

MINISTERSTVO DOPRAVY

Odbor pozemních komunikací



Schváleno MD – OPK č.j. 77/2013-120-TN/1  
ze dne 24.10.2013 s účinností od 1.11.2013.  
Současně se ruší a nahrazují v celém rozsahu TP 94,  
schválené MD – OPK č.j. 30/2013-120-TN/1 z 15.4.2013.

ARCADIS Geotechnika a.s.

2013

## **OBSAH**

<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>3</b>
<b>1.1 Názvosloví</b> .....	<b>3</b>
<b>1.2 Způsobilost k provádění technologie úpravy zemin</b> .....	<b>4</b>
<b>2. POPIS A KVALITA STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 Všeobecně</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2 Zeminy</b> .....	<b>5</b>
<b>2.3 Pojiva</b> .....	<b>8</b>
<b>2.4 Voda</b> .....	<b>9</b>
<b>2.5 Textilní vlákna</b> .....	<b>10</b>
<b>3. ÚČINKY ÚPRAVY ZEMIN</b> .....	<b>10</b>
<b>3.1 Mechanická úprava</b> .....	<b>10</b>
<b>3.2 Úprava pojivy</b> .....	<b>10</b>
<b>4. NÁVRH ÚPRAVY ZEMIN</b> .....	<b>11</b>
<b>5. TECHNOLOGICKÉ POSTUPY PRACÍ</b> .....	<b>13</b>
<b>5.1 Stroje a zařízení pro úpravu zemin</b> .....	<b>14</b>
<b>5.2 Provádění úprav zemin</b> .....	<b>14</b>
<b>5.3 Úprava zemin v podloží násypu</b> .....	<b>15</b>
<b>5.4 Úprava zemin v násypu</b> .....	<b>16</b>
<b>5.5 Úprava zemin v zářezu</b> .....	<b>16</b>
<b>5.6 Úprava zemin v aktivní zóně</b> .....	<b>17</b>
<b>5.7 Klimatická omezení</b> .....	<b>18</b>
<b>6 DODÁVKA, SKLADOVÁNÍ</b> .....	<b>19</b>
<b>6.1 Zeminy</b> .....	<b>19</b>
<b>6.2 Pojiva</b> .....	<b>19</b>

<b>6.3 Upravené zeminy .....</b>	<b>20</b>
<b>7. PRŮKAZNÍ A KONTROLNÍ ZKOUŠKY .....</b>	<b>20</b>
<b>7.1 Průkazní zkoušky .....</b>	<b>20</b>
7.1.1 Zeminy .....	20
7.1.2 Pojiva .....	21
7.1.3 Upravené zeminy .....	21
<b>7.2 Kontrolní zkoušky .....</b>	<b>22</b>
<b>8. ENVIRONMENTÁLNÍ POŽADAVKY .....</b>	<b>25</b>
<b>8.1 Aplikace práškových pojiv .....</b>	<b>25</b>
<b>8.2 Staveniště.....</b>	<b>26</b>
<b>9 BEZPEČNOST PRÁCE A OCHRANA ZDRAVÍ.....</b>	<b>26</b>
<b>10 CITOVANÉ NORMY A PŘEDPISY .....</b>	<b>27</b>
<b>11 PŘÍLOHY (INFORMATIVNÍ) .....</b>	<b>32</b>

Přílohy (informativní)

Příloha 1	Účinky pojiv při úpravě zemin
Příloha 2	Úprava problémových zemin (vysoce plastické jíly, organické zeminy)
Příloha 3	Úprava zemin v agresivním prostředí
Příloha 4	Řešení některých praktických problémů při úpravě zemin
Příloha 5	Stanovení množství pojiva pro úpravu zemin

## 1. ÚVOD

Technické podmínky TP 94 stanovují zásady pro úpravu zemin a jiných materiálů a pro využití upravených zemin v podloží násypů, v tělese násypu, v zářezu a aktivní zóně pozemních komunikací.

Technické podmínky TP 94 popisují materiály uplatňující se při úpravě zemin, věnují se účinkům úpravy, stanovují podmínky návrhu úpravy, technologie provádění a požadavky na průkazní a kontrolní zkoušky.

Technické podmínky TP 94 respektují platné české a evropské normy, zejména ČSN 73 6133, ČSN EN 14 227-10, ČSN EN 14 227-11, ČSN EN 14 227-12, ČSN EN 14 227-13 a ČSN EN 14 227-14, a technické předpisy s tím, že některé články norem upřesňují nebo doplňují.

Aktuální problémy úpravy zemin, ke kterým patří

- úprava “suchých“ zemin před úpravou
- úprava poloskalních hornin.
- problém degradace zemin upravených pojivy v zářezích vlivem sání z podložních zvodnělých vrstev,
- dlouhodobá objemová stálost upravených zemin

jsou proto pouze obecně popsány v textu a s ohledem na problémy na stavbách jsou deklarovány převážně konzervativní postupy přístupu k jejich řešení.

### 1.1 Názvosloví

Základní a odvozené pojmy z oboru silničního stavitelství užití v těchto technických podmínkách jsou uvedeny v ČSN 73 6100, ČSN 73 6133.

Základní pojmy z oboru geotechniky jsou uvedeny v ČSN EN ISO 14 688-1, ČSN EN ISO 14 688-2, ČSN EN 1997-1, ČSN EN 1997-2.

Základní pojmy z oblasti úpravy zemin a přípravy směsí jsou uvedeny v ČSN EN 14 227-10, ČSN EN 14 227-11, ČSN EN 14 227-12, ČSN EN 14 227-13 a ČSN EN 14 227-14.

**Zemina** – přírodní, umělý nebo recyklovaný materiál nebo jakákoliv kombinace těchto materiálů.

**Vápno** – vzdušné nehašené vápno, vzdušné nehašené vápno se sníženou prašností (dle ČSN EN 459-1)

**Struska** – granulovaná nebo peletizovaná vysokopecní struska mletá nebo částečně mletá

**Popílek** – křemičitý nebo vápenatý popílek vznikající při spalování rozemletého uhlí v elektrárnách

**Hydraulická pojiva** – pojiva, která tuhnou po zamísení se zeminou i pod vodou (cement, popílek, vysokopecní struska, hydraulická silniční pojiva, přírodní materiály charakteru tufů).

**Hydraulická silniční pojiva** – hydraulická pojiva splňující požadavky ČSN EN 13282-1 a prEN 13282-2.

**Zemina upravená cementem** – směs vzniklá přidáním cementu a kde je to vhodné, dalších vstupních materiálů do zeminy.

**Zemina upravená vápnem** – směs vzniklá přidáním vápna do zeminy tak, aby mohla splnit dané požadavky.

**Zemina upravená struskou** – směs zeminy, vysokopecní strusky, dalších vstupních materiálů a vody, která tuhne a tvrdne hydraulickou reakcí.

**Zemina upravená hydraulickým silničním pojivem** – směs zeminy, hydraulického silničního pojiva, pokud je to vhodné i dalších vstupních materiálů a vody, která tuhne a tvrdne hydraulickou reakcí.

**Zemina upravená popílkem** – směs zeminy, popílku, případně dalších materiálů a vody, která tuhne a tvrdne hydraulickou reakcí.

**Úprava zeminy** - úprava zeminy za účelem zlepšení zpracovatelnosti a/nebo zlepšení geomechanických vlastností

**Zemina upravená** - zemina upravená mechanicky nebo příměsí pojiva, nebo směsí pojiv.

**Zemina upravená mechanicky** – zemina upravená mísením s jinou, granulometricky odlišnou zeminou

**Zemina upravená příměsí pojiva** - zemina upravená promísením s pojivem nebo směsí pojiv.

**Materiál s pucolánovými vlastnostmi** – materiál, který smícháním s hydroxidem vápenatým  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  nebo oxidem vápenatým  $\text{CaO}$  za přítomnosti vody tuhne a tvrdne a vytváří tak pevnou a trvanlivou směs.

## 1.2 Způsobilost k provádění technologie úpravy zemin

Zemní práce může provádět právnická nebo fyzická osoba, která má oprávnění pro provádění těchto stavebních prací (např. živnostenské listy).

Zhotovitel zemních konstrukcí musí prokázat odbornou způsobilost pro zajištění kvality při jejich provádění podle metodického pokynu SJ-PK čj. 20840/01-120 v platném znění; ([www.pjpk.cz](http://www.pjpk.cz)). Dále se doporučuje zohlednit způsobilost zhotovitele dle norem řady ČSN EN ISO 14 000.

Zhotovitel je povinen zejména prokázat, že disponuje potřebným technicky způsobilým strojním a dalším vybavením pro realizaci projektovaných zemních konstrukcí z upravených zemin.

## **2. POPIS A KVALITA STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ**

### **2.1 Všeobecně**

Zhotovitel musí před zahájením prací doložit objednateli ve smyslu zákona č. 22/97 Sb. ve znění pozdějších předpisů jakost výrobků (pojiv), které hodlá na dané stavbě použít a to:

- a) “Prohlášením o shodě“ vydané výrobcem / dovozcem / zplnomocněným zástupcem v případě stavebních výrobků, na které se vztahuje NV 163/2002 Sb., ve znění NV 312/2005 Sb. a pozdějších předpisů.
- b) “ES prohlášením o shodě“ vydané výrobcem / zplnomocněným zástupcem v případě stavebních výrobků označovaných CE, na které je vydaná harmonizovaná norma nebo evropské technické schválení (ETA) a na které se vztahuje NV 190/2002 Sb. ve znění pozdějších předpisů. ES prohlášení o shodě je v platnosti do 30.6.2013.
- c) “Prohlášením o vlastnostech“ podle čl. 4 nařízení Evropského parlamentu a Rady EU č. 305/2011, kterým se stanoví harmonizované podmínky pro uvádění stavebních výrobků na trh a kterým se zrušuje směrnice Rady 89/106/EHS o stavebních výrobcích, které nabude plné účinnosti od 1.7.2013
- d) “Prohlášení shody“ vydané výrobcem / dovozcem nebo “Certifikát“ vydaný certifikačním orgánem. Oba tyto dokumenty vydané v souladu s platným metodickým pokynem SJ-PK část II/5 v případě “Ostatních výrobků“.

Pokud je to ve zvláštních obchodních podmínkách (ZOP) nebo zvláštních technických kvalitativních podmínkách (ZTKP) požadováno musí být k prohlášením, certifikátům přiloženy příslušné protokoly o zkouškách s jejich výsledky a dále posouzení splnění požadovaných parametrů podle těchto TP, ZDS a případných dalších a / nebo změněných (zejména zvýšených) požadavků podle ZTKP. Není-li tento požadavek v ZDS uveden, může dodatečně předložení protokolu o certifikaci požadovat objednatel / správce stavby i v průběhu stavby.

Zkoušky typu (průkazní zkoušky) směsi (upravené zeminy) musí být provedeny laboratoří se způsobilostí podle metodického pokynu SJ-PK část II/3.

Souhlas s použitím výrobků, stavebních materiálů dává objednatel / správce stavby po předložení příslušných dokladů (požadovaných ve výše uvedených odstavcích) zhotovitelem stavby.

Neschválené výrobky, stavební materiály a směsi nesmí být skladovány ani dočasně složeny na staveništi.

#### *Poznámka*

*Pokud z dokladů k prohlášení o shodě není zřejmé, zda výrobek splňuje všechny vlastnosti požadované v ZDS, musí zhotovitel stavby zajistit doplněk prohlášení o shodě o chybějících informacích nebo předložit protokoly o certifikaci a event. STO.*

### **2.2 Zeminy**

Všechny zeminy lze upravovat. Neexistují žádné fyzikálně-mechanické vlastnosti, které by vylučovaly úpravu zemin, vyjma technických a kapacitních možností technologických

zařízení. Upravují se zeminy, které chceme upravit a jejichž úprava je ekonomická ve srovnání s jinými možnými opatřeními.

Volba způsobu úpravy zemin závisí na jejich fyzikálně-mechanických vlastnostech a jejich chemickém složení.

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.

**Tabulka 1 Použitelnost zemin pro stavbu zemního tělesa a jejich úpravy (viz ČSN 73 6133 tab. 1)**

Podmínky použití	NEPOUŽITELNÉ <sup>1)</sup> 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 <sup>3)</sup>	Podle dalších vlastností se rozhodne, zda lze použít přímo bez úpravy nebo zda se musí upravit	Lze použít přímo bez úpravy
<b>Aktivní zóna</b>	Organické zeminy s obsahem organických látek větším než 6 % <sup>2)</sup> , 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
<b>Násyp</b>		MH, MV, CH, CV,	MG, CG, MS, CS, SM, SC, GM, GC, GP, SP ML, MI, CL, CI	SW, GW, G-F S-F

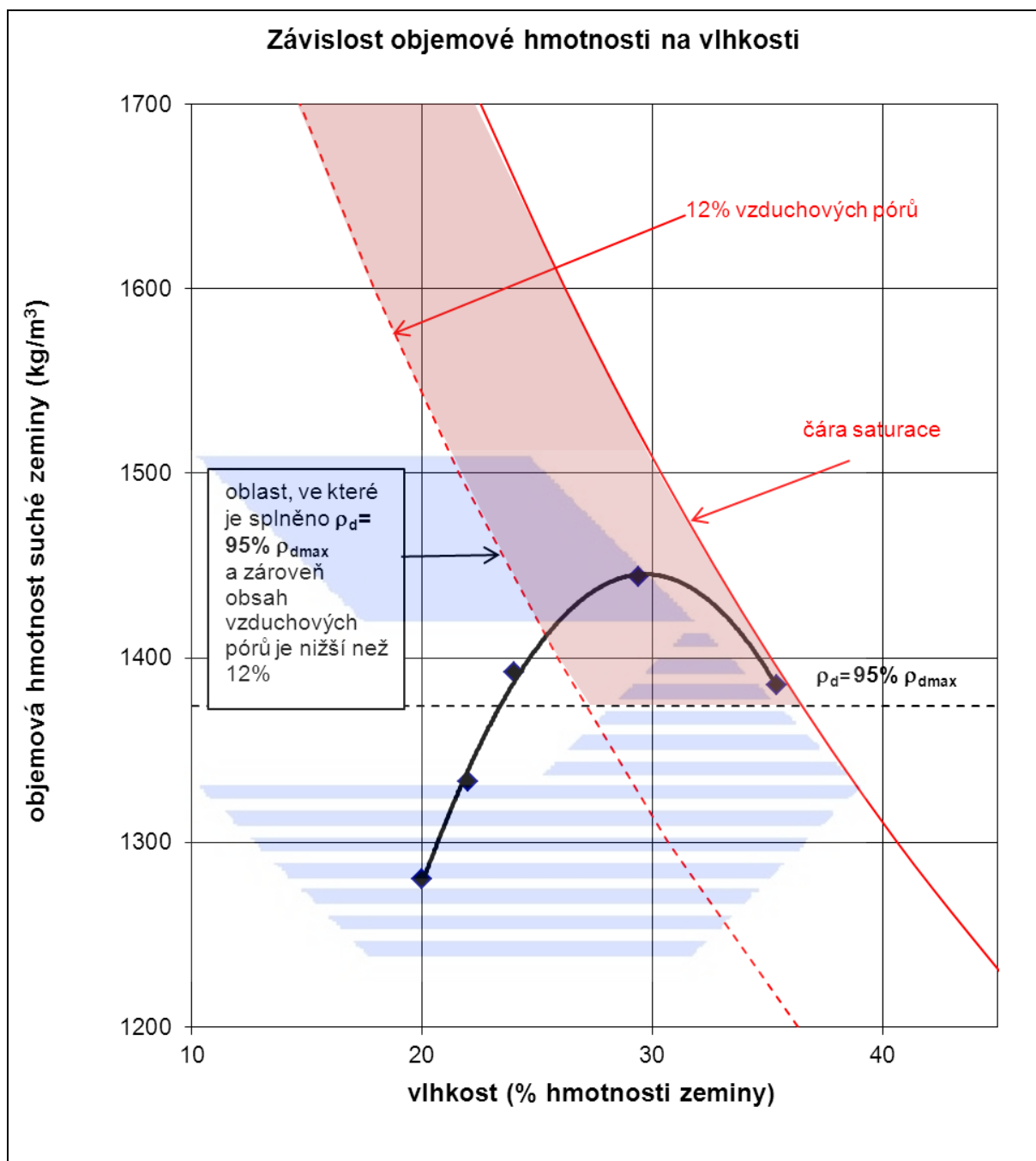
1) Netýká se podloží násypu a svahů zářezu  
2) Obsah 6 % je hranice pro středně organické zeminy dle ČSN EN ISO 14688-2  
3) Neplatí pro poddajnou vrstvu vrstevnatého násypu

Rovněž lze výhodně použít úpravu i pro zeminy stejnozrnné a směsi hrubozrnných a jemnozrnných zemin, zejména při úpravě vlhkosti.

