

Úprava zemin

František Kresta



Úprava zemin

František Kresta

ČESKÁ SILNIČNÍ SPOLEČNOST



CZECH ROAD SOCIETY



Doc. RNDr. František Kresta, Ph.D. (* 1966) vystudoval Přírodovědeckou fakultu Univerzity Karlovy v Praze, obor ložisková geologie, kterou ukončil v roce 1989. Vystudovanému oboru se věnoval pouze tři roky a v důsledku společenských změn po roce 1989 se musel přeorientovat na oblast inženýrské geologie a geotechniky. Od roku 1996 je zaměstnancem SG Geotechnika a.s., nejstarší a největší geotechnické společnosti v České republice.

V roce 2013 habilitoval na Fakultě stavební VŠB Technické univerzity v Ostravě, kde byl jmenován docentem.

Profesně se zaměřil především na využívání druhotných a recyklovaných materiálů v inženýrské praxi, kterým je věnována jeho monografie Druhotné suroviny v dopravním stavitelství (VŠB Technická univerzita Ostrava, 2012) a úpravám zemin pojivy.

Slovo úvodem

Technologie úpravy zemin je v odborné stavební veřejnosti vnímána většinou ve spojitosti s používáním vápna pro snižování vlhkosti převlhčených jemnozrnných zemin. Tato úprava je všeobecně známa, i když zásady, na kterých tato úprava stojí, nemusí být každému zřejmé. Zeminy se však neupravují jen z důvodu snižování vlhkosti. Různými úpravami můžeme docílit zvýšení pevnosti a tuhosti, snížení stlačitelnosti, zlepšení zpracovatelnosti, zvýšení odolnosti proti erozi, úpravy propustnosti apod. Také příměsi, které se vmíchávají do zeminy, mohou být různé od vápna, cementu, silničních pojiv, asfaltových emulzí přes popílky a strusky až k plastovým vláknům.

Pochopit výhody a nevýhody různých úprav, pro jaké zeminy se která úprava hodí, není jednoduchý úkol. Vyžaduje to hluboké teoretické znalosti a zejména praktické zkušenosti. Špatně navržená úprava zemin může znamenat nejen, že se nepodaří dosáhnout předepsané kvality zemního tělesa, ale může vést až k jeho úplné destrukci. Úprava zemin je komplexní činnost, která není jen omezena na laboratorní zkoušky pro stanovení receptury. Je přitom nutné znát širší okolnosti místa, ve kterém se upravené zeminy budou používat, včetně např. chemického složení podzemní vody, která bude do upraveného zemního tělesa pronikat, možné organické nebo znečišťující látky v zemině, které mohou omezit reakce s pojivem nebo zahájené reakce úplně zastavit. Je nutné se také při návrhu úpravy zemin zabývat možnými klimatickými vlivy, jako vysokou teplotou a suchem nebo naopak vyššími dešťovými srážkami v letním období. V zimním období mohou proces úpravy výrazně ovlivnit nízké teploty. Příklady nesprávně navržených nebo chybně provedených úprav

zemin známe z praxe mnoho. Proto, aby k tomu i nadále nedocházelo, má přispět i tato publikace.

Doc. RNDr. František Kresta, Ph.D. se úpravami zemin zabývá již mnoho let a jeho praktické zkušenosti z rozličných staveb jsou obdivuhodné. Napsáním této kvalitní publikace, která se zabývá jak teoretickými, tak praktickými aspekty úprav zemin, vyplnil mezeru, která zůstávala dlouho v odborné literatuře otevřená. Máme sice řadu norem, včetně evropských, které se v úzce specializovaném oboru, většinou orientovaném na pozemní komunikace, zabývají úpravou zemin pomocí vápna, cementu a silničních pojiv. Ale celkový přehled a porovnání jednotlivých metod od teorie a způsobu navrhování úpravy zemin až k technologickému vybavení pro řádné provedení v žádné podobné české publikaci nenajdeme. Doc. Kresta je uznávaným odborníkem na úpravy zemin a používání druhotných surovin v zemních pracích. Po řadu let aktivně pracoval v evropské technické komisi CEN TC 396 Zemní práce, kde byl členem pracovní skupiny WG 5 Kontrola kvality provádění zemních prací. Evropská norma na zemní práce EN 16907 byla publikována v polovině roku 2018. V současnosti je doc. Kresta v rámci TC 396 nadále aktivní, tentokrát v pracovní skupině WG 7, která připravuje evropskou směrnici pro používání alternativních materiálů v zemních pracích.

Nezbývá, než popřát publikaci Úpravy zemin, aby si našla své místo nejen v knihovnách projektantů, ale i v kancelářích techniků a dozorů na stavbách a rovněž i u studentů stavebních oborů.

Ing. Vítězslav Herle

Obsah

Slovo úvodem	7
1. Úvod	13
2. Historie úprav zemin	14
3. Terminologie	17
4. Předpisová základna a její vývoj	19
5. Mechanická úprava (stabilizace)	21
5.1 Úprava zemin textilními vlákny	21
5.2 Technologické požadavky na mechanickou úpravu zemin	25
5.3 Mechanická úprava písčitých a štěrkovitých zemin	25
5.4 Mechanická úprava jemnozrnných zemin	26
6. Pojiva pro úpravu zemin	27
6.1 Vápno	27
6.2 Cement	28
6.3 Hydraulická silniční pojiva	29
6.4 Popílek	30
6.4.1 Popílký po denitrifikaci	32
6.5 Granulovaná vysokopecní struska	34
6.6 Jiná pojiva	36
7. Zeminy a jejich vlastnosti, které ovlivňují jejich úpravu	37
7.1 Chemické vlastnosti	38
7.2 Fyzikální vlastnosti zemin	41
8. Návrh úpravy zemin	42
8.1 Cíl úpravy	42
8.2 Návrh dávkování pojiva a jeho ověření	42
8.3 Stanovení optimálního množství pojiva	43
8.3.1 Stanovení optimálního množství vápna	44
8.3.2 Stanovení optimálního množství cementu	47
8.3.3 Stanovení optimálního množství hydraulických silničních pojiv	47
9. Účinky pojiv na úpravy zemin	48
9.1 Vápno	48
9.1.1 Okamžité účinky úpravy zemin vápnem	48
9.1.2 Dlouhodobé účinky úpravy zemin vápnem	52
9.2 Hydraulická pojiva	54
9.2.1 Okamžité účinky hydraulických pojiv (cementu a hydraulických silničních pojiv)	54
9.2.2 Střednědobé a dlouhodobé účinky hydraulických pojiv (cementu a hydraulických silničních pojiv)	55
9.2.3 Ověřování vlastností nově připravených hydraulických silničních pojiv s využitím vápenatých popílků a odprašků	57
9.3 Popílký	60
9.3.1 Popílký po denitrifikaci v úpravě zemin	65
9.3.2 Směsí popílků po denitrifikaci	66
9.4 Granulovaná vysokopecní struska v úpravě zemin	69

10. Vlastnosti upravených zemin	72
10.1 Klasifikace upravených zemin dle ČSN EN 16907-4	72
10.2 Vlhkost	73
10.3 Objemová hmotnost.	73
10.4 Okamžitý poměr únosnosti (IBI), kalifornský poměr únosnosti (CBR).	74
10.4.1 Změny IBI a CBR při úpravě zemin vápnem	74
10.4.2 Změny IBI a CBR při úpravě zemin cementem	77
10.4.3 Změny IBI a CBR při úpravě zemin hydraulickými silničními pojivy.	81
10.4.4 Změny IBI a CBR při úpravě zemin popílky.	82
10.5 Pórovitost.	83
10.6 Smyková pevnost	84
10.7 Modul deformace	88
10.8 Sání	90
10.9 Objemové změny	92
10.10 Propustnost.	93
10.11 Namrzavost a odolnost proti účinkům mrazu	95
11. Upravené zeminy v zemních pracích	102
11.1 Obecné požadavky	102
11.2 Úpravy podloží násypů	102
11.3 Úpravy zemin v násypech	103
11.4 Úpravy zemin v zářezech	104
11.5 Úpravy zemin v aktivní zóně	105
11.6 Úpravy a stabilizace v konstrukčních vrstvách.	106
11.7 Vyztužování zemních těles z upravených zemin	107
11.8 Upravené zeminy ve vodohospodářských stavbách	110
11.9 Solidifikace kontaminovaných zemin.	114
11.10 Úprava obtížně upravitelných zemin	117
11.11 Rozdíly mezi laboratorními výsledky a stavbou	120
12. Technologie úpravy zemin	122
12.1 Způsob úpravy – in situ, míchací centrum	122
12.2 Stroje a zařízení	123
12.3 Realizace úprav zemin	125
12.4 Průkazní a kontrolní zkoušky.	125
12.5 Klimatická omezení	129
12.6 Prašnost	129
12.7 Bezpečnost a ochrana zdraví při práci	130
13. Budoucnost úprav zemin	131
14. Literatura	134
14.1 Normy a předpisy	140
14.2 Zahraniční normy a předpisy	141
15. Seznam tabulek	142
16. Seznam obrázků	144
Soil treatment - English Resume	150

1. Úvod

V posledních desetiletích se v oblasti zemních prací vyvinul nový obor věnující se úpravám vlastností zemin. Technologický rozvoj vždy předcházela normativní základna, která se musela technologiím a zkušenostem z praxe přizpůsobit.

V roce 2018 byla přijata řada evropských norem pro zemní práce (ČSN EN 16907) a mezi nimi i norma ČSN EN 16907-4 Zemní práce – Část 4 Úprava zemin vápnem a/nebo hydraulickými pojivy, která si kladla za cíl pokusit se sjednotit postupy úpravy zemin pojivy z pohledu evropské praxe.

Téměř v každé evropské zemi existují předpisy, jak zeminy upravovat. Bylo publikováno mnoho odborných článků, které se věnují dílčím aspektům tohoto nového vědního oboru. Nový obor stojící na hranici několika specializací je multidisciplinární a zahrnuje nejen znalosti z oboru chemie a mineralogie, ale především z problematiky mechaniky zemin.

Tato publikace je pokusem o shrnutí vědeckých poznatků a zkušeností ze staveb s orientací na praktické aplikace. Na úvod je rovněž nutné upozornit, že se nezabývá technologií hloubkového zlepšování zemin, která je součástí speciálního zakládání.

Publikace si nečiní nárok shrnout vše, co se v tomto mladém oboru objevilo a publikovalo v posledních letech. Snaží se přiblížit tuto problematiku praktickému uživateli.

V jednotlivých kapitolách jsou popsány všechny podstatné aspekty spojené s úpravami zemin. Kapitola 2 se věnuje historii této technologie, která sahá hluboko do minulosti. Kapitola 3 se zabývá terminologií, která prošla velmi překotným vývojem, a snaží se upozornit na rozdíly mezi běžně používanými termíny úprava, zlepšení a stabilizace zemin. V kapitole 4 je popsána existující předpisová základna v oblasti úprav zemin.

Kapitola 5 popisuje mechanickou úpravu a stabilizaci zemin. Kapitola 6 se věnuje pojivům, která se pro úpravy zemin používají a požadavkům na ně. Kapitola 7 se zabývá zeminami a jejich vlastnostmi, které ovlivňují výběr pojiva a způsob úpravy.

V kapitole 8 je popsán postup návrhu úpravy zemin jednotlivými druhy pojiv. Kapitola 9 se potom věnuje účinkům jednotlivých pojiv na vlastnosti zemin, které jsou upravovány. Logicky největší prostor má popis vlivu vápna a cementu na vlastnosti zemin po úpravě, protože tato pojiva mají nejdelší historii a jejich účinky jsou nejpodrobněji prostudovány.

