90 dnech). V textu není citována norma pro zkoušky IBI a CBR (ČSN 13286-47).

Kap. 8.3 CBR, IBI, str. 84

Autor se odkazuje na zrušenou normu ČSN EN 14227-10, která byla nahrazena normou ČSN EN 14227-15.

Autor uvádí, že únosnost podloží vozovek na stavbách se stanovuje statickou zatěžovací zkouškou deskou. Nestanovuje se únosnost dle ČSN EN 1997-1, ale modul přetvárnosti. Požadované hodnoty modulu přetvárnosti ze statické zatěžovací zkoušky neodpovídají ani modulu deformace, ale jsou smluvními hodnotami pro kontrolu provedených prací.

Hodnota CBR neslouží jen k posouzení poměru únosnosti v podloží vozovky, jak je v textu uvedeno, ale je vstupním parametrem pro návrh konstrukce vozovky dle TP 170.

V textu na str. 85 by bylo vhodné uvést český název zkoušky IBI – stanovení okamžitého poměru únosnosti. V textu je jen anglický název zkoušky.

Kap. 8.5 Bobtnání, str. 86

Zkoušky bobtnání vybraných vzorků byly dle textu prováděny po 28 dnech zrání a po dobu 28 dnů syčení, případně až do ukončení bobtnání. TP 93, na které se text odkazuje, však uvádějí, že

zkoušky jsou zahájeny po 3 dnech zrání. Proč bylo přistoupeno k 28 dennímu zrání, není v textu uvedeno. V průběhu 28 dnů mohlo dojít k odeznění všech projevů deformací. Ze zkušenosti s popílků či jinými materiály je zřejmé, že největší vertikální deformace (bobtnání) probíhají v prvních hodinách od zahájení zkoušky.

Kap. 8.6 Pevnost v příčném tahu, st. 86

Autor používá v textu zkratky TDZ IV, V a VI bez vysvětlení, co TDZ znamená (třída dopravního zatížení).

Kap. 8.7 Monotónní triaxiální zkouška, str. 87

Autor nepopisuje o jaký typ triaxiální zkoušky (UU, CID, CIUP) jde a jaké jsou výsledně změřené parametry smykové pevnosti (totální, vrcholové, reziduální, kritické). Pro jednotlivé zkoušky existují evropské normy z oboru mechaniky zemin. Pokud se triaxiální zkouška používá odlišně od zkoušek v oboru mechaniky zemin, pak by měly být rozdíly v metodice podrobně popsány.

Zkoušení stmelovaných zemin at' vápnem, hydraulickými pojivy nebo asfaltem by mělo probíhat podle zásad mechaniky zemin, tj. za plného nasycení vodou s velmi pomalou rychlostí smyku (cca 0,001 mm/min).

Kap 9.1.1 IBI, CBR (hydrofobizační přísady).

V textu nejsou vysvětleny zkratky P-T, P-U, P-P (jednotlivé přísady jsou sice popsány v kapitole 4, ale bylo by vhodné jejich název znovu uvést v kapitole 9). Není uvedeno dávkování jednotlivých přísad.

Kap. 9.1.2 Pevnostní charakteristiky (hydrofobizační přísady)

V textu nejsou vysvětleny zkratky P-T, P-U, P-P (jednotlivé přísady jsou sice popsány v kapitole 4, ale bylo by vhodné jejich název znovu uvést v kapitole 9). Není uvedeno dávkování jednotlivých přísad.

Výsledky zkoušek pevnosti v prostém tlaku by měly být doplněny fotografiemi porušených těles po zkoušce, případně mikrofotografiemi vnitřní struktury vzorků po úpravě cementem s přísadami.

Obrázek 45, 47

Není vysvětleno, proč byly naměřené hodnoty prokládány polynomem 2.řádu, proč nebyla zvolena lineární závislost, proč jsou výsledky regresní rovnice uváděny na 4 desetinná čísla. Má polynom druhého řádu nějaké opodstatnění?

Na str. 94 se uvádí, že problémem popílků jsou jejich objemové změny v kontaktu s vodou. To se však týká především fluidních vápenatých popílků, které byly zkoušeny. Vysokoteplotní křemičité popílků jsou obvykle ve vodním prostředí objemově stálé.