Cílem úpravy zemin je dosáhnout požadovaných návrhových parametrů dle projektové dokumentace.

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 splněn požadavek ČSN 72 1006, že v zemině nesmí být po zhutnění více než 12 % vzduchových pórů (obrázek 1). Při větším množství vzduchových pórů zhutněná zemina může být náchylná k prosedání, nebo může dojít k opožděné reakci pojiva, po dodatečném zvlhčení zeminy. Pro splnění podmínky minimalizace vzduchových pórů v zemině je možné zeminu zhutňovat vyšší hutnicí energií (např. energií Proctor modifikovaný) tak, aby byl uvedený požadavek splněn.

**Obrázek 1** Závislost objemové hmotnosti suché zeminy na vlhkosti zeminy s vyznačením obsahu vzduchových pórů



Kontrola obsahu vzduchových pórů musí být prováděna především při úpravě tzv. suchých zemin tj. zemin, u kterých je vlhkost nižší než vlhkost odpovídající 95 % míře zhutnění na suché straně Proctorovy křivky (a poloskalních hornin (jílovce, slínovce), které se při úpravě rozpadají na zeminy.

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.



## **Vliv chemického složení zemin na jejich úpravu**

Zeminy obsahují různé chemické látky, z nichž některé mohou 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 využívají část přidaného pojiva k neutralizaci a zvyšují tak spotřebu pojiv. Do zemního tělesa pozemních komunikací lze použít zeminy s obsahem organických látek max. 6%).

Chloridy obvykle urychlují zpevňování zemin, zatímco ve stejnou dobu způsobují bobtnání jako vznikající chloro-alumináty. Pro rozhodnutí, zda lze zeminy s jejich obsahem upravovat pojivy je nutno provést posouzení vlastností upravené zeminy z dlouhodobého hlediska.

Fosfáty a dusičnany se mohou dostávat do zemin zejména při intenzivním hnojení polí, tyto látky pak zpomalují hydraulickou reakci.

Sulfáty ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) a sulfidy ( $\text{S}^-$ ) urychlují reakci tuhnutí, ale při větším obsahu síranů a siřičitanů v kombinaci s vodou může docházet k tvorbě etringitu a objemovým změnám. V případě vyšších obsahů sulfátů a sulfidů (1,5% jako  $\text{SO}_4$ ) v zeminách je nutné vždy provést průkazní zkoušky, při kterých se měří rovněž objemové změny. Obsah sulfátů by neměl v zeminách překročit 1,5%.

## **2.3 Pojiva**

Příměs pojiva se udává v procentech suché hmotnosti zeminy.

Pro úpravu zemin lze použít pouze pojiva, která byla použita při průkazních zkouškách v rámci geotechnického průzkumu. V případě, že průkazní zkoušky upravených zemin nebyly při geotechnickém průzkumu provedeny, průkazní zkoušky provede zhotovitel před zahájením úpravy.

**Vzdušná jemně mletá nehašená vápna** vyhovující normě ČSN EN 459-1 ed.2 o následujících vlastnostech:

CaO+MgO (%hm.)	min. 90 %
CaO volné (%hm.)	min. 80 %
MgO (%hm.)	max. 5 %, obsah max. 7% se povoluje pouze tehdy, vyhoví-li zkouška objemové stálosti podle EN 459-2 (poznámka v tab. 2 ČSN EN 459-1 ed.2)
Obsah hydrátové vody	max. 1,5 %
Zbytek na síti 0,2 mm (%hm.)	max. 5 %
$t_{60^\circ\text{C}}$ (min)	max. 10 min
$T_{\text{max}}$ ( $^\circ\text{C}$ )	min. 60 $^\circ\text{C}$

Dávkování práškového vápna přímo na stavbě může vést v závislosti na okamžitých klimatických podmínkách k místnímu znečištění ovzduší jemnými částicemi práškového pojiva a k jejich rozptýlení na vedlejší plochy stavby. Tomu lze zabránit použitím vápna se sníženou prašností. Stavební úřad vydávající stavební povolení má právo nařídit vzhledem k občanské zástavbě, k chráněné krajinné oblasti a k jiným omezujícím podmínkám (doprava osob, občanská zařízení apod.) použití práškového pojiva se sníženou prašností.

### **Cementy** – cementy odpovídající ČSN EN 197-1

- CEM I Portlandský cement
  - CEM II Portlandský cement směsný, vyjma CEM II/B-L, CEM II/B-LL, CEM II/B-M
  - CEM III Vysokopecní cement, vyjma CEM III/C
  - CEM IV Pucolánový cement
  - CEM V Směsný cement,
- případně jiné cementy splňující požadavky na hydraulické silniční pojivo stanovené v ČSN EN 13282-1 a prEN 13282-2.

**Popílky a popely** vyhovující požadavkům TP 93 a ČSN EN 14 227-4 a **popely** vyhovující ČSN 72 2080 a ČSN P 72 2081-12.

**Pojiva směsná** vznikají smísením vhodných pojiv (např. popílku a cementu). Jejich účinnost musí být prokázána laboratorními průkaznými zkouškami a doplněnými provozními zkouškami. Jednotlivé komponenty použité pro jejich výrobu musí splňovat požadavky uvedené v této kapitole.

**Vysokopecní granulovaná struska** – vysokopecní granulovaná nebo peletizovaná struska musí splňovat požadavky ČSN EN 14 227-2 a ČSN EN 197-1. Jedná se o heterogenní soustavu amorfní fáze, směsi oxidů a silikátů. Chemické složení granulátu odpovídá složení původních vysokopecních strusek. Jemným semletím získá tato surovina značné hydraulické vlastnosti. Základní ukazatele dle ČSN 197-1 jsou následující

obsah CaO+MgO+SiO <sub>2</sub>	min. 66,67% hmotnosti
hmotnostní poměr (CaO+MgO)/SiO <sub>2</sub>	>1
obsah sklovité fáze	min. 66,67%

**Hydraulická silniční pojiva** – hydraulická silniční pojiva musí splňovat požadavky ČSN EN 13 282-1 a prEN 13282-2

### **Jiná pojiva**

Pro úpravu zemin lze použít i jiná pojiva plně vyhovující environmentálním požadavkům, přičemž jejich účinnost musí být ověřena průkaznými laboratorními a polními zkouškami a poloprovozní zkouškou.

Druh pojiva pro úpravu zemin i způsob jeho použití musí být volen tak, aby nedocházelo k poškozování životního prostředí.

## **2.4 Voda**

Pro úpravu zemin příměsí pojiva, pokud je nutno směs přivlhčit, je možno použít každé vody z vodotečí, nebo vodních nádrží. Voda musí vyhovět požadavkům ČSN EN 1008 na záměsovou vodu do betonu pouze při úpravě zemin cementem (viz ČSN EN 14 227-10).

## 2.5 Textilní vlákna

Pro mechanickou úpravu textilními vlákny se obvykle používají vlákna syntetická nebo přírodní zpravidla o délkách 10 – 100 mm, nejběžněji používaným materiálem je fibrilovaný nebo staplový polypropylen nebo polyester.

Použití textilních vláken je dosud ve stadiu ověřování jejich praktického nasazení.

## 3. ÚČINKY ÚPRAVY ZEMIN

### 3.1 Mechanická úprava

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

Zvláštním případem mechanické úpravy zemin je úprava zemin textilními vlákny obvykle za účelem zvýšení smykové pevnosti.

### 3.2 Úprava pojivy

Zemina upravená pojivy mění své okamžité chování zemin

- snížením přirozené vlhkosti
- zvýšením únosnosti zemin a snížením jejich plasticity

s cílem

- zlepšit zpracovatelnost standardními stroji pro zemní práce
- zlepšit možnosti hutnění po vrstvách
- upravit pracovní plochy pod nadložními vrstvami pro pohyb staveništní dopravy
- zvýšit hospodárnost díla (zpracovat v maximální míře místní materiály)

Úprava zemin se provádí podle následujících norem:

- ČSN EN 14 227-10 pro použití cementu;
- ČSN EN 14 227-11 pro použití vápna;
- ČSN EN 14 227-12 pro použití vysokopecní strusky;
- ČSN EN 14 227-13 pro použití hydraulického silničního pojiva;
- ČSN EN 14 227-14 pro použití popílku.

Pro úpravu jemnozrnných zemin střední a vysoké plasticity, spraší a sprašových hlín se doporučuje použít vápno podle ČSN EN 14 227-11 upřesněné v čl. 2.3 TP 94. pro úpravu jemnozrnných zemin s nízkou plasticitou se doporučuje použít cement nebo hydraulické silniční pojivo podle ČSN EN 14 227-10 nebo ČSN EN 14 227-13. Použití popílku podle ČSN EN 14 227-14 je možné všude tam, kde lze dosáhnout požadovaných parametrů. Při použití vápenatých popílků je nutné posoudit objemové změny upravené zeminy (viz TP 93).

Účinky úpravy zemin jednotlivými druhy pojiv jsou uvedeny v příloze 1.

V tabulce 2 jsou uvedeny orientační hodnoty změn vlastností zeminy vztažené na 1% příměsi pojiva.

**Tabulka 2 Orientační hodnoty změn vlastností zeminy vztahované na 1% příměsí pojiva**

Vlastnost zeminy	Působení	Příměs páleného vápna	Příměs cementu
Vlhkost	snižuje	1 – 2 %	0,2 – 0,4 %
Max. objemová hmotnost	snižuje	5 – 100 kg/m <sup>3</sup>	6 - 20 kg/m <sup>3</sup>
Optimální vlhkost	zvyšuje	0,5 – 2 %	beze změny
Poměr únosnosti CBR na vzorku zhutněném při zkušební vlhkosti	zvyšuje	5 - 50 % CBR	5 - 15 % CBR
Na vzorku po zrání a následné saturaci	zvyšuje	5 - 50 % CBR	10 - 50 % CBR

#### 4. NÁVRH ÚPRAVY ZEMIN

Parametry zemin určených k úpravě se stanovují laboratorními zkouškami prováděnými v rámci geotechnického průzkumu. Orientační průkazní zkoušky úpravy zemin se provádí již v etapě podrobného geotechnického průzkumu, aby bylo možno určit materiálové požadavky stavby.

Pro návrh úpravy zemin je nutno určit základní parametry zemin, kterými jsou:

- zařídění dle ČSN 73 6133: 2010 – 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. Pro ověření návrhu úpravy při realizaci stavby se požaduje použití stejného pojiva, jaké bylo použito při orientačních průkazních zkouškách.

Pokud se zhotovitel stavby rozhodně použít jiné pojivo, než se kterým byly prováděny orientační průkazní zkoušky, je povinen provést průkazní zkoušky pro nově navrhované pojivo v plném rozsahu. Změnu pojiva může zhotovitel provést pouze v odůvodněném případě. Změnu pojiva musí odsouhlasit a povolit pouze správce stavby.

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 13 286-47 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 3 (viz rovněž ČSN 73 6133).

**Tabulka 3 Požadované hodnoty poměru únosnosti upravených zemín v násypu a podloží násypu**

Způsob použití	Požadované hodnoty <sup>1)</sup>	
	Okamžitý index únosnosti	CBR
Podloží násypu	min IBI <sub>10</sub>	
Každá technologická vrstva násypu	min IBI <sub>10</sub>	-
Ztužující vrstva násypu vrstevnatého, z vátého písku, z popílku upraveného pojivy	-	min. CBR <sub>15</sub> <sup>2)</sup>
<sup>1)</sup> podle ČSN EN 14 227-10, 11, 12, 13 a 14, stanovené při vlhkosti $w_{opt}$ .		
<sup>2)</sup> Zhotovení a zrání zkušební tělesa se provádí podle příslušné ČSN EN 14 227-10 až 14.		

Pro aktivní zónu jsou požadavky pro upravené zeminy uvedeny v tabulce 4 (viz rovněž ČSN 73 6133).

**Tabulka 4 Požadované hodnoty únosnosti CBR pro upravené zeminy pro aktivní zónu**

Způsob použití		Požadované hodnoty <sup>1)</sup>		
		CBR <sup>3)</sup>	Minimální vlhkost směsi	Okamžitý index únosnosti
Aktivní zóna <sup>2)</sup>	Podloží PIII	CBR <sub>15</sub>	W <sub>0,9</sub>	IBI <sub>DV</sub>
	Podloží P II	CBR <sub>30</sub>	W <sub>0,9</sub>	IBI <sub>DV</sub>
	Podloží P I	CBR <sub>50</sub>	W <sub>0,9</sub>	IBI <sub>DV</sub>
<sup>1)</sup> Kategorie podle ČSN EN 14 227-10, 11, 12, 13 a 14.				
<sup>2)</sup> PI, PII, PIII jsou typy podloží podle předpisu TP 170				
<sup>3)</sup> Zhotovení a zrání zkušební tělesa se provádí podle příslušné ČSN EN 14 227-10 až 14.				

Pro účely návrhu geotechnických konstrukcí a konstrukcí vozovek se dále stanovují parametry smykové pevnosti (dle ČSN CEN ISO/TS 17 892-10) a tuhosti zhutněné upravené zeminy (dle ČSN CEN ISO/TS 17 892-5). Postupuje se standardními postupy laboratorních zkoušek mechaniky zemín.