Fyzikálně-mechanické vlastnosti zemin upravených pojivy jsou popsány v kapitole 10. Kapitola 11 se zabývá upravenými zeminami v zemních pracích, včetně méně častých aplikací, kam patří vyztužené zemní konstrukce s upravenými zeminami nebo používání upravených zemin ve vodohospodářských stavbách. Kapitola 12 popisuje technologii provádění úpravy zemin, klimatická omezení při úpravách zemin, průkazní a kontrolní zkoušky, bezpečnost a ochranu zdraví při práci s pojivy. V kapitole 13 se autor zamýšlí nad budoucností úpravy zemin v zemních pracích.

Text je primárně koncipován pro českého (případně i slovenského) čtenáře. Prezentovaná data dokreslující text pocházejí z praktických výsledků úprav zemin na základě laboratorních a terénních zkoušek, kterými se autor a SG Geotechnika a.s. v minulosti zabývali. Je nutné upozornit, že výběr literatury musel být velmi omezený, protože publikací věnujících se úpravám zemin každoročně přibývá. Na druhou stranu postulované závěry z prvních výzkumů v oblasti úpravy zemin v 50. a 60. letech 20. století jsou stále platné (např. [127], [183], [181]).

Všechny hodnoty fyzikálních veličin, případně upravené grafy z literatury byly převedeny do jednotek SI.

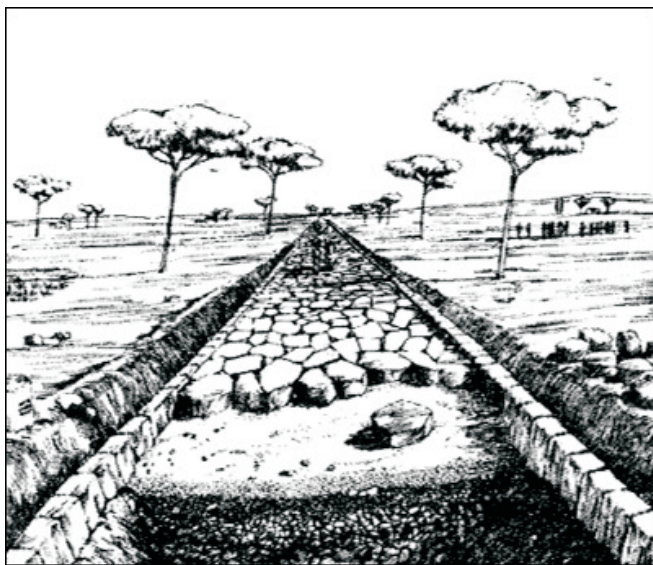
2. Historie úprav zemin

Úpravy zemin, zejména pak použití vápna ke snižování vlhkosti, patří k velmi starým technologiím. Nejstarší archeologické nálezy z Iráku a Číny jsou více než 3 000 let staré ([132], [65]).

Podrobnější popis úprav zemin v podloží komunikací známe z období císařského Říma z díla Vitruvia z přelomu letopočtů. Ve svém díle Deset knih o architektuře popisuje Vitruvius mj. způsob úpravy vlhkých zemin v podloží komunikací s využitím vápna nebo hydraulické malty. Znalost úpravy zemin musela být v antickém Římě mnohem starší, protože zeminy upravené vápnem byly zjištěny v podloží silnice Via Appia z 3. století př. n. l. [184], [23].

Konstrukce římské silnice byla následující (vrstvy odshora):

- *summum dorsum* - bloky kamenů tmelené materiálem podobným betonu;
- *rudus* - hydraulická malta se štěrkem - konstrukce vyklenutá pro odvodnění;
- *statument* - drť (úlomky 10-20 cm), tmelené maltou;
- *pavimentum* - směs zeminy a vápna.



Obr. 1 Konstrukce silnice Via Appia

V 50. letech 20. století začal v USA výzkum v oblasti úprav zemin vápnem a postupně se rozšířil do celého světa. K prvním větším stavbám, na kterých byla použita úprava zemin vápnem, patřilo letiště Fort Worth v Dallasu (USA) vybudované v letech 1969-1973 [123].

Ve Velké Británii probíhal v 50. a 60. letech 20. století výzkum v oblasti úprav zemin a několik pilotních projektů. Výraznější nárůst staveb využívajících upravené zeminy se začal projevovat až v 80. letech 20. století a vrcholil zakotvením v předpisové základně v roce 1986 [40].

Další vývoj urychlila, bohužel jako často v technologických oblastech, válka, a to válka ve Vietnamu. Na konci 60. let



Obr. 2 Via Appia v 21. století (nedaleko Villa dei Quintili v Římě)

20. století hledala americká armáda pojiiva pro rychlou a efektivní úpravu zemin (obvykle převlhčených) pro výstavbu polních letišť. Tehdy byla vyvinutá první rychle tuhnoucí hydraulická silniční pojiiva s podílem popílků. Jen pro zajímavost, první evropská norma pro hydraulická silniční pojiiva byla přijata až v roce 2015.

V evropském kontextu můžeme hovořit o následujících etapách vývoje v oblasti úprav zemin, které lze propojit i geograficky.

1) Země západní a severní Evropy (Rakousko, Belgie, Francie, Švýcarsko, Nizozemsko, Finsko, Norsko, Švédsko, Velká Británie)

V těchto zemích se technologie úpravy zemin začala vyvíjet v polovině 20. století. Na rozvoji technologie úprav zemin se podíleli jak investoři, tak zhotovitelé, vědecké instituce, výrobci pojiv i výrobci strojního zařízení. Zde můžeme hledat zdroj prvních předpisů a prvních zkušeností s aplikacemi v různých oblastech stavebnictví.

2) Země střední Evropy (Česká republika, Slovensko, Maďarsko, Polsko)

Odborníci z těchto zemí byli inspirováni technologiemi, se kterými se seznámili v zahraničí, a již od poloviny 20. století začali s pilotními aplikacemi. Daleko větší rozvoj nastal po pádu železné opony na začátku 90. let 20. století. Rozvoj probíhal dvěma způsoby:

- převzetí zkušeností ze zahraničí (*transfer know-how*) – např. v České republice;
- „nákup“ prostřednictvím soukromých investorů ze západních zemí, kteří přivedli s sebou své projektanty a zhotovitele (např. Polsko).

Země střední Evropy přinesly do oblasti úprav zemin nové progresivní postupy (např. použití při modernizaci železničních tratí, použití ve vodohospodářských stavbách). V těchto zemích (především v České republice)

3. Terminologie

Rovněž terminologie v oblasti úprav zemin odráží její vývoj, v některých etapách i překotný. Evropská norma ČSN EN 16907-4 uvádí definice následujících termínů z oblasti úpravy zemin [224].

Úprava zemin (*soil treatment*) je obecný termín pro označení procesu, jehož cílem je modifikace určité zeminy tak, aby směs, která vznikne po přidání pojiva nebo kombinace pojiv, splnila požadovaný účel. Úprava zahrnuje jak zlepšení, tak stabilizaci zemin.

Zlepšení (*soil improvement*) je operace, která zlepšuje fyzikální vlastnosti zeminy nebo obecněji materiálu jako jsou vlhkost, plasticita, namrzavost, odolnost proti vodě, zhutnitelnost a potenciál k bobtnání krátkodobě po přidání pojiva. Množství přidávaného pojiva nesmí být takové, aby došlo k dlouhodobým změnám vlastností zeminy.

Cílem zlepšení je umožnit, aby zemina splňovala jednu nebo více následujících vlastností:

- zpracovatelnost běžnou technikou pro zemní práce;
- dostatečné zhutnění v uložené vrstvě;
- možnost pojezdu vozidel a vytvoření pracovní plochy pro nadložní vrstvu;
- příprava materiálu pro následnou úpravu.

Stabilizace zemin (*soil stabilisation*) je operace, jejímž cílem je získání homogenní směsi zeminy s pojivem (pojivý) a případně s vodou, která po řádném zhutnění podstatně mění (obecně ve střednědobém nebo dlouhodobém horizontu) vlastnosti zemin tak, že jsou stabilní s ohledem na působení vody a mrazu. Směs získává trvalé vlastnosti, které lze měřit metodami pro pevné materiály.

Cílem stabilizace je umožnit, aby zemina splnila jednu nebo více následujících schopností:

- odolávat vertikálnímu, horizontálnímu nebo šikmému statickému zatížení;
- odolávat dynamickému zatížení;
- odolávat kontaktu s vodou;
- odolávat mrazu.

Jak vyplývá z definic ČSN EN 16907-4, pro odlišení termínů zlepšení a stabilizace hraje zásadní roli časový faktor ovlivňující vlastnosti původních zemin. Pro krátkodobé účinky se doporučuje termín zlepšení, pro dosažení dlouhodobých účinků pak termín stabilizace.

Cílem zlepšení zemin z krátkodobého hlediska není dosažení trvalých (permanentních) změn vlastností výsledné směsi vedoucích k jejímu zpevnění. Zlepšení se projevuje ihned po smísení pojiva se zeminou, obvykle do 24-72 hodin v závislosti na charakteru upravované zeminy.

Zlepšení zemin obvykle slouží při řešení následujících úloh:

- vysušení vlhkých zemin (především se jedná o jemnozrnné zeminy – jíly, silty, případně poloskalní horniny jako je křída);
- neutralizace kyselých nebo organických zemin;
- flokulace jílovitých částic zemin (shlukování jílových minerálů k sobě a vznik kulovitých částic);
- snížení plasticity jílovitých zemin v důsledku flokulace.

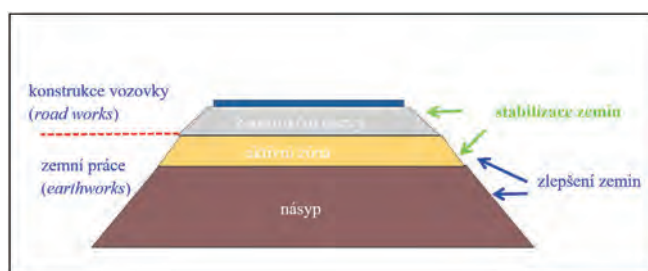
V zemním tělese pozemních komunikací se zlepšené zeminy mohou vyskytovat v podloží násypů a v násypech. V aktivní zóně a konstrukčních vrstvách mohou zlepšené zeminy představovat předstupeň zemin stabilizovaných, kdy stabilizace následuje po zlepšení.

Na druhou stranu, hovoříme-li o stabilizaci zemin, máme na mysli takové úpravy zemin, které mají střednědobý až dlouhodobý účinek na jejich vlastnosti. Výsledkem reakcí pojiva a původní zeminy je stmelенý materiál, který získává vlastnosti poloskalní horniny.

Cíle stabilizace zemin jsou obvykle následující:

- zvýšit odolnost vůči statickému a dynamickému zatížení;
- ztužení (zpevnění) svahů;
- zvýšit odolnost vůči vodě a mrazu;
- snížit potenciál k objemovým změnám u bobtnajících zemin.

V zemním tělese pozemních komunikací se stabilizované zeminy vyskytují v aktivní zóně, konstrukčních vrstvách, případně i v konstrukci vozovek.