Bylo by vhodné doplnit výsledky měření pevnosti v prostém tlaku i popsáním chemických reakcí při použití jednotlivých přísad. Bez pochopení chemismu reakcí nelze ve své podstatě pochopit i jejich fungování.

Kap. 9.1.3 Posouzení pomocí monotónní triaxiální zkoušky, str. 95

Protože nebyla podrobně popsána triaxiální zkouška (monotónní), není zřejmé, jaké hodnoty smykové pevnosti byly naměřeny. Hodnoty soudržnosti (řádově stovky kPa) jsou z hlediska mechaniky zemin nereálné. Rozdíly v naměřených hodnotách úhlu vnitřního tření jsou minimální.

Kap. 9.1.4 Shrnutí poznatků hydrofobizační přísady

Text této kapitoly není členěn na odstavce a je velmi nepřehledný. Pokud se jedná o shrnutí, měly být zásadní výsledky výzkumu shrnuty do bodů a nikoliv do "nekonečného" testu.

Práce se zaměřila pouze na zeminy charakteru písků. Zajímavější by bylo posoudit vliv hydrofobizačních přísad při úpravě jílu (vysoce namrzavých) cementem).

Doporučení ve větě: „Například by bylo vhodné směs nejdříve ošetřit pomocí přísady rozpuštěné v části záměsové vody a až následně promíchat s hydraulickým pojivem“. Považuji za zásadní a měl by se tomuto postupu věnovat další výzkum.

Kap. 9.2 Přísada na bezprašnost

Informaci o bobtnání směsi cementu s přísadami na bázi chloridů by bylo vhodné doplnit citacím

případně grafem bobtnání nebo obrázkem.

V hodnocení vlivu přísady $MgCl_2$ na odolnost proti mrazu, kdy byla tato přísada přidána přímo do záměsové vody a kdy došlo k rozpadu zkušebních těles, by bylo vhodné doplnit postup rozpadu po jednotlivých zmrazovacích cyklech na základě vizuální kontroly.

V textu na str. 99 se uvádí, že $MgCl_2$ má hydroskopické vlastnosti. Správně se jedná o vlastnosti hygroskopické.

Rovněž by bylo vhodné doplnit chemické rovnice popisující reakce mezi cementem a $MgCl_2$ při hydrataci.

Popis dávkování postřiku $MgCl_2$ pomocí tvárné hmoty by bylo vhodné doplnit fotodokumentací pro lepší představivost.

Kap. 9.3 Posouzení substituce zemin popílků, str. 101

Na začátku textu kapitoly 9.3 se uvádí, že bylo posuzováno použití fluidních popílků pro náhradu zemin ve směsích. Experimentální část však řešila i použití vysokoteplotních křemičitých popílků. Bylo by vhodné formulaci upravit.

Kap. 9.3.1 Pevnostní parametry substituce recyklovaných materiálů, str. 102

V komentáři k tabulce 17 na str. 102 by bylo vhodné vysvětlit, proč vykazovala referenční směs (stará cementová stabilizace) s 3% cementu nízké hodnoty pevnosti v prostém tlaku a nízké odolnosti proti účinkům mrazu, bylo by vhodné doplnit podíl zrn původního kameniva a podíl staré cementové pasty v recyklátu.

Chybí informace o hodnotách nasákavosti jednotlivých směsí. Nelze konstatovat, že tělesa s popílků z Elektrárny Mělník měla poměrně vysokou nasákavost bez uvedení hodnoty a srovnání s ostatními tělesy.

U ložového popela z Elektrárny Tisová bylo hlavní příčinou nízkých hodnot pravděpodobně vysoký obsah volného vápna. Tato informace však v textu chybí.

V případě fluidních úletových popílků by bylo vhodné doplnit informace o měrném povrchu zrn, kdy s větším měrným povrchem stoupá i aktivita těchto popílků a zvyšuje se pevnost směsí.

Kap. 9.3.2 Pevnostní parametry substituce přírodního materiálu, str. 104

Připomínky ke komentáři pod tabulkou 18 jsou stejné jako u komentáře k tabulce 17.