Laboratorní stanovení namrzavosti upravených zemín v aktivní zóně se provádí v oprávněných případech podle ČSN 72 1191. Hloubka promrzání vychází z celkové konstrukce vozovky a mrazové indexu lokality. Výpočet je uveden v TP 170.

Otázku namrzavosti upravených zemín pojivy je nutno řešit zejména v etapě zpracování projektové dokumentace návrhu konstrukce násypu nebo vozovky. V průběhu stavby již obvykle není časový prostor pro realizaci potřebných zkoušek. V případě pochybností o účincích mrazu na konstrukci je nutno v etapě zpracování projektové dokumentace provést průkazní zkoušky namrzavosti upravených zemín.

Pro návrh úpravy zemín textilními vlákny jsou směrodatné výsledky poloprovozních zkoušek, kdy se ověří dávkování, způsob dávkování a kvalita promísení.

V případě úpravy "suchých" zemín, tj. zemín, u kterých je vlhkost nižší než vlhkost odpovídající 95 % míře zhutnění na suché straně Proctorovy křivky, pojivy je nutno v rámci

průkazních 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. Doporučuje se posoudit, jak zvýšit obsah vody v zemině, aby proběhla hydratace veškerého pojiva.

V tomto případě je nutno ověřit účinnost úpravy při zhutňovací zkoušce a laboratorními zkouškami upravených zemin odebraných při této zkoušce.

Průkazními zkouškami musí být ověřeny následující parametry upravené “suché“ zeminy:

- podíl pojiva, které se nespotřebovalo při úpravě (týká se zejména vápna, vápenatých popílků a hydraulických silničních pojiv s vysokým obsahem vápna)
- objemové změny upravené zeminy (postupem dle TP 93 resp. ČSN 13286-47)
- dosažená míra zhutnění a objem vzduchových pórů v upravené zemině (musí být nižší než 12%)

V případě, jakýchkoliv pochybností o účinnosti úpravy “suchých“ zemin pojivy, je nutno posoudit i další vhodné alternativy a zvážit i jiná technická řešení (přidání vody, úprava vápenným mlékem).

Úprava poloskalních hornin (jílovce, slínovce v různém stupni navětrání, třídy R5-R6 dle ČSN 73 6133) má většinu podobností jako úprava “suchých“ zemin. Při strojním mísení poloskalních hornin s pojivem dochází k rozpadu hornin obvykle na zeminy s vlhkostí nižší, než je vlhkost optimální. V tomto případě se postupuje podle postupu popsaného pro úpravu “suchých“ zemin.

Specifikem poloskalních hornin je jejich fragmentace zemní frézou. Při návrhu úpravy poloskalních hornin pojivy je nutno provést poloprovozní zkoušku a posoudit účinnost jejich úpravy.

## **5. TECHNOLOGICKÉ POSTUPY PRACÍ**

Před zahájením zemních prací a úpravy zeminy je nutno zpracovat technologický předpis a předložit jej objednateli ke schválení.

Obsah technologického předpisu:

- 1) Identifikační údaje stavby, investora, zhotovitele, resp. zhotovitele příslušné části, správce stavby
- 2) Stručný popis části stavebního objektu, kterého se technologický předpis týká.
- 3) Seznam navrhovaných strojů a zařízení
- 4) Popis technologie provádění (dle výsledků zhutňovací zkoušky), včetně specifických úkonů úpravy zeminy
- 5) Popis materiálů, včetně odkazů na provedené průkazní zkoušky
- 6) Klimatická omezení
- 7) Rozsah kontrolních zkoušek (kontrolní a zkušební plán)
- 8) Způsob zajištění environmentálních požadavků
- 9) Bezpečnost práce a ochrany zdraví při práci
- 10) Zpracovatel technologického předpisu

Technologický předpis musí obsahovat výsledky zhutňovací zkoušky



## 5.1 Stroje a zařízení pro úpravu zemin

Při úpravě zemin se používají následující stroje a zařízení

- dávkovače
- zemní frézy
- grejdry nebo buldozery pro úpravu vyrobené vrstvy
- zhutňovací prostředky
- kropičky pro úpravu vlhkosti

**Dávkování pojiv** je prováděno pomocí samojízdných dávkovačů tomu určených výrobcem s přesným řízením dávkování v závislosti na rychlosti pojezdu. Dávkovače jsou obvykle na podvozku nákladního vozidla. Šířka záběru dávkování se pohybuje do 2,5 m. Méně časté je dávkování pomocí dávkovačů přívěsných (např. za traktorem). Dodávky práškových pojiv od výrobce na stavby se uskutečňují pomocí velkoobjemových přepravníků.

**Zemní frézy** slouží k promísení zeminy s pojivem. Hlavním pracovním nástrojem zemních fréz jsou vyměnitelné frézovací nože připevněné na frézovacím rotoru. Ke snížení prašnosti a zlepšení rovnoměrnosti promísení slouží kryt rotoru, Ke snížení prašnosti slouží kryt. Vedle mísení, napomáhají nože nakypření a rozdružení zeminy. Hloubka mísení zemin je nastavitelná a dosahuje max. 0,50 m. Hloubka mísení je omezena účinností hutnicího prostředku. Zemní frézy dělíme na:

- integrované zemní frézy,
- závěsné zemní frézy – jsou připojeny obvykle za traktor.

Účinnost jednotlivých typů zemních fréz je z hlediska promísení pojiva se zeminou srovnatelná. Kontrolní zkoušky provedené po úpravě zemin oběma typy fréz nezjistily rozdíly.

K úpravě zemin lze použít i zemědělskou techniku nebo běžné stavební stroje (např. buldozery). Je potřeba však zajistit, aby dávkování a mísení pojiva se zeminou bylo srovnatelné jako při použití strojů k úpravě určených.

Upravené zeminy se hutní standardními zhutňovacími prostředky v závislosti na prostorových možnostech a požadavcích na zhutnění (válce, zhutňovací desky atd.). Pro hutnění jsou vhodné těžké vibrační válce s hladkým nebo ježkovým běhounem. Pro finální úpravu vrstvy jsou vhodné pneumatikové válce

## 5.2 Provádění úprav zemin

Při provádění mechanické úpravy zeminy v násypu se obvykle nejprve naváží 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 naváží, 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 opakováním mísení.

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

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 průkazními; zkouškami, včetně zkoušky poloprovozní;
- mísení, zpravidla dvěma pojezdy 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;
- vizuální ověření hrudkovitosti;
- kontrola rovnoměrnosti promísení fenolftaleinem;
- 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  $\pm 10\%$ .

Pojivo lze dávkovat i v místě těžby, popř. na dočasné deponii. 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.

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.

### **5.3 Úprava zemin v podloží násypu**

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



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.

Postup úpravy zemin je popsán v kapitole 5.2.

## **5.4 Úprava zemin v násypu**

Těleso násypu lze budovat pouze na podloží násypu, které splňuje požadavky ČSN 73 6133 a TKP 4.

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 zeminami 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 ztužující.

Násypové těleso z upravené zeminy se buduje po vrstvách. Úprava zemin probíhá buď mimo vlastní násyp, kdy se dováží již upravená zemina s pojivem a v tělese násypu se pouze rozprostírá a hutní, nebo je do násypu dovážena zemina neupravená, která se rozprostřena urovná. Poté se nadávkuje pojivo nebo směs pojiv, zemina s pojivem se promísí a zhutní.

Na vrstvu z upravené zeminy lze uložit vrstvu další jen v případě, že vrstva z upravené zeminy splňuje předepsané parametry.

Postup úpravy zemin je popsán v kapitole 5.2.

## **5.5 Úprava zemin v zářezu**

Při úpravě zemin v zářezích, kde často upravená zemina tvoří aktivní zónu, je nutno podrobně znát hydrogeologické poměry, zejména pak vodní režim po odtěžení zářezu (minimálně v období jednoho roku). Pokud jsou o vodním režimu a proudění podzemních a povrchových vod v zářezu pochybnosti, je nutno provést před zahájením úprav zemin doplňkový geotechnický průzkum

Pokud jsou zeminy upravovány vápnem nebo popílkem, případně hydraulickým silničním pojivem, s vysokým obsahem vápna může dojít vlivem sání ze zvodnělých vrstev k degradaci upravených zemin, jejich rozpadu a snížení jejich únosnosti, případně k objemovým změnám.

Problematika sání u upravených zemin není dosud dostatečně zpracována. Není ani přesně znám hloubkový dosah sání od upravených zemin pro jednotlivé typy zemin, aby bylo možno stanovit, do jaké vzdálenosti od báze upravovaných zemin lze uvažovat dosah kapilární vzlínivosti za bezpečný.

Pokud se nenachází maximální hladina podzemní vody v bezpečné vzdálenosti od báze upravované zeminy vápnem v dosahu kapilární vzlinavosti, pak je nutno před úpravou zemin provést kontrolní zkoušky sání, případně poloprovozní zkoušky, nebo zvolit jiné technické řešení pro dosažení požadovaných technických parametrů.

Tento požadavek se netýká hydraulických pojiv, která tuhnu pod vodou.

Postup úpravy zemin v zářezech je popsán v kapitole 5.2.

## 5.6 Úprava zemin v aktivní zóně

Postup úpravy zemin v aktivní zóně je stejný, jaký je popsán v kapitole 5.2, v případě že se jedná o aktivní zónu v zářezu, pak jsou specifické podmínky pro jejich úpravu popsány v kapitole 5.5.

S ohledem na vyšší požadavky na zhutnění se doporučuje:

- mísit pojiva zemní frézou obvykle ve dvou vrstvách o tloušťce 0.3 m před zhutněním,
- přesněji dodržet požadované rozmezí vlhkosti. Vyšší vlhkost lze snížit např. opakovaním mísení na místě.

Tloušťka úpravy pojivy nebo nahrazení jiným vhodným materiálem se stanovuje podle vlastností původního materiálu podloží podle tabulky 5.

**Tabulka 5 Stanovení orientační tloušťky úpravy podloží vozovky pojivy nebo nahrazení jiným vhodným materiálem (viz rovněž ČSN 73 6133)**

Původní materiál		
Zatřídění zemin podle klasifikace <sup>1)</sup>	Zatřídění podle CBR <sup>2)</sup>	Tloušťka úpravy ( <i>h</i> )
MG, CG, MS, CS, S-F, SM, SC, GM, GC, GP, SP	$5 \% \leq \text{CBR} < 15 \%$	$300 \text{ mm} \leq h < 400 \text{ mm}$
ML, MI, CL, CI, MH, MV, CH, CV	$2 \% \leq \text{CBR} < 5 \%$	$400 \text{ mm} \leq h < 500 \text{ mm}$
	$\text{CBR} < 2 \%$	$h > 500 \text{ mm}$

<sup>1)</sup> Zatřídění podle klasifikace bez provedení zkoušky CBR je možno použít pro komunikace s třídou dopravního zatížení III až VI. V ostatních případech nebo v případě pochybností je zkouška CBR rozhodující.

<sup>2)</sup> CBR po syčení ve vodě po dobu 96 h podle ČSN EN 13286-47.

Při budování místních a účelových komunikací třídy dopravního zatížení IV až VI, parkovacích a odstavných ploch a dočasných komunikací je možno tloušťku úpravy pojivy nebo výměny podloží stanovit podle naměřeného modulu přetvárnosti  $E_{\text{def}2}$  podle tabulky 6.

**Tabulka 6 Orientační stanovení tloušťky úpravy pojivy nebo nahrazení jiným vhodným materiálem pro komunikace s nízkým dopravním zatížením**

Naměřený modul přetvárnosti $E_{\text{def}2}$ (MPa)	Tloušťka úpravy podloží
$25 \leq E_{\text{def}2} \leq 45$	Pro třídu dopravního zatížení IV, V $300 \text{ mm} \leq h < 400 \text{ mm}$
$20 \leq E_{\text{def}2} \leq 30$	Pro třídu dopravního zatížení VI $300 \text{ mm} \leq h < 400 \text{ mm}$
$10 \leq E_{\text{def}2} < 25$	$400 \text{ mm} \leq h < 500 \text{ mm}$
$E_{\text{def}2} < 10$ (neměřitelné hodnoty)	$h > 500 \text{ mm}$

### Aktivní zóna v násypu

Při úpravě zemin příměsí pojiva v aktivní zóně se zemní těleso v násypové části ukončí na paraplání, tj. o hloubku aktivní zóny níže, než jsou projektové výšky násypové pláně. Míra zhutnění parapláně musí odpovídat požadavkům ČSN 72 1006, obvykle 95/97 % PS, pokud není v dokumentaci stanovena hodnota vyšší. Na takto upravenou paraplán se provede vrstva upravené zeminy (obvykle ve dvou vrstvách frézou).

### Aktivní zóna v zářezu a aktivní zóna vedená v úrovni terénu

Pokud hloubka vrstvy stanovená projektem k úpravě přesahuje účinek zemní frézy, provádí se úprava ve dvou vrstvách. Výkop se ukončí 0,25 m pod úrovní pláně podle projektové dokumentace a provede se úprava a zhutnění spodní vrstvy. Potom se naveze materiál a provede se úprava horní vrstvy tak, aby po zhutnění horní vrstvy upravené zeminy byly dodrženy projektové výšky pláně.

### *Poznámka*

*Pokud je použita zemní fréza s dosahem 0,5 m, je přípustné provést úpravu v jedné vrstvě, pokud se při zhutňovací zkoušce prokáže, že je dosaženo předepsaného zhutnění a řádného promísení i na bázi vrstvy.*

Vrstva upravené zeminy se zhutňuje postupně od krajů ke středu při střechovitém sklonu a od spodního okraje po předhutněný horní okraj při jednostranném sklonu pláně. Postup hutnění se opakuje až do dosažení požadované míry zhutnění v celé tloušťce vrstvy a požadovaného modulu přetvárnosti  $E_{def,2}$ .

Požadovaná minimální míra zhutnění pro zeminy upravené příměsí pojiva v aktivní zóně je min.  $D = 100$  % a další určuje podle typu zeminy (tab.4 ČSN 72 1006) nebo projektová dokumentace.

Žádná z naměřených hodnot modulu přetvárnosti podloží vozovky nesmí být nižší než předepsaná hodnota.

Zemina v aktivní zóně se musí posoudit z hlediska namrzavosti. Zeminy zatříděné jako GW, GP, SW, SP, G-F, S-F jsou nenamrzavé, ostatní neupravené zeminy se posuzují na základě zrnitosti podle Scheibleho kritéria. Materiály upravené pojivy se posuzují podle ČSN 72 1191. Posouzení se nemusí provádět u komunikací s dopravním zatížením třídy VI.

Přípustný stupeň namrzavosti materiálu v aktivní zóně ovlivňuje index mrazu, vodní režim a typ vozovky dle TP 170. Přesto se nedoporučuje, aby v aktivní zóně byla ponechána zemina nebezpečně namrzavá.