Obr. 6 Schéma použití upravených zemin v zemním tělese a konstrukčních vrstvách pozemních komunikací (upraveno dle Puiatiho 2014, [150])

Jak však v praxi odlišit, zda se jedná o zlepšení nebo stabilizaci zemin. Stojíme před problémem, jak stanovit množství pojiva, které je menší než velké, aby nedocházelo k dlouhodobým změnám vlastností směsi v případě, kdy provádíme zlepšení, a na druhou stranu větší než malé, aby naopak došlo k trvalým změnám vlastností, když jde o stabilizaci. Úprava zemin v aktivní zóně je stabilizací, ale jak tomu je v násypu? Jsou zde změny vlastností zemin tak velké nebo tak malé, aby-

4. Předpisová základna a její vývoj

Normy a předpisy v oblasti úprav zemin mají v České republice dlouhou tradici. Před přijetím evropských norem řešila uvedenou problematiku ČSN 73 6125 Stavba vozovek. Stabilizované podklady z r. 1994 [237].

Norma ČSN 73 6125 shrnovala problematiku uvedenou v oborových normách ON 73 6181 Stabilizace zemin [241] a ON 73 6186 Spevňovanie zemin cementom [242] a částečně v oborové normě ON 73 6183 Zlepšení soudržných zemin vápnem z r. 1969 [240]. Oproti těmto normám byl sjednocen název pro úpravu zemin do spodních podkladních vrstev vozovky na termín „stabilizace“. Byla rozšířena možnost použití kombinací pojiv a umožněno stanovení pevnosti a odolnosti stabilizace po delší době zrání. Byly sjednoceny požadavky na zkoušení.

Protože tato norma řešila pouze stabilizaci podkladních vrstev komunikací a nevěnovala se úpravám zemin obecně, vznikly nedlouho po jejím přijetí v roce 1995 Technické podmínky TP 94 Zlepšení zemin [247].

ČSN 73 6125 byla zrušena 1. 4. 2008 v souvislosti se zavedením evropských norem pro úpravy zemin řady EN 14227 ([216], [217], [218], [219], [220]).

V roce 2008 byly převzaty následující evropské normy řady EN 14227 pro úpravy zemin:

- ČSN EN 14227-10 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 10: Zeminy upravené cementem
- ČSN EN 14227-11 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 11: Zeminy upravené vápnem
- ČSN EN 14227-12 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 12: Zeminy upravené granulovanou vysokopecní struskou
- ČSN EN 14227-13 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 13: Zeminy upravené hydraulickými silničními pojivy
- ČSN EN 14227-14 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 14: Zeminy upravené popílky

Tyto normy byly posléze revidovány v roce 2013.

V roce 2016 byly normy ČSN EN 14227-10 až 14 zrušeny a nahrazeny jedinou evropskou normou ČSN EN 14227-15 Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 15: Zeminy stabilizované hydraulickými pojivy. Tato norma zahrnuje úpravu všemi typy hydraulických pojiv, která byla dříve popsána v samostatných normách (vápno, cement, popílek, vysokopecní struska a hydraulická silniční pojiva) [221].

Poslední převzatou evropskou normou, která se věnuje úpravám zemin, je ČSN EN 16907-4 Zemní práce – Část 4 Úprava zemin vápnem a/nebo hydraulickými pojivy [224].

Přehled jednotlivých norem majících vztah k úpravě zemin pojivy zemin je uveden v tabulce 1.

Tabulka 1 Přehled jednotlivých norem spojených s úpravou zemin (upraveno dle Puiattiho 2018, [151])

Technický výbor	Pojivo	Metodika laboratorních zkoušek	Klasifikace upravených zemin	Provádění a kontrola
TC 51 Cement a stavební vápno	EN 197 Cement	žádná norma	žádná norma	žádná norma
	EN 459 Vápno			
	EN 13282-1, -2 Hydraulická silniční pojiva			
TC 104 Beton a podobné výrobky	EN 450-1 Popílek	žádná norma	žádná norma	žádná norma
	EN 15167-1 Struska			
TC 227 Silniční materiály	EN 14227-2 Struska	žádná norma	EN 14227-1 až 5 Upravené písky a štěrky	žádná norma
	EB 14227-4 Popílek		EN 14227-15 Stabilizované zeminy	
TC 396 Zemní práce	žádná norma	EN 16907-1 Úprava zemin vápnem a/nebo hydraulickými pojivy		

Normy pro výrobky (ČSN EN 197-1, ČSN EN 459-1, ČSN EN 13282-1, -2, ČSN EN 450-1 a ČSN EN 15167-1) slouží pro certifikaci výrobků (pojiv), které se používají pro úpravu zemin. Normy pro popílek a strusku pro úpravu zemin (ČSN EN 14227-2 a ČSN EN 14227-4) se pro certifikaci výrobků nepoužívají.

Z tabulky 1 je zřejmé, že pouze norma ČSN EN 16907-4 zahrnuje důležité aspekty úpravy zemin – metodiku laboratorních zkoušek, klasifikaci upravených zemin a pravidla pro provádění a kontrolu zemních prací s upravenými zeminami.

Jak bylo uvedeno výše, po přijetí normy ČSN 73 6125 byl vytvořen resortní předpis TP 94 Zlepšení zemin (od revize v roce 2009 pod názvem Úprava zemin), který si kladl za cíl věnovat se nejen konstrukčním vrstvám vozovek, jejichž stabilizace byla popsána v ČSN 73 6125, ale i fenoménu úprav zemin obecněji, zejména pro použití v zemním tělese pozemních komunikací.

Předpis TP 94 Úprava zemin podrobně popisuje, jaké vlastnosti zemin jsou určující pro jejich úpravu, požadavky na pojiva, postupy při návrhu směsi zemin s pojivy, požadavky na vlastní realizaci úprav zemin při používání upravených zemin v podloží násypu, násypu a v aktivní zóně, rozsah průkazních a kontrolních zkoušek, klimatická omezení, environmentální a bezpečnostní požadavky [247].

Úpravy zemin na stavbách železničních tratí jsou podrobně popsány v předpise S4 z r. 2008, který je v současné době

5. Mechanická úprava (stabilizace)

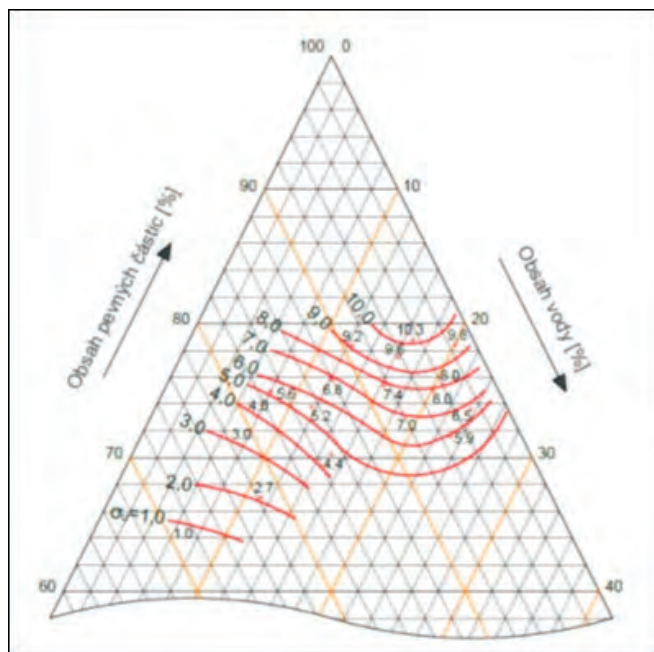
Dle ČSN EN 16907-4 je mechanická stabilizace (čl. 3. 17) operace, která zahrnuje rozprostření a mísení dalšího materiálu s určitou zrnitostí a/nebo tvarem a/nebo obsahem jílovitých částic, před úpravou.

Mechanickou úpravou zemin se dosáhne lepších mechanických vlastností upravené zeminy, lepší zpracovatelnosti, vyšší smykové pevnosti a nižší stlačitelnosti.

Pro mechanickou úpravu zemin lze použít příměs zemin nebo jiných materiálů (např. popílku) vhodné zrnitosti a vlhkosti. Cílem mechanické úpravy zemin je zpravidla úprava křivky zrnitosti.

Pevnost mechanicky upravených zemin závisí na obsahu vody ve směsi. Při optimálním obsahu vody ve směsi se dosahuje nejvyšších pevností podobně, jako v případě nestmelečných směsí (např. mechanicky zpevněné kamenivo).

Na obrázku 7 je znázorněna závislost pevnosti v prostém tlaku směsi šterkovitého písku (SP) a písčitého jílu (CS) s ní-



Obr. 7 Závislost pevnosti v prostém tlaku (červeně) směsi šterkovitého písku a písčitého jílu v poměru 3:2 na obsahu vody ve směsi (upraveno dle Kézdiho a Nagyvátiho 1968, [64])



Obr. 8 Druhy vláken: 1 – polyesterová staplová (jednoduchá), 24 mm; 2 – polyesterová staplová (jednoduchá), 70 mm; 3 – polypropylenová fibrilovaná, 24 mm; 4 – polypropylenová fibrilovaná 70 mm

kou plasticitou ($I_p = 13 \%$) v poměru 3:2, která byla zhutněna energií 100 % Proctor Standard, na množství vody ve směsi [64].

5.1 Úprava zemin textilními vlákny

Zvláštním případem mechanické úpravy zemin je úprava zemin textilními vlákny. Úprava textilními vlákny prochází zatím etapou laboratorních zkoušek a experimentů. Dosud nebyla nasazena ve větším měřítku na stavbách. V zahraničí byly popsány zkoušky kombinace úpravy zemin vlákny a cementem (viz níže).

Pro mechanickou úpravu textilními vlákny se v rámci experimentů používají vlákna syntetická nebo přírodní zpravidla o délkách 5-100 mm. Nejčastěji jsou popsány případové studie s využitím polypropylenových, polyesterových a polyvinylalkoholových vláken, která mohou být jednoduchá nebo složená.

Použití textilních vláken je dosud ve stadiu ověřování jejich praktického nasazení. V letech 2007-2010 probíhalo řešení výzkumného úkolu Ministerstva průmyslu a obchodu ČR pod názvem „Zlepšování parametrů zemin rozptýlenou výztuží“, které přineslo mnoho nových poznatků i ve srovnání se zahraničními zkušenostmi v této oblasti ([113], [114]).

Jednalo se o první komplexní a ucelený soubor zkoušek úpravy zemin rozptýlenou výztuží provedený v České republice. Dosažené výsledky se lišily směs od směsi, v závislosti na poloze vláken ve vzorku a bude potřeba provést větší objem zkoušek, aby mohlo být s jistotou analyzováno chování rozptýlených vláken v zeminách a určen jejich vliv na jednotlivé vlastnosti nevyztužených zemin.

Důležitým poznatkem vyplývajícím z tohoto výzkumu bylo, že z krátkodobého hlediska pravděpodobně nezáleží na materiálu vlákna, jako na typu těchto vláken. Tuhá složená (fibrilovaná) vlákna jsou odolná vůči deformaci na ně vyvozené a značná část deformace je při použití nedostatečné energie zhutňování vratná. V případě jednoduchých (staplových) vláken byla pozorována větší přizpůsobivost zemině, a tedy i menší velikost vratné deformace vzorku. Obrázky konkrétních vláken použitých v rámci výzkumného úkolu jsou na obrázku 8.

Vlákna rozptýlená v zemině, která jsou aktivována až postupnou deformací této zeminy, způsobují poddajnější chování směsí. I když jsou v některých případech deformace vzorků velké, povětšinou jsou nezbytné k dosažení lepších výsledků, než jakých dosahují nevyztužené zeminy.

Dle výsledků z této studie se zdá ideálním množstvím pro vyztužování zemin syntetickými vlákny koncentrace do 0,5 % suché objemové hmotnosti dané zeminy. Vlákna poskytující nejlepší výsledky byla většinou polyesterová jednoduchá délky 70 mm.