U ložového popela z Elektrárny Tisová bylo hlavní příčinou nízkých hodnot pravděpodobně vysoký obsah volného vápna. Tato informace však v textu chybí.

V případě fluidních úletových popílků by bylo vhodné doplnit informace o měrném povrchu zrn, kdy s větším měrným povrchem stoupá i aktivita těchto popílků a zvyšuje se pevnost směsí.

Kap. 9.3.3 Objemové změny

V textu nejsou popsány chemické reakce vedoucí k objemovým změnám při použití ložového popela nebo fluidních popílků.

Bobtnání je uváděno jako objemové bobtnání, avšak naměřené hodnoty objemového bobtnání dosahovaly max. 0.035%. V případě některých ložových popelů z Elektrárny Tisková byly naměřeny hodnoty objemového bobtnání až 20% ! (Kresta 2012)

Na obrázku 56 by proto bylo vhodné zvolit jiné vertikální měřítko, nebo použít dva grafy – jeden s vertikálním měřítkem do 1% a jeden s detailem, který by popisoval chování jednotlivých směsí.

Opět není vysvětleno, proč jsou naměřené hodnoty prokládány polynomem 2.řádu. Při dlouhodobých testech se doporučuje uvádět jen naměřené hodnoty a nevytvářet regresní křivky.

Kap. 9.3.4 Shrnutí

Ve shrnutí poznatků k použití popílků opět převládá "nekonečný" text namísto jednoduchého shrnutí do klíčových bodů.

V případě popílků chybí informace o zrnitostní křivce, měrném povrchu, obsahu volného vápna a další, které ovlivňují reaktivitu a účinnost chemických reakcí ve směsích s těmito popílků.

Kap. 9.4 Směsná pojiva

Výsledky dosažené v experimentální části při míchání zemin se směsným pojivem SP-D měly být srovnány s výsledky z praxe, o kterých autor na začátku kapitoly 9.4 hovoří.

Nikde není uvedeno, proč je pojivo SP-D pomalu tuhnoucí. Ve smyslu ČSN EN 13282-1, 2 existují hydraulická silniční pojiva rychle tuhnoucí a normálně tuhnoucí. Termín pomalu tuhnoucí pojivo se v normách a předpisech nevyskytuje. Proto by měl být tento termín vysvětlen.

Kap. 9.4.2 Posouzení směsného pojiva SP-D - Pevnostní parametry, str. 108

Pokud existují informace o složení směsného pojiva SP-D, pak by mělo být v práci uvedeno, jaký podíl cementu toto pojivo obsahuje.

Obrázek 59 (str. 109) a obrázek 61 (str. 111)

Proč byly naměřené hodnoty pevnosti v prostém tlaku v čase prokládány polynomem 2.řádu. Existuje pro to nějaké statistické nebo matematické vysvětlení. Proč jsou hodnoty regresní rovnice uváděny na 4 desetinná místa. Má to nějaký logický důvod?

Kap. 9.4.3 Posouzení pomoví monotónní triaxiální zkoušky

V textu chybí minimálně výsledky zkoušek Jenkinse, na kterého se autor odkazuje. Opět chybí srovnání této triaxiální zkoušky s běžnými triaxiálními zkouškami z oboru mechaniky zemin. Opět musíme konstatovat, že hodnoty naměřené soudržnosti jsou nereálné a pro praxi nepoužitelné. Srovnání směsí se 3% cementu a 3% pojiva SP-D na obrázku 64 ukazuje podobné výsledky.

Kap. 9.4.4 Příklad využití v praxi

Pokud není aplikace pojiva SP-D tajná, měla být uvedena stavba, na které byl popisovaný příklad. Popisovaný dvoustupňový způsob úpravy – mechanická úprava kamenivem 0/4 a následná úprava pojivem SP-D - byl v minulosti aplikován na jíly s vysokou a velmi vysokou plasticitou s vysokým bobtnacím potenciálem při úpravě podloží v místě přeložky trati Třebovice – Rudoltice v místě Třebovického tunelu (nejprve zde proběhla mechanická úprava lomovou výsivkou frakce 0/54 a potom úprava vápnem a cementem) (viz Kresta F. – Martinec P. Příčiny bobtnání miocenních jílu u Třebovic v Čechách. Geotechnika, č. 1, roč. 2006, 21-27).