## **5.7 Klimatická omezení**

Pro provádění úpravy zemin při dešťových srážkách a v zimním období platí ustanovení ČSN 73 6133 a TKP 4.

Zásadně budování násypů nelze připustit:

- ze zmrzlé zeminy a na části vrstvy násypu se zeminou promrzlou do hloubky 50 mm a více;
- na zmrzlém podloží, popř. na zmrzlé předchozí vrstvě násypu;

- při mrznoucím dešti nebo trvalejším sněžení.

Navážená sypanina musí být ukládána na předchozí vrstvu zbavenou sněhu a ledu a znovu dohutněnou. K odstranění sněhu a ledu se smí používat pouze mechanické prostředky.

Navezená sypanina musí být ihned rozhrnuta, upravena a zhutněna, aby nedošlo k jejímu zmrznutí před nahutněním. Pokud není reálný předpoklad včasného zhutnění, musí se ihned další práce zastavit.

Zeminy upravované vápnem se smějí zpracovávat do -5 °C, zeminy upravované cementem pouze do 0 °C. Uvedené teploty se týkají teploty zeminy, nikoliv vzduchu.

Při přerušení prací je nutné přes zimu vrstvu upravené zeminy překrýt ochrannou vrstvou (cca 50 cm), která eliminuje vlivy změny vlhkosti a mrazu.

## **6 DODÁVKA, SKLADOVÁNÍ**

### **6.1 Zeminy**

Způsob těžby, doprava, případné skladování na deponii a zpracování zemin do zemního tělesa musí splňovat zásady stanovené v TKP 4 a schváleného technologického předpisu.

### **6.2 Pojiva**

Zhotovitel je povinen zajistit řádnou přejímku dodávaných pojiv tak, aby na staveništi byly k dispozici jen materiály, které odpovídají požadavkům smlouvy a schválenému technologickému předpisu.

Zásilka musí být provázena doklady (viz čl. 2.1 písm. a) až d)) a dodacím listem, ve kterém musí být zejména:

- číslo a datum vystavení,
- název a adresa výrobce/dovozce nebo distributora,
- název a sídlo odběratele,
- místo určení dodávky,
- předmět dodávky (výrobní název pojiva, označení jednotky, jmenovitá hmotnost jednotky),
- hmotnost dodávky, počet palet apod.

Každá dodaná jednotka musí mít jasně vyznačené minimálně tyto údaje:

- výrobní název,
- datum výroby,
- označení jednotky (číslo, kód).

Při přejímce se zjišťuje, jestli zásilka není poškozena nebo neúplná a jestli dodané množství, druh a jakost souhlasí s údaji uvedenými v dodacím listě.

Pokud pro pojiva a další výrobky nebyly předem dodány doklady v souladu s článkem 2.1 těchto TP, musí být předány nejpozději s dodacím listem první dodávky.

Veškerou manipulaci s pojivy během dodávky, skladování a zabudování do zemního tělesa je nutno provádět v souladu s doporučením výrobce tak, aby byla možnost poškození a znehodnocení omezena na minimum.

### **6.3 Upravené zeminy**

Upravené zeminy vápnem lze po promísení skladovat na zhutněných deponiích až několik měsíců. Deponie musí být upravena tak, aby byl zabezpečen odvod vody. Před uložením upravené zeminy do násypu je nutno provést kontrolní zkoušky a ověřit vlastnosti upravené zeminy vápnem, která musí splňovat požadavky projektové dokumentace a TP 94.

Zeminy, u kterých byl k úpravě použit cement nebo popílkový stabilizát, nelze skladovat.

## **7. PRŮKAZNÍ A KONTROLNÍ ZKOUŠKY**

### **7.1 Průkazní zkoušky**

Průkazními zkouškami se potvrzuje shoda vlastností materiálů a výsledné směsi s požadavky TP a ČSN.

Průkazní zkoušky se dělí jednak na zkoušky jednotlivých materiálů, tj. zkoušky zemin a pojiv, jednak na zkoušky upravené zeminy.

Průkazní zkoušky musí provádět laboratoř s příslušnou způsobilostí, podle MP SJ - PK č.j.20840/01-120 ve znění pozdějších změn.

#### **7.1.1 Zeminy**

Za průkazní zkoušky sypanin se považují výsledky geotechnického průzkumu pro dokumentaci stavby podle TP 76. V případě pochybnosti o neměnnosti zjištěných parametrů se musí příslušné zkoušky před zahájením zemních prací ověřit.

Rozsah průkazních zkoušek zemin používaných do tělesa násypu, včetně aktivní zóny, je uveden v tab. 7 ČSN 73 6133. K ověřování průkazních zkoušek se vyberou jen ty zkoušky, jejichž parametry je pro dané použití zeminy vhodné/nutné ověřit. Na základě výsledku ověření se posoudí shoda, popř. neshoda se závěry průkazních zkoušek.

V případě návrhu úpravy zemin pojivy se zjišťuje:

- mineralogické a chemické složení zeminy,
- vlhkost zeminy,
- zrnitost,
- číslo plasticity  $I_p$ ,
- zhutnitelnost podle Proctor standard nebo relativní hutnost,
- poměr únosnosti CBR a IBI, lineární bobtnání při zkoušce CBR,
- namrzavost (dle křivky zrnitosti) a v případě pochyb dle ČSN 72 1191).

### 7.1.2 Pojiva

Za průkazní zkoušky pojiv se považují doklady podle 2.1.

V procesu samotné stavby se požaduje používat pojivo, se kterým byly provedeny průkazní zkoušky. Nutné je uvést chemické složení pojiva.

### 7.1.3 Upravené zeminy

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

- vlhkost zeminy před dávkováním pojiva a směsi po dávkování pojiva (do 90 minut od nadávkování pojiva),
- zrnitost zeminy před dávkováním pojiva,
- číslo plasticity před dávkováním pojiva,
- zhutnitelnost podle zkoušky Proctor standard po dávkování pojiva,
- 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 přirození vlhkosti zeminy před úpravou a současně dosažená hodnota CBR nejbližší přesahuje požadovanou hodnotu (CBR).
- bobtnavost po dávkování pojiva,
- IBI.

V aktivní zóně se prokazuje:

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

Obsah pojiva se uvádí v procentech a v hmotnosti dávkování na tloušťku promísené vrstvy. Postup výpočtu je uveden v příloze 5.

Návrh směsi a její průkazní zkoušky se ověří zhutňovací zkouškou dle ČSN 72 1006.

U mechanicky upravených zemin se provede zkouška CBR ihned po zhutnění, výsledky zkoušky musí být v souladu s tab. 4.

Přehled požadovaných hodnot výsledků průkazních zkoušek upravených zemin je uveden v tabulce 7 (odpovídá tabulce 8 ČSN 73 6133).



**Tabulka 7 Průkazní zkoušky upravených zemín**

Vlastnost		Požadavek	Zkouška	Podmínky zkoušky
Zrnitost		kritéria použitelnosti podle tab. 1	ČSN CEN ISO/TS 17892-4	při mechanické úpravě
Číslo nestejnozrnnosti			Příloha A ČSN 73 6133	jen pro <i>S</i> nebo <i>G</i>
Max. objemová hmotnost (Proctor Standard)		deklarovaná hodnota	ČSN EN 13286-2	U zemín jemnozrnných nebo směsí zemín jemnozrnných a hrubozrnných kde lze zkoušku provést
Optimální vlhkost (dtto)				
CBR	aktivní zóna	podloží CBR P III 15 % P II 30 % P I 50 %	ČSN EN 13286-47	Platí i pro ztužující vrstvu vrstevnatého násypu. Zhotovení a zrání zkušební tělesa se provádí podle příslušné ČSN EN 14227-10 až 14
IBI	aktivní zóna	deklarovaná hodnota		Pro účely kontrolních zkoušek.
	násyp a podloží násypu	min. 10 %	Zkouší se bezprostředně po zhotovení zkušební úseku	
Objemové změny (bobtnání)	aktivní zóna	max. 3%	ČSN EN 13286-47	lineární bobtnání při zkoušce CBR
Namrzavost	aktivní zóna	deklarovaná hodnota	zrnitostní kritérium (obr.A.1 ČSN 736133)	V případě pochyb nebo pro zeminy upravené pojivy. Zkouška podle ČSN 72 1191.

*Poznámka*

*V případě potřeby se průkazní zkoušky mohou doplnit i o zkoušky smykové pevnosti, propustnosti a modulu přetvárnosti.*

## 7.2 Kontrolní zkoušky

Kontrolní zkoušky musí provádět laboratoř odsouhlasená objednatelem s příslušnou způsobilostí, podle MP SJ - PK č.j.20840/01-120 ve znění pozdějších změn.

Při těžbě event. dodávce zeminy je nutno kontrolovat shodu vlastností a stavu zeminy s průkazními zkouškami a s předpoklady dokumentace stavby. Provádí se proto kontrolní zkoušky podle požadavků ČSN 73 6133 a TKP 4. Přehled kontrolních zkoušek pro čerstvé směsi upravených zemín je uveden v tabulce 8.

**Tabulka 8 Kontrolní zkoušky čerstvé směsi upravených zemin**

Vlastnost		Požadavek	Četnost <sup>1), 3)</sup>
Minimální vlhkost <sup>1)</sup>		$W_{0,90}$	1 x na 10 000 m <sup>3</sup>
IBI min.	aktivní zóna	min. deklarovaná hodnota	1 x na 10 000 m <sup>3</sup>
	násyp	min. 10 %	1 x na 10 000 m <sup>3</sup>
<sup>1)</sup> Podle ČSN EN 14 227-10, ČSN EN 14 227-11, ČSN EN 14 227-12, ČSN EN 14 227-13, ČSN EN 14227-14 <sup>3)</sup> Uvedené údaje tabulky platí pro homogenní poměry. Při změně materiálu se musí provést všechny zkoušky. Při změně konzistence se stanoví pouze vlhkost.			

Kvalitu vyrobené směsi pojiva se zeminou prokazuje zhotovitel směsi.

Při zahájení stavby se provede zhutňovací zkouška na vrstvě upravené zeminy podle ČSN 72 1006 a kontrola hloubky promísení. Cílem je ověřit závěry a předpoklady vycházející z laboratorních zkoušek, ověření navržené zhutňovací technologie (typ zhutňovacího prostředku, tloušťka vrstvy před zhutněním, atp.) a ověření dosažených geotechnických parametrů zhutněných upravených zemin.

Kromě toho se ověří dávkování pojiva, hloubka a rovnoměrnost promísení pojiva se zeminou.

Při úpravě zemin pojivy je nutno také kontrolovat kvalitu pojiva.

**Dávkování pojiva** je nutno ověřit při každé nové dodávce (pojivo může vykazovat určité odchylky v objemové hmotnosti a zejména u objemového dávkování může následně docházet k nepřesnostem). Dávkování se měří nadávkováním pojiva na známou plochu a následným zvážením tohoto pojiva. Doporučuje se použít např. plechové vaničky s vystouplými okraji kolem 5 cm, známé plochy (min. 50x50 cm). Vystouplé okraje zabraňují shrnutí pojiva při pojezdu dávkovače. Kontrola dávkování pojiva se doporučuje rovněž s cílem prověřit osádku dávkovače. Doporučuje se četnost 1x5000 m<sup>2</sup>. Kontrola dávkování pojiva není řízena žádnou technickou normou.

Dávkování vápna se dá následně s poměrně velkou přesností určit i na výsledné směsi (vápno – zemina) pomocí chemické analýzy dle ČSN EN 459-2 a ČSN 72 0113. Pro zpřesnění této metody je vhodné odebrat zeminu neupravenou vápnem a na ní provést rovněž analýzu, a to z důvodů stanovení srovnávacích hodnot obsahu CaO.

**Hloubka promísení** upravené zeminy vápnem se měří v kopané sondě nástřikem roztoku fenolftaleinu (roztok 1 g indikátoru v 80 ml lihu zředit vodou na 100 ml – ČSN 68 4062). Nástřik se provede ze spodu sondy směrem nahoru a sleduje se barevné rozlišení zvápněné a nezvápněné zeminy (zemina s obsahem vápna zřívá).

Četnost zkoušek stanovení hloubky promísení:

- podloží násypu – 1x5000 m<sup>2</sup>
- násyp – 1x3000 m<sup>2</sup> nebo 1x2000 m<sup>3</sup>
- aktivní zóna – 1x2000 m<sup>2</sup> nebo 1x1000 m<sup>3</sup> (v případě aktivní zóny složené ze dvou vrstev se kontroluje pouze vrstva spodní. Horní vrstva se kontroluje jako pláň).
- zemní pláň – 1x2000 m<sup>2</sup>



**Poznámka**

Pokud jsou uvedeny dvě četnosti kontrolních zkoušek, musí být splněny obě.

Kontrolu hloubky promísení fenolftaleinem lze použít i pro vápenaté popílky a hydraulická silniční pojiva s obsahem vápna.

**Hrudkovitost zeminy** po promísení frézou se posuzuje vizuálně. Max. průměr hrudky zeminy by neměl překročit 25 mm. Kontrola se provádí po každém cyklu úpravy před zhutněním.

**Zkoušky pojiva.** Kvalita pojiva musí být kontrolována výrobcem. Může však docházet k časové prodlevě mezi expedicí pojiva a jeho použitím na stavbě. Zejména u práškových pojiv může dojít nevhodným skladováním nebo manipulací k hydrataci pojiva vlivem vlhkosti a následně toto pojivo reaguje pomalu anebo nedostatečně se zeminou. V případech pochybnosti o kvalitě pojiva na stavbě je vhodné odebrat vzorek pojiva z dávkovače (množství 2 kg), tento vzorek uložit do neprodyšného obalu a provést kontrolní zkoušky. Vzorek je pak porovnáván s parametry uváděnými výrobcem. Četnost kontrolních zkoušek pojiva se doporučuje 1x10000 m<sup>3</sup> upravené směsi.

Přehled kontrolních zkoušek při provádění a po dokončení zemního tělesa s využitím upravených zemín je uveden v tabulkách 9, 10 a 11.