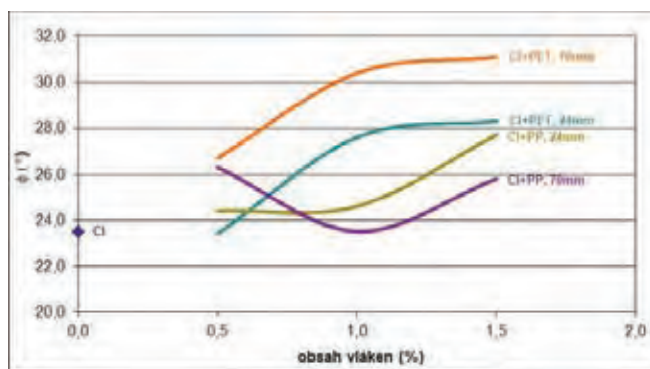
Z provedených velkorozměrových poloprovozních zkoušek v měřítku 1:1 na zkušebním úseku na stavbě vyplývají následující závěry týkající se účinků úpravy jemnozrnných zemin rozptýlenou výztuží textilními vlákny:

- Vlákna zvyšují odolnost jemnozrnných zemin vůči erozi.
- Úhel vnitřního tření vzorků jílu se střední plasticitou vyztuženého polyesterovými jednoduchými (staplovými) vlákny je vyšší než úhel vnitřního tření nevyztuženého jílu. Soudržnost jílu se střední plasticitou přidáním vláken klesá až o 60 % (90 %). Polypropylenová složená (fibrilovaná) vlákna smykovou pevnost snižují v obou parametrech.
- Smykové zkoušky potvrzují závěry zahraničních autorů [148], že k výraznějšímu nárůstu smykové pevnosti dochází až po větší deformaci směsi. V průběhu postupující deformace je totiž postupně mobilizována pevnost vláken.
- Při malém přetvoření zeminy s vlákny je přínos vláken ke smykové pevnosti zeminy malý.
- Propustnost se přidáním vláken do rostlé zeminy zvyšuje o dva až tři řády. Nezáleží na druhu vláken.
- Pevnost v prostém tlaku se přidáním vláken zvyšuje, zvyšuje se však i velikost osové deformace.

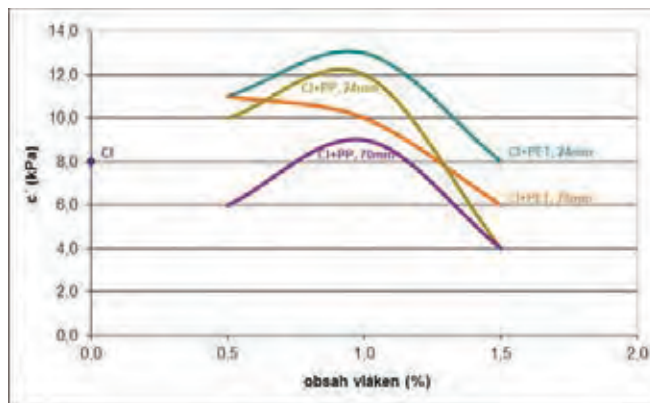
Tabulka 2 Výsledky zkoušek propustnosti směsí jílu se střední plasticitou se syntetickými vlákny (vzorky zamísené při poloprovozní zkoušce)

	Vzorky z terénní zkoušky		Laboratorní vzorky	
	k_f (ms^{-1})	S_r^* (-)	k_f (ms^{-1})	S_r^* (-)
F6 CI (3 ks)	$4,6 \cdot 10^{-11}$	0,95	$2,9 \cdot 10^{-10}$	0,98
	$3,6 \cdot 10^{-11}$	1,00		
	$2,5 \cdot 10^{-11}$	0,97		
CI + 0,5 % PP, 70 mm (3 ks)	$1,1 \cdot 10^{-08}$	1,00	$2,0 \cdot 10^{-09}$	1,00
	$1,9 \cdot 10^{-08}$	1,00		
	$3,4 \cdot 10^{-09}$	1,00		
CI + 0,5 % PET, 70 mm (3 ks)	$3,5 \cdot 10^{-09}$	0,97	$2,0 \cdot 10^{-09}$	1,00
	$2,1 \cdot 10^{-08}$	0,99		
	$5,2 \cdot 10^{-08}$	1,00		

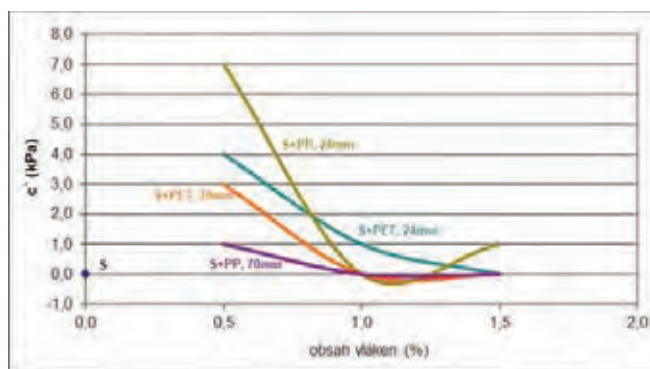
* stupeň nasycení po provedení zkoušky



Obr. 9 Závislost vrcholového úhlu vnitřního tření jemnozrnných směsí na obsahu vláken

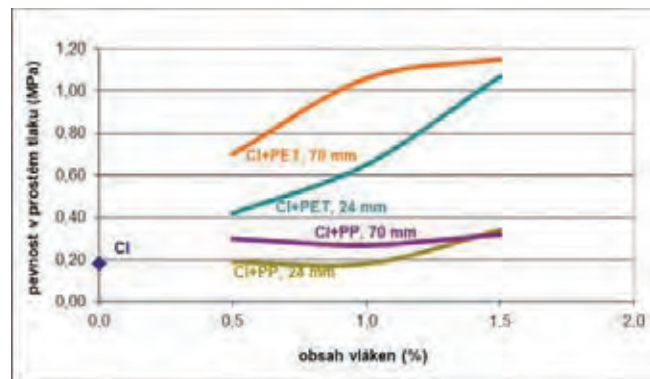


Obr. 10 Závislost vrcholové soudržnosti jemnozrnných směsí na obsahu vláken



Obr. 11 Závislost vrcholové soudržnosti hrubozrnných směsí na obsahu vláken

Zkouška propustnosti byla provedena na každém typu směsi třikrát. Jak je vidět z tabulky 2, naměřené hodnoty se ni-



Obr. 12 Závislost pevnosti směsí s jemnozrnnou zeminou na zastoupení vláken

7. Zeminy a jejich vlastnosti, které ovlivňují jejich úpravu

Jak je uvedeno v předpise **Tabulka 12** Použitelnost zemín pro stavbu zemního tělesa a jejich úpravy (ČSN 73 6133 tab. 1)

TP 94, všechny zeminy lze upravovat. Neexistují žádné fyzikálně-mechanické vlastnosti, které by vylučovaly úpravu zemín, vyjma technických a kapacitních možností technologických zařízení. Upravují se zeminy, které chceme upravit a jejichž úprava je ekonomická ve srovnání s jinými možnými opatřeními [247].

Podmínky použití	NEPOUŽITELNÉ ¹⁾ k jakémukoli použití	NEVHODNÉ k přímému použití bez úpravy	PODMÍNEČNĚ VHODNÉ k přímému použití bez úpravy	VHODNÉ k přímému použití bez úpravy
	Nelze upravit běžnými technologiemi, použití se zpravidla vylučuje	Musí se vždy upravit ³⁾	Podle dalších vlastností se rozhodne, zda lze použít přímo bez úpravy nebo zda se musí upravit	Lze použít přímo bez úpravy
Aktivní zóna	Organické zeminy s obsahem organických látek větším než 6 % ²⁾ , bahna, rašelina, humus, ornice, CE, ME	ML, MI, CL, CI MH, MV, CH, CV,	S-F MG, CG, MS, CS, SM, SC, GM, GC, GP, SP	SW, GW, G-F
Násyp		MH, MV, CH, CV,	MG, CG, MS, CS, SM, SC, GM, GC, GP, SP ML, MI, CL, CI	SW, GW, G-F S-F

1) *Netýká se podloží násypu a svahů zářezu*
 2) *Obsah 6 % je hranice pro středně organické zeminy dle ČSN EN ISO 14688-2*
 3) *Neplatí pro poddajnou vrstvu vrstevnatého násypu*

Volba způsobu úpravy zemín závisí na jejich fyzikálně-mechanických vlastnostech a jejich chemickém složení. Cílem úpravy zemín je dosáhnout požadovaných návrhových parametrů dle projektové dokumentace.

Zeminy určené k úpravě v zemním tělese jsou obvykle zeminy nevhodné bez úpravy nebo zeminy podmíněčně vhodné k přímému použití dle tabulky 1 ČSN 73 6133 [238].

Rovněž lze výhodně použít úpravu i pro zeminy stejnozrné a směsi hrubozrných a jemnozrných zemín, zejména při úpravě vlhkosti.

K úpravě zemín vápnem se přistupuje především v případě, pokud je vlhkost na mezi tekutosti $w_L > 50\%$ nebo v případě měkkých zemín ($I_c < 0,5$). Běžně se upravují i zeminy s vlhkostí na mezi tekutosti nižší než $w_L = 50\%$. Rozhodujícím kritériem je stupeň konzistence. Při úpravě vápnem by zemina měla obsahovat minimálně 95 % částic menších než 63 mm.

Tabulka 13 Doporučení pro výběr pojiva pro úpravu (stabilizaci) zemín dle manuálu US Army Corps of Engineers (EM 1110-3-137)

Klasifikace zemín	Doporučené pojivo pro úpravu (stabilizaci)	Omezení z hlediska meze tekutosti (w_L) a indexu plasticity (I_p)	Omezení z hlediska zrnitosti (obsah částic pod 0,074 mm, 200 mesh)	Poznámka
SW, SP	živice			
	portlandský cement			
	směs vápna, cementu a popílku	$I_p < 25$		
SW-SM, SP-SM, SW-SC, SP-SC	živice	$I_p < 10$		
	portlandský cement	$I_p < 30$		
	vápno	$I_p > 12$		
	směs vápna, cementu a popílku	$I_p < 25$		
SM, SC, SM-SC	živice	$I_p < 10$	méně než 30 % hmotnosti	
	portlandský cement	b*		
	vápno	$I_p < 12$		
	směs vápna, cementu a popílku	$I_p < 25$		
GW, GP	živice			pouze dobře zrněný materiál
	portlandský cement			materiál by měl obsahovat nejméně 45 % zrn pod 4,76 mm (4 mesh)
	směs vápna, cementu a popílku	$I_p < 25$		
GW-GM, GP-GM, GW-GC, GP-GC	živice	$I_p < 10$		pouze dobře zrněný materiál
	portlandský cement	$I_p < 30$		materiál by měl obsahovat nejméně 45 % zrn pod 4,76 mm (4 mesh)
	vápno	$I_p < 12$		
	směs vápna, cementu a popílku	$I_p < 25$		
GM, GC, GM-GC	živice	$I_p < 10$	méně než 30 % hmotnosti	pouze dobře zrněný materiál
	portlandský cement	b*		materiál by měl obsahovat nejméně 45 % zrn pod 4,76 mm (4 mesh)
	vápno	$I_p < 12$		
	směs vápna, cementu a popílku	$I_p < 25$		
CH, CL, MH, ML, ML-CL, OH, OL	portlandský cement	$w_L < 40, I_p < 20$		organické a velmi kyselé zeminy spadající do této skupiny nejsou vhodné pro stabilizaci běžným způsobem
	vápno	$I_p < 12$		