Použití rázové zkoušky lehkou dynamickou deskou pro kontrolu hotových vrstev je nedostatečné a ve smyslu TKP 4 je nutné zkoušky doplnit minimálně o statickou zatěžovací zkoušku. V textu nejsou uvedeny výsledky provedených zkoušek na stavbě.

Kap. 9.4.5 Zhodnocení posouzení směsného pojiva SP-D

Text nekomentuje, zda pojivo SP-D lze zařadit mezi hydraulická silniční pojiva dle ČSN EN 13282-1, -2, nebo se nachází mimo systém pojiv, pro které existují evropské výrobní normy (vápna EN 459-1, cement EN 197-1, hydraulická silniční pojiva EN 13282-1, -2).

Text by bylo vhodné doplnit seznamem staveb, na kterých bylo toto pojivo aplikováno, případně kubatury upravených zemin tímto pojivem ročně.

Kap. 9.5 Alternativní pojiva, str. 114

V úvodu kapitoly 9.5 popisuje autor seznam recyklovaných materiálů používaných v silniční praxi. V případě odprašků se nejedná o vápencové odprašky, ale odprašky z výroby vápna a cementu (lime kiln dust, cement kiln dust).

Kap. 9.5.1 Alternativní pojivo na bázi fluidního popílku Plzeň (AP-D)

Nikde není vysvětleno, proč má pojivo v názvu Plzeň. Jednalo se o popílek z fluidního spalování z Plzně?

Tabulka 22, str. 115

Název tabulky obsahuje chybné označení pojiva (AP-S). Data uvedená v prvním a druhém řádku tabulky nejsou zřejmá. Jaký je rozdíl mezi AP-D a AP-D (3:1)? Vysvětlení je až na str. 116. Proč je ve druhém řádku v každém sloupci uvedeno 100%?

Tabulka 23, str. 116 a obrázek 68, str. 117

V textu ani v tabulce nejsou vysvětleny zkratky D31, D41, DP31 a DP41

Na str. 118 v textu pod tabulkou 24 je nesprávně označena pojivová směs AS-D. Kapitola se

věnuje pojivu AP-D.

Obrázek 71, str. 119

Proč jsou výsledky zkoušek pevnosti v prostém tlaku prokládány polynomy 3.řádu? Má to nějaký smysl? Postačilo by pouhé spojení jednotlivých naměřených dat.

Ekonomická výhodnost použití pojiva AP-D oproti cementu vyplývá z možnosti uplatnění druhotných surovin (fluidních popílků), ale nebyla vyčíslena.

Kap. 9.5.2

Prezentace praktického použití připravených směsí na pokusném úseku měla být doplněna fotodokumentací z realizace, schématem konstrukce podloží vozovky apod. Jedná se o velmi důležitou součást výsledků disertační práce, o kterou se autor ochudil.

Kap. 9.5.3 Závěr – pojivo AP-D

Bohužel, i v této shrnující kapitole je "nekonečný text" namísto stručných bodů shrnujících výsledky zkoušek a experimentálního nasazení pojiva AP-D. Na závěr autor konstatuje, že bylo vyvinuto nové hydraulické pojivo, ale nekomentuje, zda jde o pojivo rychle nebo normálně tuhnoucí dle ČSN EN 13282-1, -2 nebo o pojivo, které svými vlastnostmi nezapadá do norem pro hydraulická silniční pojiva.

Kap. 9.5.4 Alternativní pojivo na bázi fluidního popílku ČVUT (AP-S), str. 121

V úvodu kapitol autor uvádí, že se jedná o ternární pojivo. Blíže však nepopisuje jeho složení a podíly jednotlivých složek v pojivu.

Tabulka 27 a tabulka 29

V tabulkách ani v textu není vysvětlen rozdíl mezi pojivem označeným AP-S1 a AP-S2

Obrázek 73, str. 122, obrázek 77, str. 125

Proč jsou výsledky zkoušek pevnosti v prostém tlaku prokládány polynomy 3.řádu? Má to nějaký smysl? Postačilo by pouhé spojení jednotlivých naměřených dat.