**Tabulka 9 Kontrolní zkoušky při provádění a po dokončení zemního tělesa z upravených zemín (s tab. 10b ČSN 73 6133)**

Vlastnost / Druh sypaniny		Minimální požadavek	Zkouška	Četnost <sup>a</sup>
Vlhkost	jemnozrnné zeminy	odchylky od $w_{opt}$ -5% až +3%	ČSN CEN ISO/TS 17892-1	1 x 1250 m <sup>2</sup> nebo 500 m <sup>3</sup>
Míra zhutnění dle objemové hmotnosti (parametr D)	podloží násypu	92% PS	ČSN 72 1006	1 x 4000 m <sup>2</sup> nebo 1500 m <sup>3</sup> a při každé změně sypaniny u homogenní sypaniny nejméně 3 x denně
	násyp z jemnozrnných (F) nebo písčitých zemín (SW, SP, SF) nebo popílku	95% PS		
	aktivní zóna / zemní pláň	100% PS		
Minimální vlhkost	zeminy upravené	$w_{0,90}$	ČSN CEN ISO/TS 17892-1	1 x 10000 m <sup>3</sup> nebo 1 x denně
CBR	ztužující vrstva vrstevnatého násypu	min. 15%	ČSN EN 13286-47	
IBI	aktivní zóna	min. deklarovaná hodnota		
	násyp podloží násypu	min. 10% min. 10%		

<sup>a</sup> Jsou-li uvedena 2 kritéria četnosti zkoušek, musí být splněno kritérium přísnější

**Tabulka 10 Kontrolní zkoušky na zemní pláni pro zeminy upravené (viz tab. 11 ČSN 73 6133)**

Vlastnost /Druh sypaniny		Minimální požadavek	Zkouška	Četnost
Modul přetvárnosti $E_{def,2}$ <sup>a</sup>	CBR > 15% (PIII)	45 MPa <sup>b</sup>	ČSN 72 1006	1 x na 100 bm dopravního pásu, popř. 1x na 1000 m <sup>2</sup> ostatních ploch
	CBR > 30% (PII)	60 MPa		
	CBR > 50% (PI)	90 MPa		
<sup>a</sup> Prokázání minimálních hodnot CBR pro uvedené typy podloží vozovek nemusí zaručit dosažení požadovaného modulu přetvárnosti				
<sup>b</sup> Pro vozovky s dopravním zatížením třídy VI nebo s návrhovou úrovní porušení D2 platí min. 30 MPa				

**Tabulka 11 Kontrolní zkoušky při úpravě zemin pojivy**

Vlastnost /Druh sypaniny		Minimální požadavek	Zkouška	Četnost <sup>a</sup>
stejnóměrnost a hloubka promísení	zeminy upravované pojivy		TP 94	podloží násypu - 1x5000 m <sup>2</sup> , násyp - 1x3000 m <sup>2</sup> nebo 1x2000 m <sup>3</sup> , aktivní zóna - 1x2000 m <sup>2</sup> nebo 1x1000 m <sup>3</sup> (v případě aktivní zóny složené ze dvou vrstev se kontroluje pouze vrstva spodní. Horní vrstva se kontroluje jako pláň), zemní pláň - 1x2000 m <sup>2</sup>
dávkování pojiva	zeminy upravované pojivy	±10% od předepsaného množství	TP 94	1 x 5000 m <sup>2</sup> nebo při každé nové dodávce
hrudkovitost	zeminy upravované pojivy	průměr hrudky - max. 25 mm	TP 94	po každém cyklu úpravy
zkoušky pojiva	zeminy upravované pojivy	parametry stanovené výrobcem	TP 94	1x 10000 m <sup>3</sup>

Pro mechanicky upravené zeminy se kontrolní zkoušky provádí jako pro neupravené zeminy.

Výsledky zkoušek musí charakterizovat kontrolovaný úsek a současně postihnout případná slabá místa s nedostatečnou kvalitou zpracování.

## 8. ENVIRONMENTÁLNÍ POŽADAVKY

### 8.1 Aplikace práškových pojiv

Při provádění technologických operací s práškovými pojivy (dávkování, zpracování) dochází k uvolňování emisí jemných částic do ovzduší. V intravilánech obcí, chráněných krajinných oblastech, ochranných pásmech vodních zdrojů, lázeňských oblastech, v zemědělsky využívaných oblastech (v období vegetace) apod. se doporučuje používat pojiva se sníženou prašností na základě opatření uvedených v dokumentaci stavby ve shodě s požadavky, které jsou pro tyto oblasti a pásma příslušným zákonem a vyhláškami určeny.

## 8.2 Staveniště

Obecné požadavky a souhrn zákonných opatření jsou v kap. 1 TKP.

Při pracích na staveništi je povinností zhotovitele při manipulaci se škodlivými látkami a následně při zneškodňování odpadů postupovat v souladu se zákonem 185/2001 Sb. a prováděcími předpisy. Všechny vedlejší produkty zabudované do zemního tělesa musí splňovat ustanovení zákona č. 114/1992 Sb., ve znění pozdějších předpisů a souvisejících právních předpisů uvedených v TKP 1.

V průběhu výstavby nesmí docházet k nadměrnému znečišťování povrchových vod a ohrožování kvality podzemních vod. Zhotovitel musí dodržovat zejména ustanovení uvedená v zákonu č. 254/2001 Sb., o vodách a nařízení vlády ČR č. 61/2003 Sb., kterým se stanoví ukazatele přípustného znečištění vod (TP 83 Odvodnění PK).

Při těžbě, úpravě a ukládání zemin a stavebních směsí musí zhotovitel zvolit takovou techniku, aby nedošlo k porušení zákona č. 349/2004 Sb., zákona č. 258/2000 Sb. a nařízení vlády č. 502/2000 Sb. ve znění pozdějších předpisů. Stroje a vozidla musí být v řádném technickém stavu, aby nedocházelo k úniku olejů, maziv a pohonných hmot.

Provádění stavebních prací při úpravě zemin způsobuje rovněž znečišťování ovzduší. Staveniště a jeho okolí je zatěžováno emisemi z provozu stavebních strojů, prachem, uvolňováním prchavých látek a dalšími druhy znečištění ovzduší.

Zhotovitel je povinen se řídit ustanoveními zákona č. 86/2002 Sb. Zejména musí dbát na to, aby:

- motory automobilů a stavebních strojů byly v dobrém technickém stavu a jejich emise nepřekračovaly přípustné meze,
- všechna pracoviště byla udržována v čistotě,
- pojezděné zpevněné plochy byly pravidelně čištěny,
- pojezděné nezpevněné plochy byly ošetřovány (např. kropením) s cílem omezit prašnost na nejmenší - možnou míru,
- veřejné komunikace u výjezdů ze staveniště, případně jejich úseky používané staveništní dopravy byly chráněny před znečištěním a řádně udržovány,
- na stavbě se omezilo používání materiálů s neekologickými prchavými a ropnými látkami,
- zneškodnění odpadů bylo prováděno na vhodných místech a povoleným způsobem

## 9 BEZPEČNOST PRÁCE A OCHRANA ZDRAVÍ

Požadavky na bezpečnost práce a ochranu zdraví při práci a bezpečnost technických zařízení upravují zvláštní právní předpisy:

- Zákon č.262/2006 Sb. Zákoník práce v platném znění,
- Zákon č.309/2006 Sb. o zajištění dalších podmínek na bezpečnost a ochranu zdraví při práci, v platném znění,
- Nařízení vlády č.361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci (hygienické limity chemických látek) v platném znění,
- Zákon č.258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví v platném znění,
- Zákon č.22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky v platném znění,

- Nařízení vlády č.378/2001 Sb. požadavky na bezpečný provoz a používání strojů v platném znění,
- Zákon č.356/2003 Sb. o chemických látkách a chemických přípravcích a o změně některých Zákonů v platném znění,

Ve smyslu výše uvedených zákonů a nařízení vlády je zhotovitel povinen vydat vnitřní předpis upravující postupy pro zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a prokazatelně s ním seznámit všechny zaměstnance.

Úkolem TP 94 vedle technických parametrů aplikace vápenatých, hydraulických a směsných pojiv je též upozornit na zdravotní rizika (látky žíravé, prašnost), která mohou způsobit chemické látky obsažené v pojivech (např. nehašené vápno obsahuje CaO – oxid vápenatý), tato rizika lze minimalizovat použitím výše uvedených pojiv se sníženou prašností (viz příloha 4).

## **10 CITOVANÉ NORMY A PŘEDPISY**

### **Citované a související normy**

ČSN EN 197-1 Cement - Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití

ČSN EN 206-1 Beton - Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda

ČSN EN 459-1 ed.2 Stavební vápno - Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody

ČSN EN 459-2 Stavební vápno - Část 2: Zkušební metody

ČSN EN 459-3 Stavební vápno - Část 3: Hodnocení shody

ČSN EN 1008 Záměsová voda do betonu - Specifikace pro odběr vzorků, zkoušení posouzení vhodnosti vody, včetně vody získané při recyklaci v betonárně, jako záměsová voda do betonu

ČSN EN 1997-1 Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí - Část 1: Obecná pravidla

ČSN EN 1997-2 Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí - Část 2: Průzkum a zkoušení základové půdy

ČSN EN 13 242+A1 Kamenivo pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace

ČSN EN 13282-1 Hydraulická silniční pojiva - Část 1: Rychle tvrdnoucí hydraulická silniční pojiva – Složení, specifikace a kritéria shody

prEN 13282-2 Hydraulická silniční pojiva - Část 2: Normálně tvrdnoucí hydraulická silniční pojiva – Složení, specifikace a kritéria shody

ČSN EN 13 286-1 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 1: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti – Úvod, všeobecné požadavky a odběr vzorků

ČSN EN 13 286-2 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 2: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti – Proctorova zkouška

- ČSN EN 13 286-3 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 3: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti – Vibrační tlak s řízenými parametry
- ČSN EN 13 286-4 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 4: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti – Vibrační pěch
- ČSN EN 13 286-5 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 5: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti – Vibrační stůl
- ČSN EN 13 286-7 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 7: Zkouška nestmelených směsí cyklickým zatěžováním v triaxiálním přístroji
- ČSN EN 13 286-41 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 41: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelených hydraulickými pojivy
- ČSN EN 13 286-42 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 42: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v příčném tahu hydraulicky stmelených směsí
- ČSN EN 13 286-45 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 45: Zkušební metoda pro stanovení doby zpracovatelnosti směsí stmelených hydraulickými pojivy
- ČSN EN 13 286-46 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 46: Zkušební metoda pro stanovení součinitele stavu vlhkosti (MCV)
- ČSN EN 13 286-47 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 47: Zkušební metoda pro stanovení kalifornského poměru únosnosti, okamžitého indexu únosnosti a lineárního bobtnání
- ČSN prEN 13 286-48 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 48: Zkušební metoda pro stanovení stupně rozpadu
- ČSN EN 13 286-49 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 49: Zkušební metoda pro stanovení zrychleného bobtnání zemin upravených vápnem a/nebo hydraulickými pojivy
- ČSN EN 13 286-50 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 50: Metody pro výrobu zkušebních těles pomocí Proctorova zařízení nebo vibračního stolu
- ČSN EN 132 86-51 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 51: Metody pro výrobu zkušebních těles pomocí vibračního pěchu
- ČSN EN 13 286-52 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 52: Metody pro výrobu zkušebních těles vibrokompresí
- ČSN EN 13 286-53 Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 53: Metody pro výrobu zkušebních těles pomocí osového tlaku
- ČSN EN 14 227-4 Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Specifikace - Část 4: Popílky pro směsi stmelené hydraulickými pojivy
- ČSN EN 14 227-10 Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Specifikace - Část 10: Zeminy upravené cementem
- ČSN EN 14 227-11 Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Specifikace - Část 11: Zeminy upravené vápnem



- ČSN EN 14 227-12 Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Specifikace - Část 12: Zeminy upravené struskou
- ČSN EN 14 227-13 Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Specifikace - Část 13: Zeminy upravené hydraulickými silničními pojivy
- ČSN EN 14 227-14 Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Specifikace - Část 14: Zeminy upravené popílkem
- ČSN EN ISO 14 689-1 Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zařídování zemin - Část 1: Pojmenování a popis
- ČSN EN ISO 14 688-2 Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zařídování zemin - Část 2: Zásady pro zařídování
- ČSN CEN ISO/TS 17 892-1 Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 1: Stanovení vlhkosti zemin
- ČSN CEN ISO/TS 17 892-3 Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 3: Stanovení zdánlivé hustoty pevných částic zemin pomocí pyknometru
- ČSN CEN ISO/TS 17 892-4 Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 4: Stanovení zrnitosti zemin
- ČSN CEN ISO/TS 17 892-5 Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 5: Stanovení stlačitelnosti zemin v edometru
- ČSN CEN ISO/TS 17 892-6 Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 6: Kuželová zkouška
- ČSN CEN ISO/TS 17 892-7 Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 7: Zkouška pevnosti v prostém tlaku u jemnozrnných zemin
- ČSN CEN ISO/TS 17 892-8 Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 8: Stanovení pevnosti zemin nekonsolidovanou neodvodněnou triaxiální zkouškou
- ČSN CEN ISO/TS 17 892-9 Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 9: Konsolidovaná triaxiální zkouška vodou nasycených zemin
- ČSN CEN ISO/TS 17 892-10 Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 10: Krabicová smyková zkouška
- ČSN CEN ISO/TS 17 892-11 Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 11: Stanovení propustnosti zemin při konstantním a proměnném spádu
- ČSN CEN ISO/TS 17 892-12 Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 12: Stanovení konzistenčních mezí
- ČSN EN ISO 22475-1 Geotechnický průzkum a zkoušení – Odběry vzorků a měření podzemní vody – Část 1: Zásady provádění
- ČSN 72 1006 Kontrola zhutnění zemin a sypanin
- ČSN 72 1010 Stanovení objemové hmotnosti zemin. Laboratorní a polní metody
- ČSN 72 1018 Laboratorní stanovení relativní ulehlosti nesoudržných zemin
- ČSN 72 1019 Laboratorní stanovení smršťování zemin
- ČSN 72 1021 Laboratorne stanovenie organických látok v zeminách
- ČSN 72 1022 Laboratorne stanovenie uhličitanov v zeminách

ČSN 72 1026 Laboratorní stanovení smykové pevnosti zemin vrtulkovou zkouškou  
ČSN 72 1191 Zkoušení míry namrzavosti zemin  
ČSN 73 6100 Názvosloví silničních komunikací  
ČSN 73 6101 Projektování silnic a dálnic  
ČSN 73 6114 Vozovky pozemních komunikací. Základní ustanovení pro navrhování  
ČSN 73 6133 Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací  
ČSN 73 6186 Zkušební metoda pro stanovení kalifornského poměru únosnosti a okamžitého indexu únosnosti in situ  
ČSN 73 6190 Statická zatěžovací zkouška podloží a podkladních vrstev vozovek  
ENV 13282 Hydraulická silniční pojiva

### **Citované resortní předpisy**

TP 53 Technické podmínky – Protierozní opatření na svazích PK, ASPK  
TP 76 Část A+B Technické podmínky – Geotechnický průzkum pro PK, ARCADIS Geotechnika  
TP 76 Část C Technické podmínky - Geotechnický průzkum pro navrhování a provádění tunelů PK, ARCADIS Geotechnika  
TP 83 Technické podmínky – Odvodnění PK, PGP  
TP 93 Technické podmínky – Návrh a provádění staveb pozemních komunikací s využitím popílků a popelů, ARCADIS Geotechnika  
TP 97 Technické podmínky – Geosyntetika v zemním tělese pozemních komunikací, V Geotechnika  
TP 138 Užití struskového kameniva do pozemních komunikací, MD ČR  
TP 170 Navrhování vozovek PK (všeobecná část, katalog, návrhová metoda), VUT, Roadconsult  
TKP 2 Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací, kapitola 2 Příprava stavenišť, MD ČR  
TKP 3 Technické kvalitativní podmínky pro dokumentaci staveb pozemních komunikací, kapitola 3 Zemní těleso, MD ČR  
TKP 4 Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací, kapitola 4 Zemní práce, MD ČR  
Metodický pokyn SJ – PK č.j. 20840/01 – 120 ve znění pozdějších změn

### **Další literatura**

Bílek V. (1992): Zkušenosti s úpravou zemin vápnem v Československu.- Výzkumný ústav dopravní Brno.  
Bollens Q. (2005): Lime treatment of excavated soils: stockability of a lime treated silt.- Proceedings of TREMTI 2005. Paris.