Tabulka 14 Pojiva vhodná pro úpravu zemin a okrajové podmínky jejich použití dle TP 94, NLA a UFC

Klasifikace zeminy	Pojivo	TP 94 - omezení	UFC - omezení	NLA - omezení
SW, SP	cement			
	vápno + cement + popílek		$l_p \leq 25 \%$	
S-F	cement		$l_p \leq 30 \%$	
	vápno	$f > 12 \%$, $l_p \geq 5 \%$	$l_p \geq 12 \%$	nelze
	vápno + cement + popílek		$l_p \leq 25 \%$	
	hydraulické silniční pojivo			
SM, SC	cement			
	vápno	$l_p \geq 5 \%$	$l_p \geq 12 \%$	$F > 25 \%$, $l_p > 10 \%$
	vápno + cement + popílek		$l_p \leq 25 \%$	
	hydraulické silniční pojivo	viz pozn. 1		
GW, GP	cement		$g < 45 \%$	
	vápno + cement + popílek		$l_p \leq 25 \%$	
G-F	cement		$l_p \leq 30 \%$, $g < 45 \%$	
	vápno	$f > 12 \%$, $l_p \geq 5 \%$	$l_p \geq 12 \%$	nelze
	vápno + cement + popílek		$l_p \leq 25 \%$	
	hydraulické silniční pojivo			
GM, GC	cement		$g < 45 \%$, viz pozn. 2	
	vápno	$l_p \geq 5 \%$	$l_p \geq 12 \%$	$F > 25 \%$, $l_p > 10 \%$
	vápno + cement + popílek		$l_p \geq 25 \%$	
	hydraulické silniční pojivo	viz pozn. 1		
CS, CG, MS, MG	cement		$F > 50 \%$, $w_L > 40 \%$, $l_p < 20 \%$	
	vápno		$l_p \geq 12 \%$	$F > 25 \%$, $l_p > 10 \%$
	hydraulické silniční pojivo	viz pozn. 1		
CL, CI, CH, CV, ML, MI, MH, MV	cement		$F > 50 \%$, $w_L > 40 \%$, $l_p < 20 \%$	
	vápno	$l_p \geq 5 \%$	$l_p \geq 12 \%$	$F > 25 \%$, $l_p > 10 \%$
	hydraulické silniční pojivo	viz pozn. 1		

Poznámky k tabulce 14

f – částice s velikostí pod 0,063 mm

g – částice s velikostí nad 4,76 mm (4 mesh)

F – částice s velikostí pod 0,074 mm (200 mesh)

Poznámka 1

Pro hydraulické silniční pojivo DOROSOL

DOROSOL C30 – $w_L < 35 \%$

DOROSOL C50 – $35 \% < w_L < 50 \%$

DOROSOL C70 – $50 \% < w_L < 70 \%$

Poznámka 2 – krátká doba zpracovatelnosti (cca 2 hodiny)

Doporučení pro výběr vhodného pojiva pro úpravu se většinou inspirují nebo dokonce vycházejí z manuálu US Army Corps of Engineers (EM 1110-3-137 [258] a TM 5-822-14 [260]), který byl poprvé vydán v roce 1984 a který uvádí v tabulce 2.2 doporučení pro výběr pojiva pro úpravu (stabilizaci zemin) v závislosti na zatřídění zemin a jejich vlastnostech (viz tabulka 13). Vedle klasických pojiv (vápno, cement) se doporučuje pro úpravu směs vápna, cementu a popílku (později hydraulická silniční pojiva) a úprava zemin živiciemi. Úprava (stabilizace) zemin pomocí živic není v zemních pracích v evropské praxi běžná.

Klasifikace zemin vychází z *MIL STD 619 Unified Soil Classification System For Roads, Airfields, Embankments And Foundations*

* $b \leq 20 + (\% \text{ zrn pod } 0,074 \text{ mm}/4)$

V tabulce 14 jsou shrnuta doporučení TP 94 [247], UFC (United Facilities Criteria) [263] a NLA (National Lime Association) pro volbu pojiva pro danou zeminu. Porovnáme-li tabulky 12 a 13, vidíme, že doporučení NLA a UFC jsou totožná a vycházejí z doporučení US Army Corps of Engineers.

7.1 Chemické vlastnosti

Chemismus zeminy a obsah chemických látek může mít vliv na vlastnosti úpravy zemin pojivy. Před úpravou zemin je vhodné znát obsah chemických látek v dané zemině, protože mohou reagovat s pojivem a ovlivňovat výsledek úpravy.

Organické látky

Zeminy před úpravou pojivy by neměly obsahovat více než 6 % organických látek. Proto je například velmi obtížná úprava ornice. Huminové kyseliny, které se uvolňují z organických látek, vážou ionty Ca^{2+} do velmi pevného komplexu (chelátu) a dále se nepodílejí na procesech spojených s nárůstem pevnosti upravované zeminy. Navíc v přítomnosti huminových kyselin je část vápenatého pojiva spotřebována na neutralizaci kyselého pH, což samozřejmě zvyšuje spotřebu pojiv [75].

V případech úpravy zemin cementem bez organické příměsi hydratuje cement s vodou obsaženou v zemině a tvoří pevnou výplň (matrix) kolem jednotlivých částic zeminy. Pokud zemina obsahuje organickou příměs, je tuhnutí cementu zpomaleno. Zpomalení tuhnutí nezávisí na celkovém množství organické hmoty v zemině, ale na podílu určité aktivní frakce. Nebyla nalezena žádná korelace mezi obsahem organických látek a odpovídající pevností v prostém tlaku zemin s organickou příměsí stabilizovaných cementem [127]. Příčinou je opět vytváření pevných komplexních sloučenin obsahujících ionty vápníku (Ca^{2+}), které pak nejsou k dispozici pro tvorbu CSH gelu při tuhnutí a tvrdnutí cementu.

Na obrázku 33 je prezentován výsledek závislosti pevnosti v prostém tlaku písků s organickou příměsí stabilizovaných 10 % portlandského cementu po 7 dnech zrání, kdy nebyla zjištěna žádná korelace mezi pevností v prostém tlaku a obsa-

8. Návrh úpravy zemin

Parametry zemin určených k úpravě se stanovují laboratorními zkouškami prováděnými obvykle v rámci geotechnického průzkumu (především v rámci průzkumných prací pro liniové stavby). Orientační průkazní zkoušky úpravy zemin se v případě liniových staveb provádí již v etapě podrobného geotechnického průzkumu, aby bylo možno určit materiálové požadavky stavby [247].

V ostatních případech se návrh pro úpravu zemin provádí obvykle v etapě přípravných prací s cílem optimalizovat využití vytěžených zemin na stavbě.

8.1 Cíl úpravy

Cíle úpravy zemin jsou popsány v ČSN EN 16907-4 a rozlišují se na cíle pro zlepšení zemin a cíle pro stabilizaci zemin.

Cílem zlepšení zemin ve smyslu ČSN EN 16907-4 je umožnit, aby zemina splňovala jednu nebo více následujících vlastností:

- zpracovatelnost běžnou technikou pro zemní práce;
- dostatečné zhutnění v uložené vrstvě;
- možnost pojezdu vozidel a vytvoření pracovní plochy pro nadložní vrstvu;
- příprava materiálu pro následnou úpravu.

Cílem stabilizace zemin dle ČSN EN 16907-4 je umožnit, aby zemina splnila jednu nebo více následujících schopností:

- odolávat svislému, vodorovnému nebo šikmému statickému zatížení;
- odolávat dynamickému zatížení;
- odolávat kontaktu s vodou;
- odolávat účinkům mrazu.

8.2 Návrh dávkování pojiva a jeho ověření

Pro návrh úpravy zemin dle předpisů v České republice je nutno určit základní parametry zemin, kterými jsou:

- zatřídění dle ČSN 73 6133 – Příloha A;
- stanovení Atterbergových mezí (mez tekutosti, mez plasticity, index plasticity);
- stanovení přirozené vlhkosti;
- stanovení maximální suché objemové hmotnosti a optimální vlhkosti dle zkoušky Proctor Standard;
- stanovení poměru únosnosti CBR bez saturace a po saturaci neupravené zeminy;
- IBI neupravené zeminy.

Podrobný návrh úpravy se stanovuje v rámci orientačních průkazních zkoušek v etapě podrobného geotechnického průzkumu. V průběhu realizace stavby, obvykle před zahájením stavebních prací v daném úseku se provádí podrobné

ověření výsledku orientační průkazní zkoušky, a to s ohledem na druh použitého pojiva a technologii provádění [247].

U zemin určených k úpravě zhotovitel ověřuje a posuzuje shodu s geotechnickým průzkumem:

- vlhkost zeminy před dávkováním pojiva a směsi po dávkování pojiva (do 90 minut od přidání pojiva),
- zrnitost zeminy před dávkováním pojiva,
- číslo plasticity před dávkováním pojiva,
- zhutnitelnost podle zkoušky Proctor standard po smísení s pojivem,
- dávkování pojiva: (Stanovení dávkování pojiva se provádí pro 3 zvolené vlhkosti v přirozeném stavu a pro každou zvolenou vlhkost a tři různé dávky pojiva se na zemině provede zkouška CBR. Výsledkem je stanovení závislosti dávkování pojiva na vlhkosti zeminy a hodnotě CBR). Ze zjištěných závislostí se volí takové dávkování pojiva, které odpovídá zjištěné přirozené vlhkosti zeminy před úpravou a současně dosažená hodnota CBR nejbližší přesahuje požadovanou hodnotu (CBR).
- bobtnavost po dávkování pojiva,
- okamžitý poměr únosnosti (IBI).

V aktivní zóně se prokazuje:

- objemová stálost upravené zeminy zkouškou lineárního bobtnání postupem dle TP 93 [236], resp. ČSN EN 13286-47 [208],
- laboratorní stanovení namrzavosti upravených zemin v aktivní zóně se provádí podle ČSN 72 1191 [234] (pouze pokud tento požadavek vyplývá z TP 170).

Vedle výše uvedených parametrů se pro návrh úpravy zemin stanovuje okamžitý poměr únosnosti (IBI) směsi zemin a pojiva v případě použití upravených zemin do násypu a/nebo poměr únosnosti CBR směsi zeminy a pojiva v případě jejich použití do aktivní zóny.

Laboratorní stanovení okamžitého poměru únosnosti (IBI) a poměru únosnosti CBR se provádí podle ČSN EN 13286-47 s tím, že pojem směs se nahradí pojmem zemina (sypanina) u mechanické úpravy, a pojmem směsi zeminy s pojivem nebo kombinací pojiv u zeminy upravené příměsí pojiva.

Pro násypové těleso jsou požadavky pro hodnoty IBI a CBR upravené zeminy uvedeny v tabulce 19 (viz rovněž ČSN 73 6133, [238]).

9. Účinky pojiv na úpravy zemin

9.1 Vápno

Úpravou jemnozrnných zemin vápnem dochází k okamžitým a dlouhodobým změnám jejich vlastností. Při reakci jílových minerálů s vápnem dochází ke kationtové výměně, kdy volné ionty Ca^{2+} nahrazují v krystalové struktuře jílu ionty sodíku (Na^+) a draslíku (K^+). Intenzita reakcí závisí i na kationtech sorbovaných na povrchu jílových minerálů. Při tomto procesu dochází ke změně struktury výsledného materiálu z vrstevnaté, která je typická pro jílové minerály, na zrnitou, která umožňuje flokulaci a aglomeraci. Výsledný produkt již není plastický jí, ale zrnitý (hrudkovitý) materiál.