Na str. 123 se popisuje nárůst hodnoty CBR při zvýšení dávkování pojiva AP-S1 na dvojnásobek (ze 3% na 6%). Bohužel, neznáme zrnitostní složení fluidního popílku a vysokoteplotního křemičitého popílku, které jsou součástí pojiva AP-S1, aby se mohl posoudit vliv na růst CBR jen díky přidání hrubozrnějšího materiálu.

Závěry jsou opět uvedeny formou "nekonečného textu".

Kap. 9.5.5 Alternativní pojivo na bázi mikro-mletého betonu (AP-MB)

Proč je v tabulce 32 na str. 127 dvakrát uvedena ve složení směsi voda? Byla voda do směsi přidávána ve dvou krocích, nebo se jedná o chybu? Bez vysvětlení se jedná o zavádějící informaci.

Závěry jsou opět uvedeny formou "nekonečného textu".

Kap. 9.5.6 Alternativní pojiva na bázi strusky (AP-SO, AP-SK)

V tabulce 33 a v textu není vysvětlen rozdíl mezi pojivem AP-SO a AP-SK, pouze je uveden jiný typ strusky, což je nedostačující. Na str. 130 je uvedeno, že pojivo došlo k úpravě složení pojiva AP-SK, do kterého byl přidán vápenný hydrát jako aktivátor. Původní složení pojiva AP-SK však nikde popsáno není.

Popis aktivace pojiva AP-SK vápnem a cementem (viz str. 131) by měl být doplněn hlubší analýzou procesů aktivace. Jaký podíl na růstu pevnosti měl vlastní cement a jaký latentně hydraulické strusky. Výsledky by bylo vhodné doplnit mikrosnímky.

Na obrázku 85 jsou opět naměřená data prokládána polynomem 3.řádu bez náležitého vysvětlení.

Závěry jsou opět uvedeny formou "nekonečného textu".

V závěru se objevuje označení strusky písmenem K. Nikde není vysvětleno, co toto označení znamená.

Kap. 9.5.7 Alternativní pojiva – ekonomická a ekologická rozvaha

V této kapitole nejsou nikde sumarizovány náklady na výrobu jednotkového množství klasických pojiv (např. cementu) a pojiv alternativních na bázi druhotných surovin, které by podpořily předpokládané přínosy jejich použití.

Při posuzování ekologického přínosu rovněž chybí přehled produkce CO₂ na jednotku vyrobeného cementu nebo alternativního pojiva, případně analýza celé uhlíkové stopy (těžba surovin, výroba, skladování, doprava, zabudování apod.).

Kapitola obsahuje jen obecné formulace a závěry.

Kap. 10 Závěr

Závěry jsou uvedeny formou "nekonečného textu".

Protože na začátku práce nebyly definovány cíle práce, není ani v závěru uvedeno, jak byly vytýčené cíle splněny.

Nesouhlasím s tvrzením, že praktické použití fluidních popílků je možné jen na lokálních stavbách z důvodu obtížného zajištění homogenity suroviny. Fluidní popílků a směsi vápna a fluidních popílků se běžně používaly na stavbách silnic a dálnic v Ústeckém a Karlovarském kraji (D6, D7).

Bohužel, nejsou v závěru vyzdvíženy její přínosy pro praxi – praktické použití nových směsí, užité vzory, patenty apod.

Rovněž v práci chybí podrobněji definované oblasti dalšího výzkumu.

Kap. 11 Literatura

Seznam literatury a citace zdrojů není v souladu s ČSN ISO 690 Informace a dokumentace - Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů, která je platná od r. 2011.

Závěrečné zhodnocení disertace

Předložená disertační práce obsahuje řadu přínosných výsledků, které lze velmi rychle aplikovat do praxe. Disertační práce však nemá pevnou strukturu a mnohdy působí chaoticky.

Práce působí, jakoby byla dokončována ve spěchu bez důkladné analýzy textu a jednotlivých návazností.

Protože v úvodu práce nebyly vytýčeny cíle, nebylo možné v závěru kontrolovat jejich splnění

Doporučuji po úspěšné obhajobě disertační práce udělení titulu Ph.D. ano ne

Datum: 8.3.2019

Podpis oponenta: 