Bollens Q. – Verbrugge J.C. (2005): Time dependent evolution of shear strength of a silty soil treated with lime.- Proceedings of TREMTI 2005. Paris.

Colombel J.H. – Hiernaux R. (2005): Use of lime-and-cement treated fine-grained soils in road layers. Long term surveys of some roads.- Proceedings of TREMTI 2005. Paris.

Detry J.- van den Bergh H, - Bollens Q. (2005): Study of a 30 year old lime treated silt area, Analysis of its mechanical behaviour and environmental influence on the directly surrounding zone.- Proceedings of TREMTI 2005. Paris.

Fahoum K. – Aggour M.S. (2001): Lime Treatment Tradeoffs.- Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington.

Herle V. – Kresta F.: Zlepšování zemin pojivy – současná praxe.- 8 Slovenská geotechnická konferencia Bratislava 2007

Higgins D.D. (2005): Stabilisation of soils containing sulphate or sulfite.- Proceedings of TREMTI 2005. Paris.

Kresta F. (2005) : Prověření použití stabilizátu z materiálu PRESTAB pro výstavbu násypových těles.- Stavební geologie – Geotechnika a.s.

Kresta F. – Martinec P. Příčiny bobtnání miocenních jíílů u Třebovic v Čechách.- Geotechnika, č. 1, roč. 2006, 21-27

Kresta F. : Vápnem zlepšené zeminy v konstrukci pozemních komunikací. Lze dosáhnout hodnoty CBR>47% po 7 dnech zrání a 4 dnech saturace u vápnem zlepšené zeminy?.- Silniční obzor, roč. 67, č. 6, str. 157-161.

Kresta F.: Expansive clays in track subgrade in deep cut (section Třebovice – Rudoltice, Czech republic).- Proceedings of the 7<sup>th</sup> international conference Railway Engineering, London 2004.

Kresta F. (2006) : EKOTREG Třinec, průkazní zkoušky zeminy zlepšené pojivem. Závěrečná zpráva.- Stavební geologie – Geotechnika.as.

Lindh P. (2004): Compaction - and strength properties of stabilised and unstabilised fine-grained tills.- Doctoral thesis, Lund University, Lund.

Little D. (1987): Fundaments of the stabilisation of soils with lime.- National Lime Association Bulletin, No. 332, London.

Rogers C.D.F. – Glendinning S. – Dixon N. (1996): Lime Stabilisation.- Thomas Telford Publishing London

Sherwood P.T. (1993): Soil Stabilisation with Cement and Lime.- HMSO London



## **11 PŘÍLOHY (INFORMATIVNÍ)**

Příloha P1	Účinky pojiv při úpravě zemin
Příloha P2	Úprava problémových zemin (vysoce plastické jíly, organické zeminy)
Příloha P3	Úprava zemin v agresivním prostředí
Příloha P4	Řešení některých praktických problémů při úpravě zemin
Příloha P5	Stanovení množství pojiva pro úpravu zemin



## PŘÍLOHA P1 (informativní) ÚČINKY POJIV PŘI ÚPRAVĚ ZEMIN

### 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  $\text{Ca}^{2+}$  nahrazují v krystalové struktuře jílu ionty sodíku ( $\text{Na}^+$ ) a draslíku ( $\text{K}^+$ ). 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 jíl, ale zrnitý (hrudkovitý) materiál.

Z dlouhodobého hlediska dochází k postupné krystalizaci gelu vzniklého reakcí vápna s jílovými minerály, až vznikne pevný stmelovaný materiál (Rogers – Glendinning 1996). Hydroxylové ionty ( $\text{OH}^-$ ) uvolněné působením vápna vytvoří prostředí s takovým pH, které umožní rozpouštění  $\text{SiO}_2$  a  $\text{Al}_2\text{O}_3$  z jílových minerálů a pucolánovou reakci.  $\text{SiO}_2$  a  $\text{Al}_2\text{O}_3$  v jílových minerálech reagují s vodou a vápnem a přitom vznikají gely hydrátů vápníku, křemíku a hliníku. Tyto gely postupně krystalizují a spojují strukturu navzájem. Výsledkem této reakce je stmelovaný materiál, který se stává pevnější než původní zemina.

#### A Okamžité účinky

1) vysoušení zeminy (snížení okamžité vlhkosti zeminy) probíhá kombinací následujících procesů

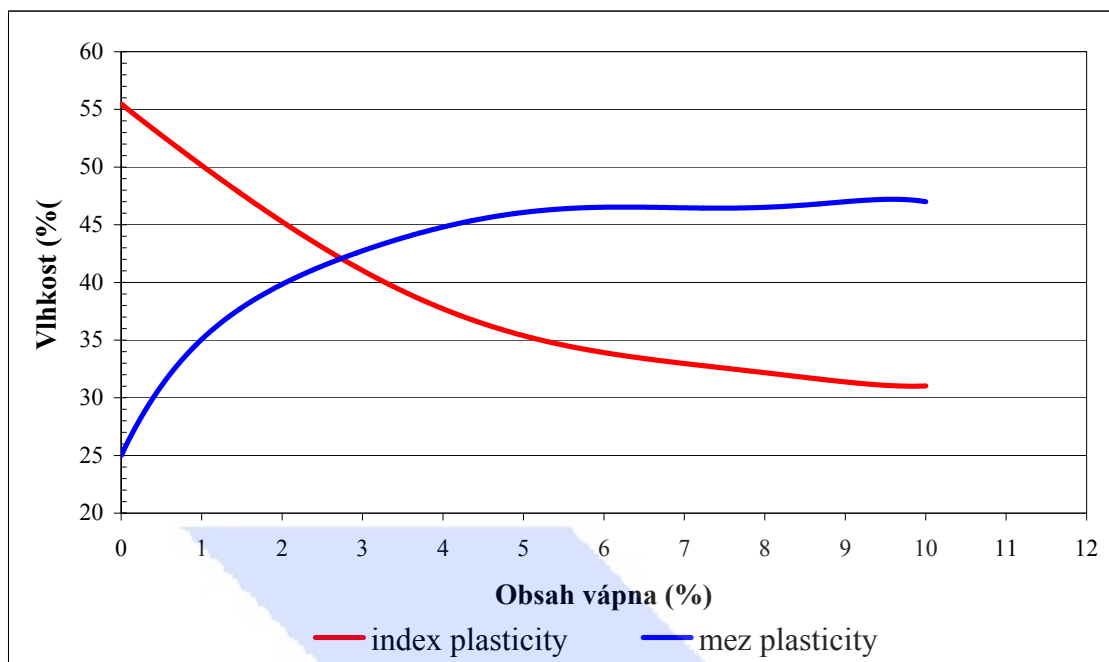
- hydratace páleného vápna –  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + 65 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- vypařování části vody působením tepla, které se uvolňuje při exotermní reakci
- přidáním suché hmoty (vápna) se snižuje poměr  
hmotnost vody / hmotnost pevné části

Podíl jednotlivých procesů je zhruba stejný.

2) zvýšení meze plasticity bez zásadních změn meze tekutosti zeminy

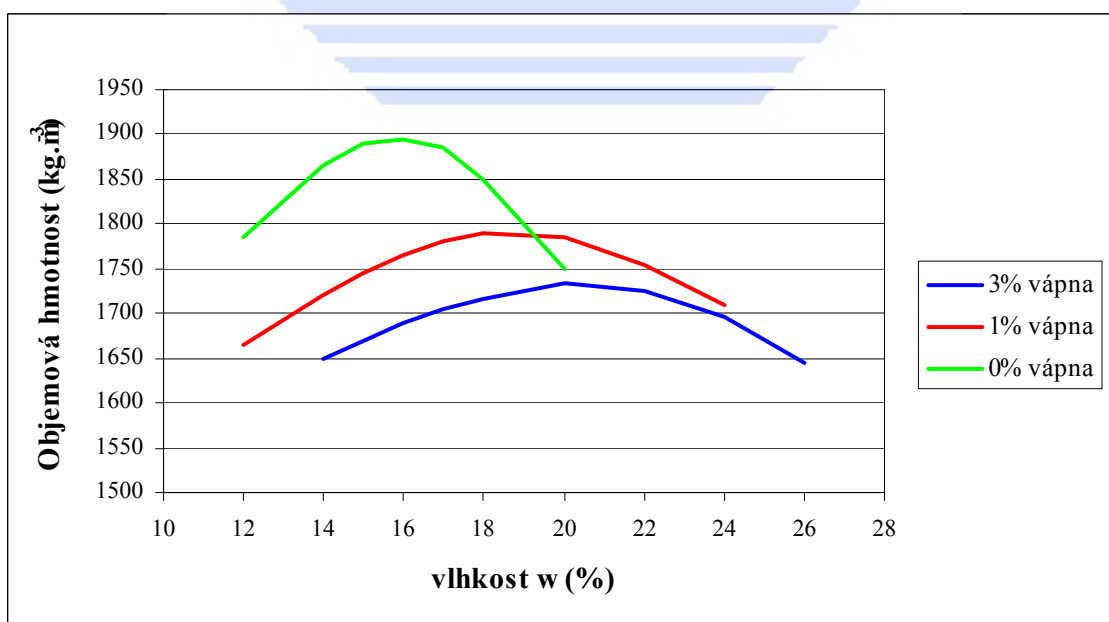
Okamžitě po smísení zeminy s vápnem se zvyšuje mez plasticity, a tím se snižuje index plasticity (obrázek 1). Výsledkem je nižší konzistence upravené zeminy. Pokud se určité množství vápna smísí s jemnozrnnou zeminou, jejíž přirozená vlhkost leží na čáře plasticity, následující snížení meze plasticity koresponduje se snížením vlhkosti a radikálně ovlivňuje chování zeminy, která se mění z plastické, tj. přetvárné a lepivé (*sticky*) na pevnou (*frictional*) a křehkou. Zemina se stává lépe zpracovatelnou

**Obrázek 1** Změny plasticity miocenních jíľů karpatské předhlubně (F8 CH) po přidání vápna



- 3) snížení citlivosti zlepšené zeminy na vlhkost - optimální vlhkost dle zkoušky Proctor Standard se zvýší a Proctorova křivka je plošší - interval vlhkosti pro optimální hutnění se zvětší). Důsledkem kationtové výměny je mimo jiné, podstatná redukce tloušťky vrstvy adsorbované vody a omezení možnosti přijímat další vodu.

**Obrázek 2** Vliv vápna na optimální vlhkost dle zkoušky Proctor Standard (Rogers – Glendinning 1996)



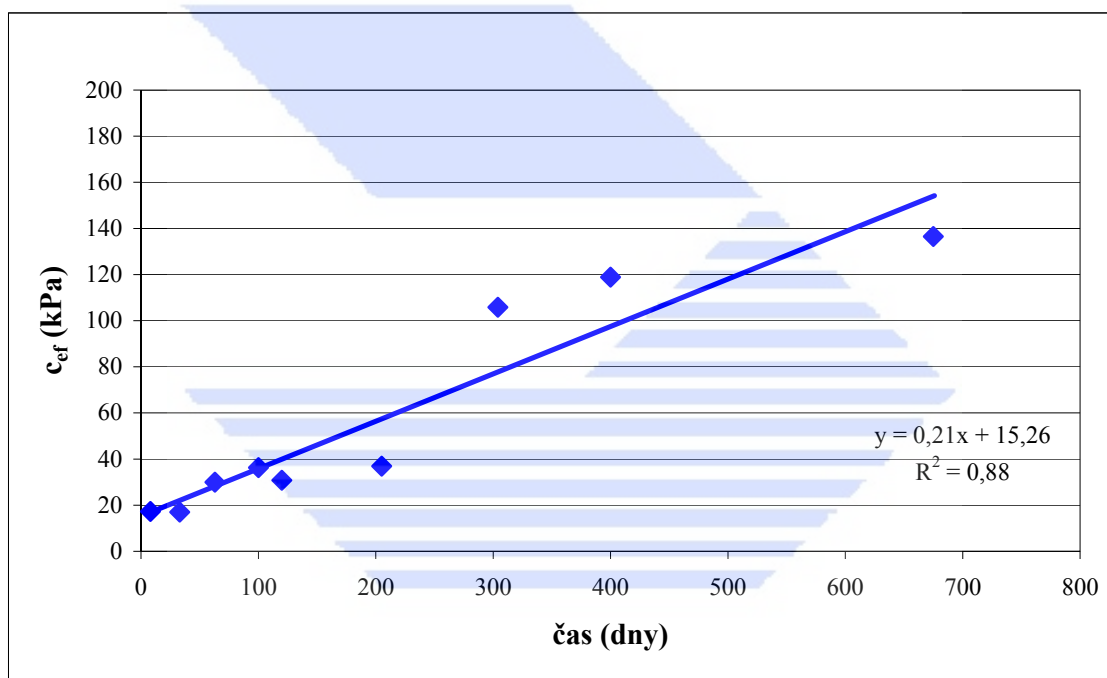
4) zvýšení pevnosti (smykových parametrů a přetvárných charakteristik) zeminy a CBR, snížení namrzavosti

V případě efektivních smykových parametrů roste výrazně s časem hodnota efektivní soudržnosti (viz obrázek 3).