Z dlouhodobého hlediska dochází k postupné krystalizaci gelu vzniklého reakcí vápna s jílovými minerály, až vznikne pevný stmelovaný materiál [161]. Hydroxylové ionty (OH^-) uvolněné působením vápna vytvoří prostředí s takovým pH, které umožní rozpouštění SiO_2 a Al_2O_3 z jílových minerálů a pucolánovou reakci. Oxidy SiO_2 a Al_2O_3 v jílových minerálech reagují s vodou a vápnem, a přitom vznikají gely hydrátů vápničku, křemíku a hliníku. Tyto gely postupně krystalizují a spojují strukturu navzájem. Výsledkem této reakce je stmelovaný materiál, který se po ztuhnutí stává pevnější než původní zemina.

9.1.1 Okamžité účinky úpravy zemin vápnem

Mezi okamžité účinky při úpravě zemin vápnem patří:

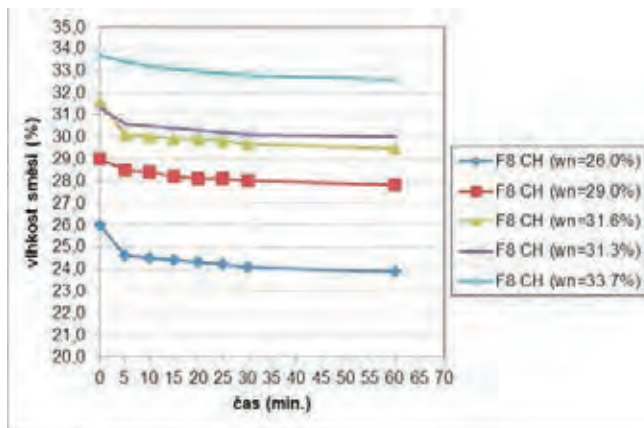
- vysoušení zeminy;
- flokulace jílovitých částic, která ovlivňuje jejich fyzikálně-mechanické vlastnosti.

Vysoušení zeminy, tj. snížení okamžité vlhkosti zeminy, probíhá kombinací následujících procesů

- hydratace nehašeného vápna – $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + 65 \text{ kJmol}^{-1}$;
- vypařování části vody působením tepla, které se uvolňuje při exotermní reakci;
- přidáním suché hmoty (vápna) se snižuje poměr hmotnosti vody k hmotnosti pevných částic v zemině.

Podíl jednotlivých procesů je zhruba stejný.

Vysoušení zeminy je možné pouze v případě úpravy nehašeným vápnem. Po přidání páleného nehašeného vápna do vlhké zeminy se během několika sekund až prvních minut intenzivně spotřebovává voda v zemině za silného vývoje tepla a vzniku suspenze hydroxidu vápenatého v jeho nasyceném roztoku. Velikost částic hydroxidu vápenatého závisí na podmínkách hašení, obvykle 0,02-50 μm [54]. Při hydrataci nehašeného vápna na hydroxid vápenatý se spotřebuje cca 32 % hmotnosti nehašeného vápna a dochází ke zvětšení objemu [5].



Obr. 41 Pokles vlhkosti směsi jílu s vysokou plasticitou s různou počáteční vlhkostí po zamísení s vápnem a zrání v délce 60 minut při teplotě 23 °C (upraveno dle Pastyrkové et al. 2016, [145])

Jedno procento CaO sníží vlhkost zeminy o 1-2 % v závislosti na kvalitě promísení po jedné hodině od zamíchání CaO do zeminy bez ohledu na počáteční vlhkost zeminy (obrázek 41).

Rychlost hydratace se zvyšuje se snižující se velikostí krystalků CaO . Rychlost hydratace dále ovlivňuje teplota, čistota vody a chemické složení vápna. Přítomnost Al_2O_3 a SiO_2 ve vápně hydrataci urychluje, zatímco podíl Fe_2O_3 hydrataci zpomaluje.

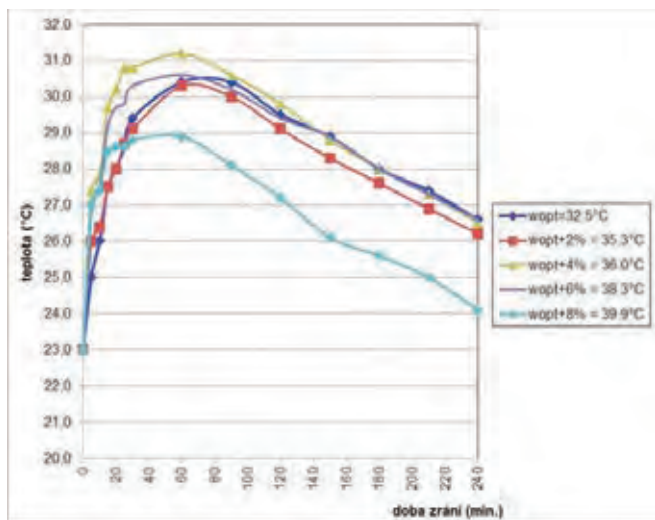
Vývoj teploty vzorku po smísení s vápnem na čase je demonstrován na úpravě terciérních jílu charakteru hlín s vysokou až velmi vysokou plasticitou (MH, MV) z Plané nad Lužnicí 2,5 % vápna. Teplota byla měřena u směsi s vlhkostí optimální dle zkoušky Proctor Standard (w_{opt}) a s vlhkostmi vyššími - $w_{opt} + 2\%$, $w_{opt} + 4\%$, $w_{opt} + 6\%$ a $w_{opt} + 8\%$ [31].

Při zkouškách vzorků z lokality Planá byla vlhkost upravena (viz tabulka 24) a poté byly vzorky smíchány s 2,5 % vápna. V průběhu zrání po 1, 2 a 4 hodinách byla měřena teplota vzorků. Výsledky jsou názorně prezentovány na obrázku 42.

Tabulka 24 Vlhkost vzorků zeminy s vysokou plasticitou z lokality Planá (MH) před úpravou vápnem

Doba zrání	Vlhkost před úpravou (%)				
	w_{opt}	$w_{opt} + 2\%$	$w_{opt} + 4\%$	$w_{opt} + 6\%$	$w_{opt} + 8\%$
1 hodina	32,7	34,7	36,0	37,7	41,4
2 hodiny	33,2	34,0	36,6	37,7	40,1
4 hodiny	32,5	35,3	36,0	38,3	39,9

Teplota směsi s nejvyšší vlhkostí ($w = 39,9\%$) dosáhla svého maxima po 60 minutách zrání (cca 29 °C). Tato teplota však byla o 1-2 °C nižší ve srovnání s teplotou ostatních směsí.



Obr. 42 Vývoj teploty směsi hlíny s vysokou plasticitou (MH) z lokality Planá o různé vlhkosti s 2,5 % vápna v čase (upraveno dle Duláka et al. 2016, [31])

Hydratační teplo pravděpodobně nebylo schopno ohřát takové množství vody v zemině (8 % nad optimální vlhkosti), aby směs zeminy s vápnem dosáhla vyšších teplot. Po 240 minutách zrání dosáhla tato směs laboratorní teploty na rozdíl od ostatních směsí, jejichž teploty se pohybovaly v rozmezí 26-27 °C.

Vzniklý hydroxid vápenatý se ve vodě disociuje na vápenaté a hydroxylové ionty. Hydroxylové ionty zvyšují pH vody v pórech a v zemině se vytváří alkalické prostředí. Vápenaté ionty se vyměňují s ionty vázanými na povrchu jílových zrn a způsobují jejich flokulaci.

V případě použití hašeného vápna je okamžitý účinek spojený se snížením vlhkosti podstatně nižší. Navíc musí být hašené vápno dávkováno v suchém stavu. Obvykle dojde ke snížení vlhkosti o 0,3 % v případě dávkování 1 % hašeného vápna, resp. 0,3 % na množství dávkovaného vápna [259].

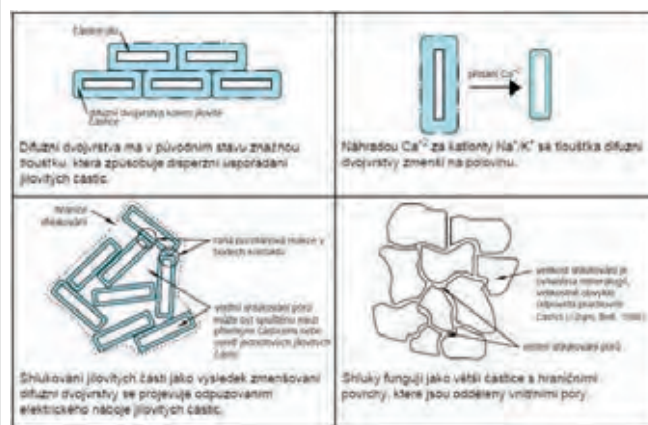
V případě použití vápenného mléka dochází naopak ke zvýšení vlhkosti zemin určených pro úpravu. Proto je vápenné mléko vhodné pro úpravu zemin na suché straně Proctorovy křivky [259].

Flokulace

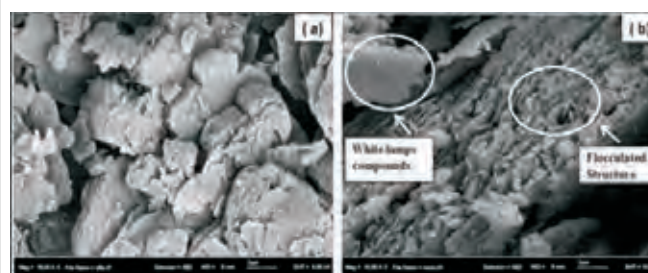
Povrch pevné látky v roztoku elektrolytu tvoří elektrická dvojvrstva, která je složená ze dvou opačně nabitých vrstev. Záporně nabitý povrch pevné látky tvoří tzv. vnitřní vrstva, ve které jsou elektrostatickými a adsorpčními silami přitahovány ionty převážně opačného znaménka. Tyto ionty neutralizují náboj povrchu (vnější vrstvu). Ionty vnější vrstvy přitahují množství dipólů vody a vytvářejí na povrchu pevné látky difuzní vrstvu vody (tzv. hydratační obal). Ionty s menším poloměrem mají větší hydratační obal, ale jsou slaběji adsorbovány (např. Na^+ , K^+ , Li^+ apod.). Proto jsou snadněji nahrazovány vápenatými ionty z vodného roztoku.

Uvedené reakce způsobí snížení tloušťky elektrické dvojvrstvy a částečnou změnu hustoty elektrických nábojů na povrchu jílových částic, které se navzájem přitahují za vniku velmi slabých vazeb. Tento proces shlukování jílovitých částic se nazývá flokulace. Flokulací jílovitých částic vznikají siltové agregáty a zároveň dochází ke zvyšování mikroporozity a změně mezoporozity uvnitř flokulujících agregátů. Tyto změny způsobují snižování měrného (efektivního) povrchu jílových minerálů na kontaktu s vodou v mezizrném prostoru, což má za následek změnu fyzikálních vlastností směsi jílu a vápna [5].

Výměna iontů probíhá při pH od 7,0-8,5 až do pH = 12,0-12,5 a lze ji očekávat u všech jemnozrnných zemin [32]. Intenzita iontových výměnných reakcí roste nejen s rostoucí kationtovou výměnnou kapacitou (CEC) minerálních zrn v zemině, ale i s rostoucím množstvím vápna. Vlivem vápna se snižuje okamžitá aktivita jílu. Reakce probíhají po dobu 24-72 hodin [161].