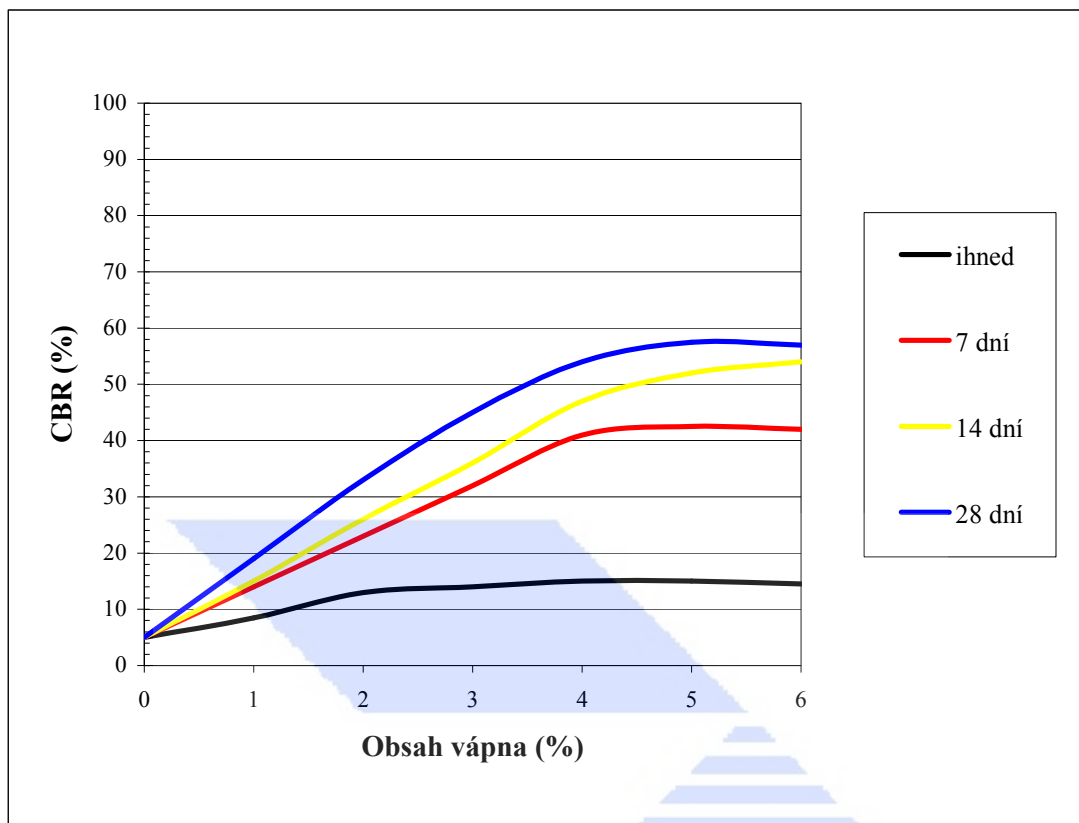
Jako problematické se jeví, jaké parametry upravených zemín vápnem používat do geotechnických výpočtů. Laboratorní zkoušky obvykle vykazují velmi vysoké hodnoty efektivní soudržnosti (až 40 kPa). Pro geotechnické výpočty se doporučuje uvažovat hodnoty efektivního úhlu vnitřního tření  $\phi_{ef}$ , které odpovídají neupravené zemině, a hodnotu efektivní soudržnosti  $c_{ef}=15$  kPa.

Velmi výrazně roste hodnota poměru CBR upravených zemín vápnem v čase (viz obrázek 4).

**Obrázek 3** Závislost efektivní soudržnosti zemín upravených vápnem (F6 CL s 3% CaO) na čase (Bollens – Verbrugge, 2005)



**Obrázek 4** Nárůst hodnoty poměru CBR v čase v závislosti na obsahu vápna při úpravě miocenních jílů karpatské předhlubně (F8 CH)



## B. Dlouhodobé účinky

### 1) pucolánová reakce

**Pucolánová reakce** - je dlouhodobý proces, při němž dochází k postupné krystalizaci gelu vzniklého reakcí vápna s jílovými minerály, až vznikne pevný stmelený materiál (Rogers – Glendinning 1996). Hydroxylové ionty ( $\text{OH}^-$ ) uvolněné působením vápna vytvoří prostředí s takovým pH (vyšší než 12), které umožní rozpouštění  $\text{SiO}_2$  a  $\text{Al}_2\text{O}_3$  z jílových minerálů a pucolánovou reakci.  $\text{SiO}_2$  a  $\text{Al}_2\text{O}_3$  v jílových minerálech reagují s vodou a vápnem a přitom vznikají gely hydrátů vápníku, křemíku a hliníku. Tyto gely postupně krystalizují a spojují strukturu navzájem. Výsledkem této reakce je stmelený materiál, který se stává pevnější než původní zemina.

Nutno upozornit, že některé zeminy, třebaže jsou klasifikovány jako jíly, neumožňují pucolánovou reakci (např. sericitické jíly s vysokým obsahem slíd, které vznikají zvětráváním krystalických břidlic, nebo jíly s vysokým obsahem organické hmoty, dusíkatých sloučenin nebo sulfátů).

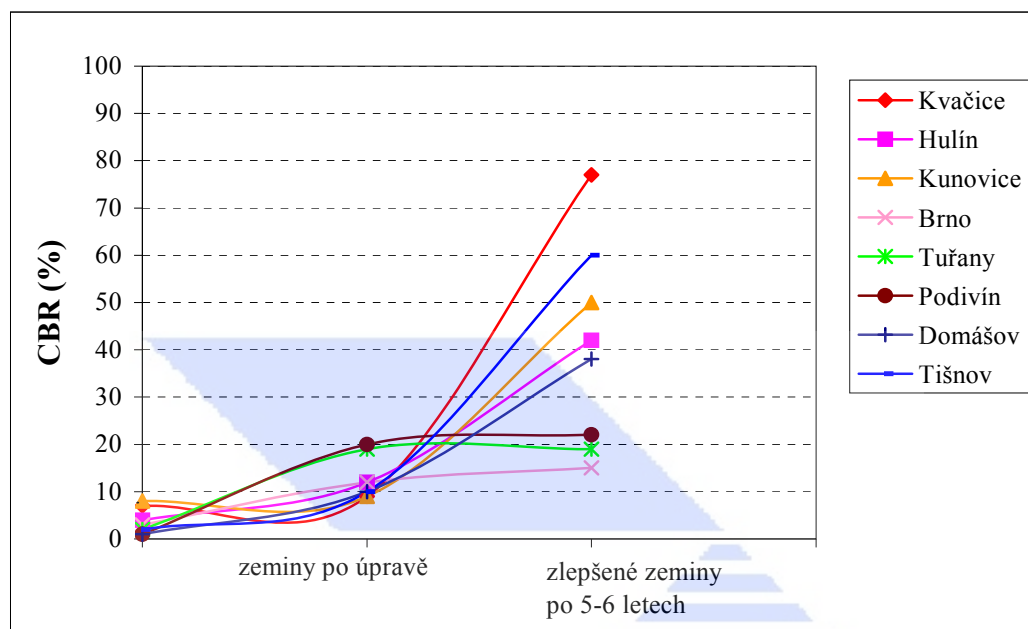
### *Vliv teploty na pucolánovou reakci*

*Vyšší teplota urychluje pucolánovou reakci. Hodnoty pevnosti běžně dosahované při teplotě 20°C po jednom roku, lze dosáhnout do 30 dnů, pokud teplota stoupne na 40°C. Při teplotách nižších než 5°C se proces pucolánových reakcí zastavuje.*

## 2) Dlouhodobý růst poměru únosnosti CBR

Nárůst hodnot poměru únosnosti CBR u zemin upravených vápnem byl z dlouhodobého hlediska posuzován Bílkem (1992). Na obrázku 5 jsou uvedeny výsledky zkoušek CBR zemin upravených vápnem po 5-6 letech od realizace na pokusných úsecích na jižní Moravě.

**Obrázek 5** Hodnoty poměru únosnosti CBR zemin upravených vápnem po 5-6 letech (Bílek 1992)



Detry - Begh – Bollens (2005) uvádějí nárůst hodnot CBR vápnem upravených zemin (F6 CL s 7.5 % CaO) v podloží vozovek v Belgii po 30 letech provozu až na CBR=200-300%. Nutno upozornit, že uvedené hodnoty nebyly měřeny *in situ* ani laboratorně, ale byly přepočteny z výsledků dynamické penetrace.

## 3) Syntaktický efekt

Tento jev se objevuje u saturovaných nebo téměř saturovaných měkkých vápenců a slínovců (křídly). Lze jej popsat následovně:

- vápno smíchané s vlhkým pórovitým vápnitým agregátem hydratuje, zároveň způsobuje snižování obsahu volné vody v agregátu a vytváří hydratované vápno
- hydratované vápno s vysokým specifickým povrchem může pokrýt a obalit povrch každého zrna
- snížením vlhkosti působením vápna a výparu vzniká saturovaný roztok karbonátů ve volné vodě a dochází ke krystalizaci kalcitu. Kalcit blokuje póry v zrnech zeminy a zvyšuje jejich pevnost.
- vyšší hodnota pH způsobuje přebytek vápenného obalu a zabraňuje kalcitu v pórech se rozpouštět
- jak vápenný obal rekarbonuje s přebytkem CO<sub>2</sub>, vzniká z něj nehydraulická směs, která spojuje agregát na povrchu vrstvy na kontaktu se vzduchem.

Syntaktický jev vysvětluje, proč je vápno vhodné pro úpravu vlhkých slínovců (křídly) do násypu nebo do podloží násypu.

## **2. Hydraulická pojiva (cement, hydraulická silniční pojiva)**

### **A. Okamžité účinky hydraulických pojiv (cementu a hydraulických silničních pojiv)**

- 1) vysoušení zeminy (snížení okamžité vlhkosti zeminy) probíhá přidáním suché hmoty (hydraulického pojiva. Snížování vlhkosti závisí na množství pojiva, obvykle dojde ke snížení vlhkosti o 0.3-0.5% po přidání cca 1% hydraulického pojiva
- 2) modifikace vlastností jílovité frakce zeminy  
V případě hydraulických silničních pojiv s vysokým obsahem vápna (ať již vápna vzdušného, nebo vápenného hydrátu) okamžité účinky úpravy zahrnují rovněž flokulaci jílových minerálů jako v případě úpravy vápnem.

### **B. Střednědobé a dlouhodobé účinky hydraulických pojiv (cementu a hydraulických silničních pojiv)**

Střednědobé a dlouhodobé účinky úpravy hydraulickými pojivy jsou výsledkem zpevňujících reakcí ovlivňujících pevnost upravovaných materiálů.

Uvedené reakce probíhají ve třech etapách

1.etapa se někdy označuje jako latentní fáze. Jedná se o dobu nutnou k rozpuštění a vysrážení Ca-SI-Fe-Al gelu z volné vody v zeminách. Pohybuje se v rozmezí 2-24, někdy až 48 hodin po zamísení. Jedná se o významnou etapu úpravy zemin, protože určuje dobu zpracování směsi.

2.etapa zahrnuje krystalizaci gelu a zpevňování směsi. Délka druhé etapy se pohybuje v rozmezí několika týdnů pro pojiva s vysokým podílem slinku (struskoportlandské cementy) po několik týdnů pro některá silniční hydraulická pojiva s nízkým obsahem pucolánových pojiv.

3.etapa je označována jako zpevňující. V této etapě jsou vytvořeny všechny Fe-Si – alumináty a pevnost se zvyšuje. Tato etapa může trvat několik týdnů až měsíců v závislosti na typu pojiva.

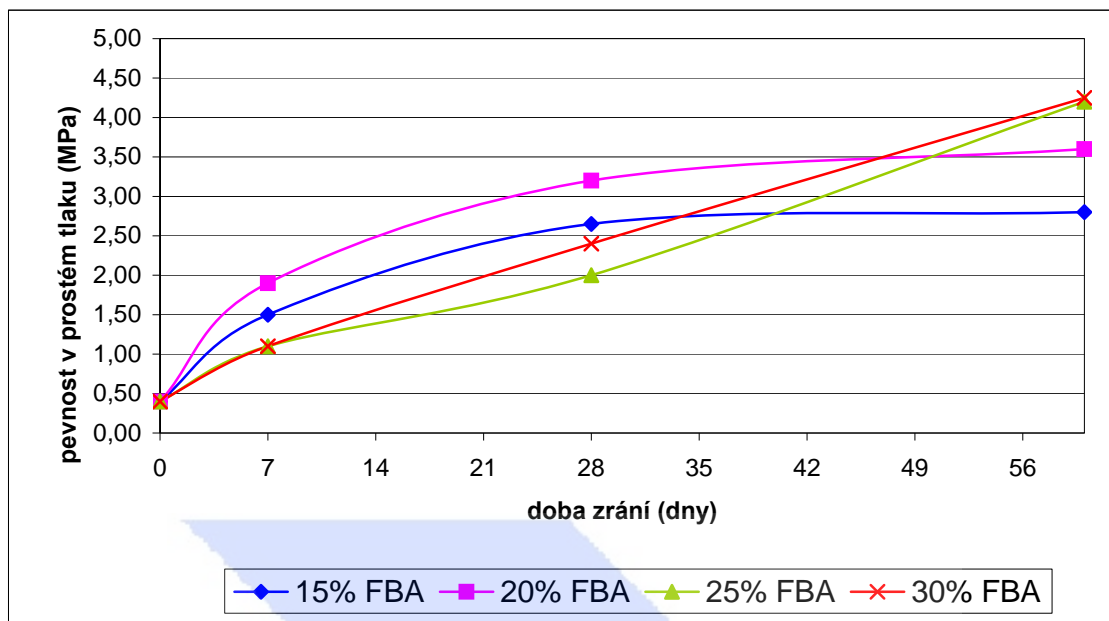
## **3. Popílek**

Popis účinků popílků při úpravě zemin je podrobně popsán v TP 93

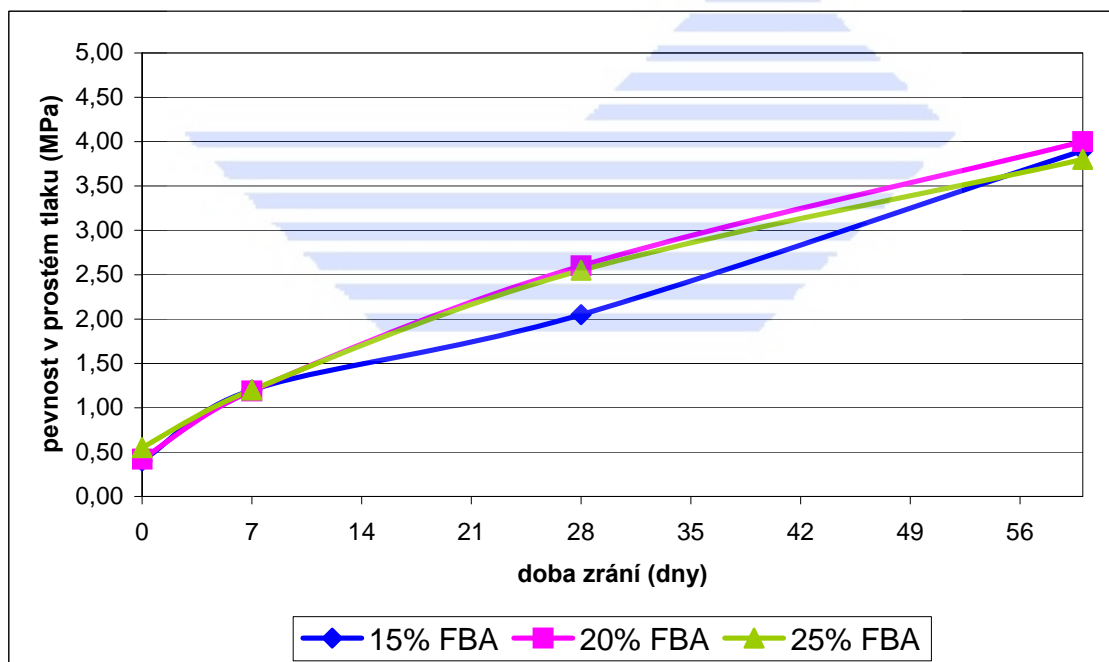
### a) zvýšení pevnosti směsi zemin a popílku

S rostoucím časem roste pevnost v prostém tlaku směsí jemnozrnných zemin a popílků. Růst pevnosti závisí rovněž na plasticitě zemin (viz obrázky 6-8).