Obr. 43 Schéma ilustrující vliv raných reakcí mezi vápnem a jílovitými částicemi při flokulaci a změně struktury zeminy (upraveno dle Beethama et al. 2013, [5])



Obr. 44 Flokulace vápnem upraveného kaolinitického jílu (Saeeda et al. 2015, [164])

Proces flokulace modifikuje následující fyzikálně-mechanické vlastnosti zemin:

- vlhkost na mezi plasticity;
- optimální vlhkost a maximální suchou objemovou hmotnost;
- okamžitý poměr únosnosti;
- bobtnání.

10. Vlastnosti upravených zemin

10.1 Klasifikace upravených zemin dle ČSN EN 16907-4

Evropská norma ČSN EN 16907-4 klasifikuje směsi zeminy a pojiva do kategorií podle vlastností směsí. Na základě kategorií lze posléze navrhnout finální aplikaci dané směsi.

Zeminy zlepšené

Zlepšené zeminy musí splňovat jednu z kategorií IBI, MCV nebo míry zhutnění D, které jsou uvedené v tabulkách 1 až 3 EN 16907-4 [224].

Podle hodnoty okamžitého poměru únosnosti (IBI) stanoveného dle ČSN EN 13286-47 lze zlepšené zeminy zařadit do kategorií IPI₅, IPI₇, IPI₁₀, IPI₁₅, IPI₂₀, IPI₂₅, případně deklarovat vlastní hodnotu (IPI_{DV}).

Dle okamžitého stavu vlhkosti (MCV – *moisture condition value*) zlepšené zeminy spadají do kategorie MCV_{8/12} nebo lze hodnotu MCV deklarovat (MCV_{DV}).

Podle míry zhutnění (D) spadají zlepšené zeminy do kategorií DC_{95,SPO}, DC_{97,SPO} (kategorie vztažené ke zkoušce Proctor Standard) a DC_{95,MPO}, DC_{97,MPO} (kategorie vztažené ke zkoušce Proctor modifikovaný).

Poznámka

Hutnicí práce při zkoušce Proctor Standard odpovídá 0,6 MJ/m³, hutnicí práce při zkoušce Proctor modifikovaný pak 2,7 MJ/m³.

Pokud je požadováno, lze směs zeminy a pojiva pro zlepšení zemin hodnotit z hlediska maximálního obsahu vzduchových pórů. Podobně je tomu i v případě náchylnosti k bobtnání, které se stanovuje zkouškou lineárního nebo objemového bobtnání. Tato zkouška se požaduje v případě nutnosti ověření přítomnosti zbytků expanzivních jíílů ve směsi nebo v případě přítomnosti jiných škodlivých látek, kterými jsou například sírany [224].

Zeminy stabilizované

U stabilizovaných zemin se stanovují kategorie čerstvé směsi a kategorie vyzrálé směsi na základě laboratorních zkoušek.

Požadavky na čerstvou směs zahrnují:

- vlhkost - kategorie W_{0,9}, W_{0,95}, W_{1,0}, W_{1,05}, přičemž koeficienty 0,9 až 1,05 odpovídají násobku vlhkosti optimální, kterou má směs splňovat (viz kap. 8.3.1.1 ČSN EN 16907-4). Při stanovení kategorie vlhkosti je nutné vždy uvést postup hutnění (Proctor Standard nebo Proctor modifikovaný).

- pulverizace (rozmělnění) (kategorie P₃₀ až P₆₀);
- IBI (kategorie IPI₁₀, IPI₁₅, IPI₂₀, IPI₂₅, IPI₃₀, IPI₄₀ a IPI₅₀);
- MCV (moisture condition value - viz ČSN EN 13286-46)
 - kategorie MCV_{6/10} až MCV_{9/13} a deklarovaná (MCV_{DV});
- doba zpracování (stanovuje se dle ČSN EN 13286-45 nebo jinými postupy vycházejícími z místní praxe nebo na základě informací od výrobce pojiva).

Klasifikace stabilizovaných zemin na základě výsledků laboratorních zkoušek zahrnuje zkoušky CBR, pevnosti v prostém tlaku, modulu pružnosti a tahové pevnosti, bobtnání, odolnosti proti vodě a mrazu [224].

V případě kalifornského poměru únosnosti (CBR) jsou vzorky po určité době zrání (obvykle 1 hodina nebo 3 dny) syceny minimálně 96 hodin nebo déle. Na základě výsledků zkoušek CBR po zrání a kapilárním sycení lze stabilizované zeminy rozdělit do kategorií CBR₅ až CBR₅₀.

Pevnost v tlaku se stanovuje jako průměr výsledků zkoušky na třech vzorcích dle ČSN EN 13286-53 [209]. Stáří vzorku a doba zrání, včetně sycení vzorku, vycházejí z konkrétních požadavků. Zkouškou pevnosti v prostém tlaku lze stabilizované zeminy zařadit do kategorií C_{0,5/0,6} až C_{5/6}. Poměr v indexu (např. 4/5) odpovídá výsledkům zkoušek vzorků se štíhlostním poměrem 2 lomeno výsledek zkoušky vzorku se štíhlostním poměrem 1.

Klasifikace využívající stanovení modulu pružnosti a pevnost v tahu jsou podrobně popsány v kap. 8.3.2.4 ČSN EN 16907-4, včetně nomogramu pro vyhodnocení (obrázek 1 v normě). Tyto zkoušky se pro hodnocení stabilizovaných zemin v České republice nepoužívají [224].

Klasifikace podle odolnosti proti vodě vychází ze stanovení pevnosti stabilizovaných zemin před a po ponoření do vody. Poměr je stanoven jako pevnost po ponoření ve vodě vůči původní pevnosti (poměr $I = R_i/R$, kde R_i je pevnost v prostém tlaku po ponoření do vody). Doba ponoření ve vodě se stanovuje s ohledem na konkrétní projekt. Na základě výsledků této zkoušky lze stabilizované zeminy zařadit do kategorií I_{0,6}, I_{0,7}, I_{0,8} a deklarovanou hodnotu [224].

Pokud je požadováno, stanovuje se lineární bobtnání dle ČSN EN 13286-47 na 3 saturovaných CBR vzorcích stabilizované zeminy. Bobtnání se musí zkoušet nejméně po dobu 28 dní nebo po delší dobu, dokud bobtnání neskončí. Stanovení kategorií je uvedeno v tabulce 35 (odpovídá tabulce 11 ČSN EN 16907-4).

Tabulka 35 Kategorie lineárního bobtnání stabilizovaných zemín (viz tab. 11 ČSN EN 16907-4)

Průměrné maximální bobtnání vzorků	Maximální bobtnání jednotlivého vzorku	Kategorie
5 mm	10 mm	LS ₅
1 mm	2 mm	LS ₁
2 %	3 %	LS _{2%}
deklarovaná hodnota	deklarovaná hodnota	LS _{DV}

V případě hodnocení stabilizovaných zemín na základě objemového bobtnání nesmí být překročena hodnota $G_V = 5 \%$. Pokud se hodnota objemového bobtnání pohybuje v rozmezí 5-10 % je směs obecně nepoužitelná, avšak o jejím použití se může rozhodnout na základě experimentálního přístupu a místní zkušenosti.

Pokud je požadováno, lze stanovit pevnost pro přímé pojiždění, která musí být deklarována na základě místních zkušeností. Minimální pevnost v prostém tlaku pro přímé pojiždění nákladní dopravou musí být v rozmezí 1,0 MPa až 1,5 MPa [224].

Hodnocení stabilizovaných zemín z hlediska odolnosti proti mrazu se provádí podle místních požadavků.

V tabulce 36 jsou uvedeny orientační hodnoty změn vlastností zeminy vztažené na 1 % příměsi pojiva [247].

Tabulka 36 Orientační hodnoty změn vlastností zeminy vztažené na 1 % příměsi pojiva

Vlastnost zeminy	Působení	Příměs nehašeného vápna	Příměs cementu
Vlhkost	snižuje	1–2 %	0,2–0,4 %
Maximální objemová hmotnost	snižuje	5–100 kg/m ³	6–20 kg/m ³
Optimální vlhkost	zvysuje	0,5–2 %	beze změny
Poměr únosnosti CBR na vzorku zhutněném při zkušební vlhkosti	zvysuje	5–50 % CBR	5–15 % CBR
Poměr únosnosti CBR na vzorku po zrání a následné saturaci	zvysuje	5–50 % CBR	10–50 % CBR

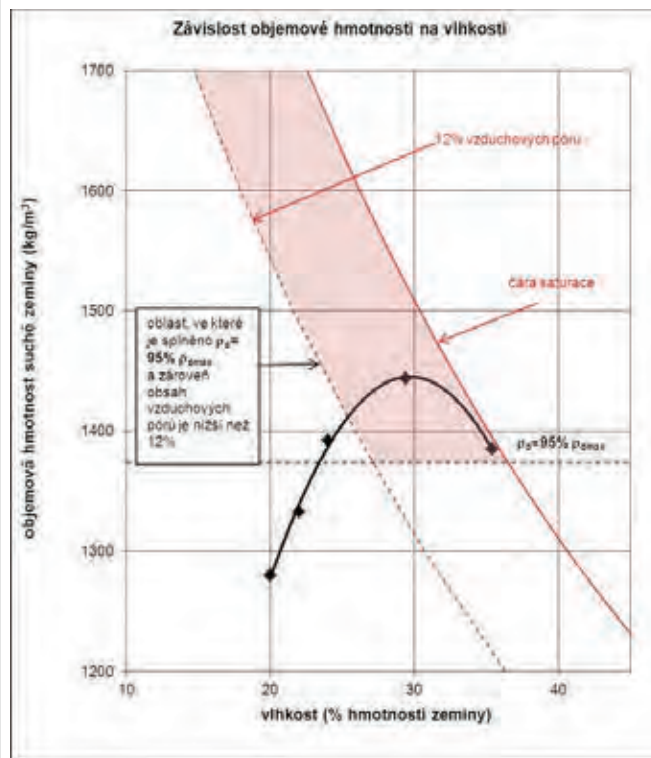
10.2 Vlhkost

Většina pojiv snižuje vlhkost původní zeminy (viz kap. 8.3 a 9.1).

Vlhkost upravené zeminy se má pohybovat v intervalu vlhkosti, kdy je možno tuto zeminu zhutnit na požadovanou míru zhutnění. Je potřeba vycházet z Proctorovy křivky po úpravě. Obecně platí zásada, že se vlhkost upravené zeminy bezprostředně před hutněním nemá lišit od vlhkosti optimální určené Proctorovou standardní zkouškou provedenou na vzorku upravené zeminy o více než jsou meze vlhkostí odpovídající požadované míře zhutnění. Přitom však musí být spl-

něn požadavek ČSN 72 1006, že v zemině nesmí být po zhutnění více než 12 % vzduchových pórů [247].

V případě úpravy „suchých“ zemín, tj. zemín, u kterých je vlhkost nižší než vlhkost odpovídající 95% míře zhutnění na suché straně Proctorovy křivky, pojiva je nutno v rámci průkazných zkoušek ověřit spotřebu pojiva pro úpravu, aby nedocházelo k jeho předávkování, což může v případě vápna nebo pojiv s vysokým obsahem vápna ve svém důsledku vést ke zvětšování objemu a vzniku deformací konstrukce. Proto se doporučuje posoudit, jak zvýšit obsah vody v zemině, aby proběhla hydratace veškerého pojiva.



Obr. 100 Závislost objemové hmotnosti suché zeminy na vlhkosti zeminy s vyznačením obsahu vzduchových pórů

Úprava obsahu vody v zemině určené pro úpravu se řídí čl. 9.6 ČSN EN 16907-4. Pokud je materiál určený k úpravě suchý, je nutné pro zajištění hydratace pojiva přidat při úpravě vodu. Na druhou stranu v případě převlhčených materiálů je nutné je před stabilizací vysušit buď na vzduchu, nebo před stabilizací zlepšit s použitím pojiva. Pro stanovení optimálního dávkování vody do směsi je nutné, aby se vlhkost směsi blížila vlhkosti optimální. Je lépe upravovat zeminy na vlhké straně Proctorovy křivky, než na straně suché.

10.3 Objemová hmotnost

Maximální suchá objemová hmotnost se po přidání pojiva snižuje (viz tab. 36 a kap. 9.1). Důvodem je nižší objemová hmotnost vápna a cementu než zemín, do kterých se pojiva míchají. Objemová hmotnost nehašeného vápna se pohybuje podle teploty výpalu a pórovitosti vápna v rozmezí 1 200 kgm⁻³ (výpal při 900 °C) - 1 700 kgm⁻³ (výpal při

11. Upravené zeminy v zemních pracích

11.1 Obecné požadavky

Obecné požadavky na provádění úpravy zemin jsou shrnuty v TP 94 [247].

Při provádění mechanické úpravy zeminy v násypu se obvykle nejprve navází a rozprostírá písčité sypanina, pak jemnozrnná upravovaná zemina. Pokud se upravuje ulehlá jemnozrnná zemina v podloží násypu nebo aktivní zóny zářezu, je nutno posoudit, zda je nezbytné její nakypření frézou před navezením vrstvy hrubozrnné zeminy určené k mechanické úpravě.

Sypanina k mechanické úpravě se navází, rozprostírá, srovnává a zhutňuje podle platných technologických pravidel pro zeminy. K promísení lze použít vhodné prostředky ověřené např. zhutňovací zkouškou, zaměřenou na hloubku a kvalitu promísení. Vyšší vlhkost lze snížit například opakovaním mísení [247].

V případě přirozené vlhkosti upravované zeminy nižší, než je vlhkost přípustná se doporučuje úprava vlhkosti vodou nebo přidávkem vápenného mléka. Zvlhčování zeminy je nutno provádět kropicím vozem průběžně [247].

Účinnost mísících mechanismů (rovnoměrnost promísení) při mechanické úpravě zemin se ověřuje optickým posouzením ve vykopané sondě a zkouškou zrnitosti.

Úprava zemin textilními vlákny zahrnuje tyto činnosti:

- příprava pracovního úseku;
- položení vláken (ruční pokládka) před frézou v množství stanoveném průkaznými zkouškami, včetně zkoušky poloprovozní;
- mísení, zpravidla dvěma jezdci zemní frézy;
- úprava vlhkosti, případně domísení vlhké směsi s pojivem;
- hutnění, urovnání povrchu a dohutnění.

Úprava zemin příměsí pojiva obvykle zahrnuje tyto činnosti:

- ověření vlhkosti zemin připravených k úpravě před zahájením prací;
- příprava (urovnání) pracovního úseku;
- navezení a rozprostření, popř. rozrytí, a srovnání zeminy mechanismy;
- nadávkování pojiva v závislosti na zjištěné aktuální vlhkosti;
- mísení zeminy s pojivem, nebo pojivy;
- ověření hrudkovitosti;
- kontrola rovnoměrnosti promísení;
- zhutnění směsi a srovnání povrchu úpravy.

Pojivo se dávkuje pomocí dávkovačů. Množství dávkovaného pojiva musí být prokázáno v závislosti na vlhkosti laboratorními zkouškami. Dávkovače musí být vybaveny systémem, který je schopen zabezpečit rovnoměrné rozprostření pojiva na povrch vrstvy, a to s přesností $\pm 10\%$ [247].

Pojivo lze dávkovat i v místě těžby, popř. na dočasné depozit. První předběžné promísení zeminy a pojiva provádějí mechanismy při těžbě a při rozprostírání zeminy.

Pro hutnění jsou vhodné těžké vibrační válce s hladkým nebo ježkovým běhounem. Dosažená míra zhutnění musí odpovídat požadavkům projektové dokumentace nebo ČSN 72 1006 [231].

Požadovaná míra zhutnění musí být dosažena v celé tloušťce zhutňované vrstvy. Sestava zhutňovacích mechanismů musí být ověřena zhutňovací zkouškou podle ČSN 72 1006. Při zhutňovací zkoušce se měří hloubka promísení k ověření stejnoměrnosti promísení a účinnosti mísících mechanismů [247].

11.2 Úpravy podloží násypů

Před úpravou zeminy v podloží násypu musí zhotovitel zajistit odstranění veškeré vegetace a kulturní vrstvy půdy. V odvodněných případech se nemusí vegetace v podloží násypu odstraňovat (viz ČSN 73 6133). Povrch upravovaného podloží je nutno vyspádovat a odvodnit podle dokumentace stavby [238].

Nesplňuje-li podloží násypu parametry ČSN 73 6133 a bude-li zvolena technologie úpravy zemin, je nutno posoudit způsob úpravy a množství případného pojiva stanovit zkouškami.

Úprava zemin v podloží násypu se provádí obvykle v jedné vrstvě o tloušťce odpovídající účinnosti navržené sestavy mechanismů. Zhotovitel musí prokázat, že předepsané zhutnění bude dosaženo v požadované tloušťce prováděné vrstvy. Proto se zhutňovací zkouška doplňuje měřením hloubky promísení a zkouškou míry zhutnění na vzorku odebraném z požadované hloubky [247].

Úprava zemin v podloží násypů musí být odůvodněná. Obvykle se upravuje podloží nízkých násypů (do 3 m). V případě násypů vyšších je nutno posoudit, zda úprava podloží nebude kontraproduktivní s ohledem na konsolidaci podloží. Zeminy upravené běžnými pojivy jsou technicky nepropustné a neumožňují odvod vody uvolňované rozptylováním porových tlaků v jílovitých zeminách v podloží.

U vyšších násypů (nad 3 m) se úprava, resp. zlepšení zemin pojivy doporučuje pouze za účelem zlepšení vlastností

zemín z hlediska jejich možného pojezdění stavební technikou.

Postup úpravy zemín je popsán v kapitole 11.1. Příklady úpravy zemín v podloží násypů jsou uvedeny na obrázcích 158 a 159.



Obr. 158 Silnice I/48 Tošanovice-Žukov – úprava zemín (deluviální jíly CI) vápnem v podloží svahových stupňů nového násypu na svahu (05/2005)



Obr. 159 Dálnice D1 Přerov – Lipník nad Bečvou – úprava zemín (spraše CL) v podloží nízkého násypu (2 m) vápnem (05/2016)

11.3 Úpravy zemín v násypech

Těleso násypu lze budovat pouze na podloží násypu, které splňuje požadavky ČSN 73 6133 a TKP 4 ([238], [245]).

Násypové těleso s použitím upravené zeminy může být budováno jako homogenní (celý násyp nebo jeho část je z upravené zeminy), nebo jako vrstevnaté v kombinaci se zemínami neupravovanými. Postupuje se dle schválené projektové dokumentace. V případě vrstevnatého násypu musí neupravené zeminy splňovat vlastnosti dle ČSN 73 6133, a to ať již jsou hodnoceny jako poddajné nebo ztuzující [238].

Násypové těleso z upravené zeminy se buduje po vrstvách. Úprava zemín probíhá buď mimo vlastní násyp, kdy se dováží již upravená zemina s pojivem a v tělese násypu se pouze roz-



Obr. 160 Silnice I/48 Tošanovice-Žukov – úprava zemín (deluviální jíly CI) na první vrstvě násypu (05/2005)



Obr. 161 Silnice I/44 Červenohorské sedlo - sever – úprava zemín (deluviální jíly s úlomky hornin, CI, CG) vápnem v násypech pro rozšíření komunikace (06/2008)

prostírá a hutní, nebo je do násypu dovážena zemina neupravená, která se rozprostřena urovňuje. Poté se nadávkuje pojivo nebo směs pojiv, zemina s pojivem se promísí a zhutní.



Obr. 162 Terénní úpravy v místě automobilky Hyundai v Nošovicích – úprava silně převlhčených zemín (sprašové hlíny CI) vápnem v násypu pod budoucí výrobní halou (01/2007)

Soil treatment - English Resume

In the field of earthworks in last decades the new range streamered at soil properties treatment has been developed. Technological development has always surpassed the standard basis which afterwards had to adopt itself to practice technologies and experiences.

In 2018 a set of earthworks standards (EN 16907) was adopted also including the standard EN 16907-4 Earthworks – Part 4 Soil treatment with lime and/or hydraulic binders, the aim of which was to try to unify the methods of soil treatment with binders from the European practice point of view.

In the following chapters all substantial aspects connected with soil treatments are described.

The chapter 2 deals in details with the history of the appurtenant technology. The chapter 3 deals with terminology which has passed a very headlong development and tries to disclose differences among commonly used terms as soil treatment, improvement and stabilization. In the chapter 4 the existing standard basis in the field of soil treatment is shown.

The chapter 5 describes the mechanical treatment and stabilization. The chapter 6 deals with binders used for soil treatment and with appropriate requirements. The chapter 7 deals with soils and their properties influencing the binder selection and the process of treatment.

In the chapter 8 the design of soil treatment with various types of binders has been described. The chapter 9 follows the effects of binders on soils under treatment properties. The most comprehensive is the description of lime and cement influence on soil properties after treatment, because these binders show the longest history and their effects have been studied in detail.

The physical and mechanical properties of soils treated with binders are shown in the chapter 10. The chapter 11 deals with treated soils in earthworks including less frequent applications such as reinforced earthworks structures with treated soils or the use of treated soils in water engineering structures. The chapter 12 describes the set-up of soil treatment technology, the climatic restrictions by soil treatment, initial and control tests, health and safety during working with binders. In the chapter 13 a bit of author's thinking on the soil treatment in earthworks future can be found.

The reading is preferentially streamered at Czech (and also at Slovak) readers. Data shown supplying the reading was gained from practical soil treatment results based on laboratory and in-situ tests in which the author and the SG Geotechnika company were engaged in the past.

Terminology

The terminology in the field of soil treatment reflects its development and that, in several stages, was headlong. In the European standard EN 16907-4 definitions of the following terms of the soil treatment field are mentioned.

Soil treatment is a general term to indicate a process aimed at modifying a given soil so that the mixture resulting from the addition of binder or a combination of binders to a soil can fulfil the purpose intended. Treatment encompasses both improvement and stabilization.

Soil improvement is an operation which improves the physical properties of a soil (short term), or more generally a material - such as water content, plasticity, water and frost susceptibility, compactability and swelling potential - by the addition of a binder. The quantity of binder added may not be sufficient to induce significant permanent properties.

The purpose is to enable the soil to provide one or more of the following:

- the ability to be handled by conventional earthmoving equipment;
- the ability to be satisfactorily compacted in layers;
- the ability to be trafficked and provide a working platform for the superimposed layer;
- the preparation of material for a subsequent treatment.

Soil stabilization is an operation consisting in obtaining an homogeneous mixture of soil with binder(s), and optionally with water, which properly compacted significantly changes (generally in the medium or long term) the characteristics of the soil in a way that renders it stable, particularly with respect to the action of water and frost. It gives a permanent characteristic that can be measured by methods typical of solid materials.

The purpose is to enable the soil to provide one or more of the following:

- the ability to resist to vertical, horizontal or oblique static loads;
- the ability to resist to dynamic loads;
- the ability to resist to contact with water;
- the ability to resist to frost.

As follows from the EN 16907-4 definitions, for the improvement and stabilization differentiation, timing influencing the original soil properties is of an essential sense. For the short-termed results the term improvement is recommended, for the long-termed ones the term stabilization.