**Obrázek 6** Závislost hodnoty pevnosti v prostém tlaku na době zrání jílu s nízkou plasticitou (CL) upravených popílkem (FBA) (Pandey et al. 2000)

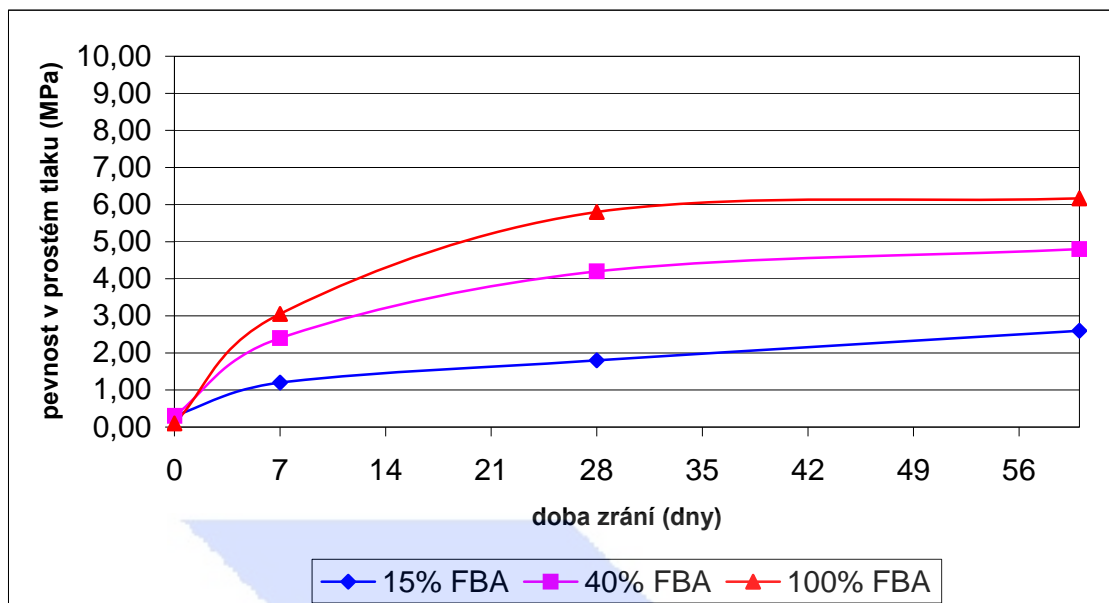


**Obrázek 7** Závislost hodnoty pevnosti v prostém tlaku na době zrání siltů s nízkou plasticitou (ML) upravených popílkem (FBA) (Pandey et al. 2000)





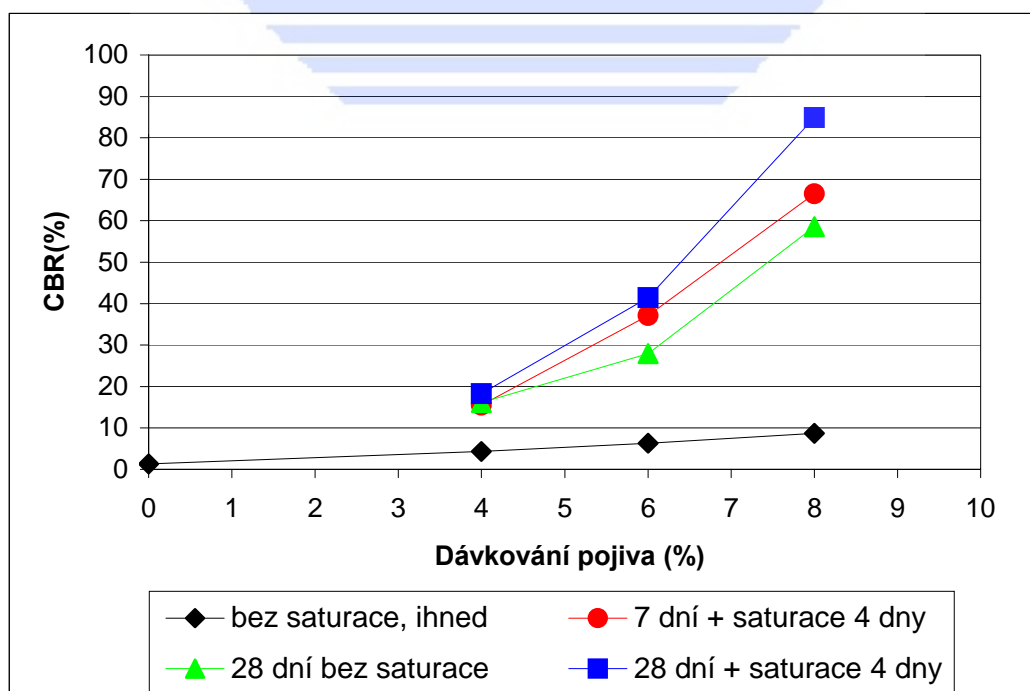
**Obrázek 8** Závislost hodnoty pevnosti v prostém tlaku na době zrání jílu s vysokou plasticitou (CH) upravených popílkem (FBA) (Pandey et al. 2000)



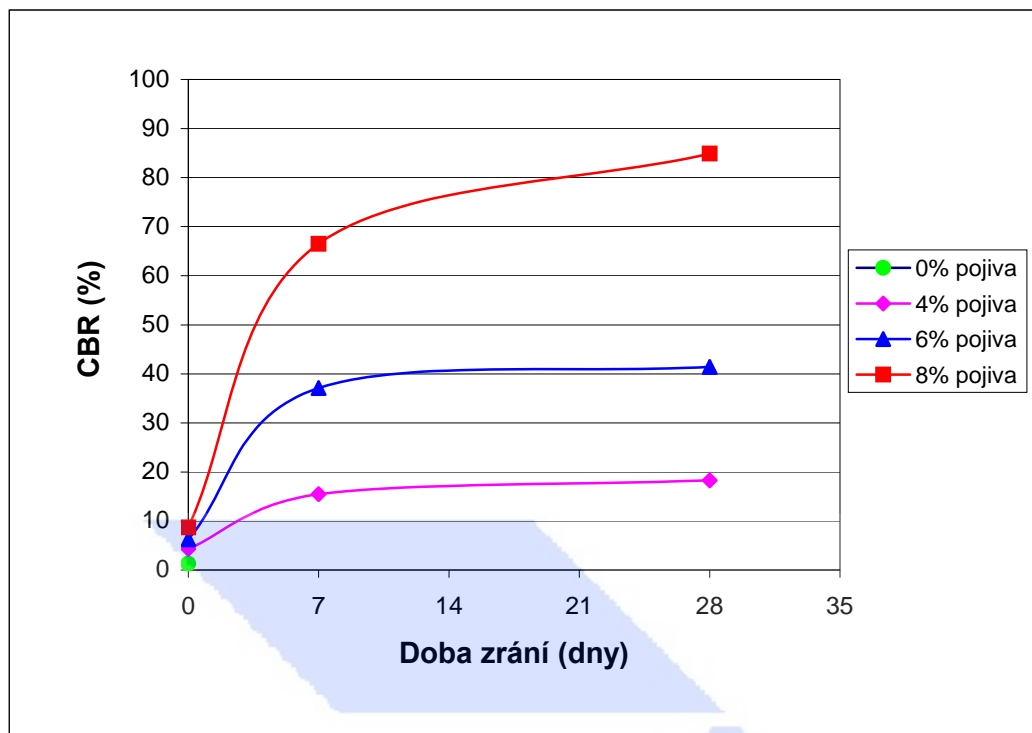
b) nárůst hodnoty CBR

Růst hodnoty CBR směsi popílků a zemin je pomalejší než v případě vápna nebo cementu. Je to dáno nižším podílem volných kationtů  $Ca^{2+}$  v popílcích. Nárůst hodnoty CBR ve směsi fluidního popílku z Třineckých železáren, vápna a sprašové hlíny (F6 CI) je zobrazen na obrázcích 9 a 10.

**Obrázek 9** Závislost hodnoty CBR zeminy (CI) upravené směsným pojivem (popílek:vápno 80:20%) na saturaci vzorků, obsahu pojiva a době zrání (Kresta 2006)



**Obrázek 10** Závislost hodnoty CBR po saturaci (4 dny) zeminy upravené pojivem (80% popílku:20% vápna) na obsahu pojiva a době zrání (Kresta 2006)



#### 4. Vysokopecní struska

Granulovaná vysokopecní struska je latentně hydraulická látka, vznikající rychlým ochlazením vhodně složené tekoucí taveniny zásadité strusky, která odpadá jako vedlejší zplodina při výrobě surového železa ve vysoké peci. Je-li tavenina strusky rychle zchlazena vodou, zabrání se její krystalizaci, takže se stabilizuje její sklovitý charakter. Rychlé ochlazení má udržet strusku ve skelném stavu, neboť hlavně taková má při vhodném složení latentně hydraulické vlastnosti. Je schopna v alkalickém prostředí reagovat za přítomnosti síranů na hydráty podobným způsobem jako portlandský slínek.

Rychlým zchlazením struskové taveniny vodou vzniká produkt vzhledu hrubého písku, který má bezprostředně po granulaci 30% vody. Toto množství se během skladování a dopravy sníží, ale při mletí strusky je nutno počítat s určitou vlhkostí.

Chemické složení vysokopecních strusek, stejně jak je tomu u většiny druhotných surovin, je dosti proměnné.

Z hlediska využití vysokopecních granulovaných strusek pro výrobu pojiv je rozhodující jejich chemické a fázové (mineralogické) složení. Tyto dva parametry významně ovlivňují jejich latentní hydraulické schopnosti. Na základě obsahu jednotlivých sloučenin ve strusce lze její kvalitu hodnotit pomocí modulů, stejně jak je tomu u cementů.

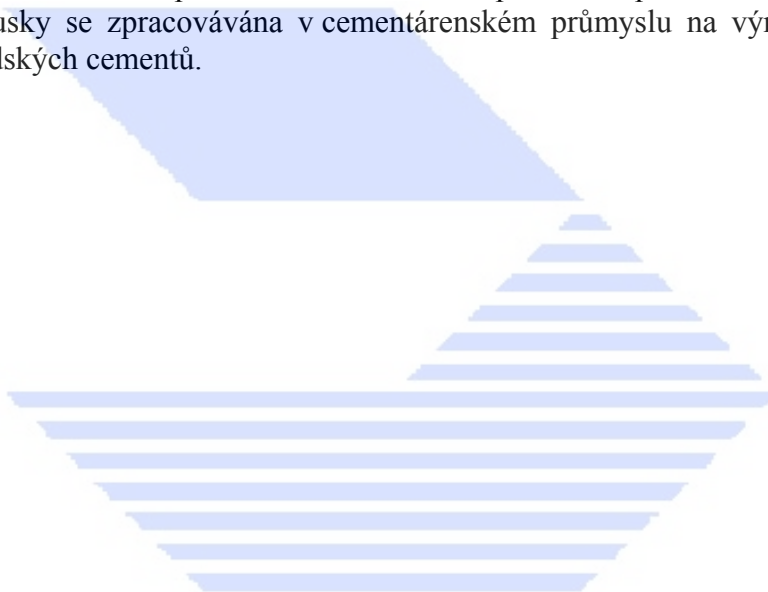
Při pomalém ochlazení přechází zásadité strusky do krystalického stavu a hrozí zde nebezpečí silikátového rozpadu strusky, což je ve své podstatě modifikační přeměna  $\beta$  - C2S na  $\gamma$  - C2S, která je provázána zvětšením objemu konečného produktu cca o 10% a snížením objemové hmotnosti.

U kyselých tavenin při jejich chlazení poměrně rychle narůstá jejich viskozita, takže zde nejsou tak vhodné podmínky pro vznik krystalické struktury.

U strusek může dojít dále k železnatému a manganatému rozpadu. Železnatý rozpad způsobuje FeS obsažený ve strusce. Ve vlhkém prostředí dochází k oxidaci  $\text{Fe}^{2+}$  na  $\text{Fe}^{3+}$  za současného vzniku síranu železnatého i železitého. Objem produktů reakce se zvětšuje cca o 40%. Manganatý rozpad - mechanismus je obdobný jako u železnatého, ale způsobuje ho MnS. I zde dochází ke zvětšení objemu vzniklého produktu –  $\text{Mn}(\text{OH})_2$ , což může mít za následek rozpad strusky.

Nebezpečí rozpadu granulovaných strusek spočívá v tom, že procesy vedoucí k jejich rozpadu jsou velice pomalé. Negativním faktorem při využívání strusek je jejich rekrystalizace. Vzniká gehlenit, akermanit a další fáze. To má za následek zhoršování fyzikálně - mechanických vlastností produktů z nich vyrobených.

Vysokopecní struska se k úpravě zemin v České republice nepoužívá. Většina produkce vysokopecní strusky se zpracovávána v cementářenském průmyslu na výrobu struskových a struskoportlandských cementů.



## **PŘÍLOHA P2 (informativní) ÚPRAVA PROBLÉMOVÝCH ZEMIN (VYSOCE PLASTICKÉ JÍLY, ORGANICKÉ ZEMINY)**

Úprava zemin označovaných dle ČSN 73 6133 jako zeminy nepoužitelné k jakémukoliv použití (zeminy CE, ME, zeminy s vysokým obsahem organických látek nad 6%) je rovněž možná, avšak závisí vždy na ekonomickém posouzení nákladů na úpravu s jinými opatřeními navrženými v dané lokalitě (např. odtěžení a nahrazení za jiný, vhodnější materiál apod.).

Při úpravě vysoce plastických jílu a hlín, případně organických zemin, je nutno k jednotlivým případům přistupovat individuálně

Obvykle se uvedené zeminy upravují vápnem v kombinaci s jinými pojivy nebo mechanickou úpravou. Dávkování vápna je vyšší než u ostatních zemin (obvykle 5-7%), protože část vápna se spotřebuje na neutralizaci huminových kyselin, které se uvolňují z organické hmoty.

Dále se doporučuje upravit křivku zrnitosti přidáním zrnitého materiálu (např. lomové výsivky frakce 0-4 mm) nebo popílku. Touto úpravou se lépe rozdruží vysoce plastická jílovitá hmota a pojivo se snadněji promísí se zeminou. Bez úpravy křivky zrnitosti často skončila úprava vysoce plastických jílu tak, že výsledkem byly hrudky jílu obalené pojivem.

Ve většině případů je nutno pro kvalitní úpravu těchto zemin provést několikrát pojezd zemní frézou.

### **Případová studie**

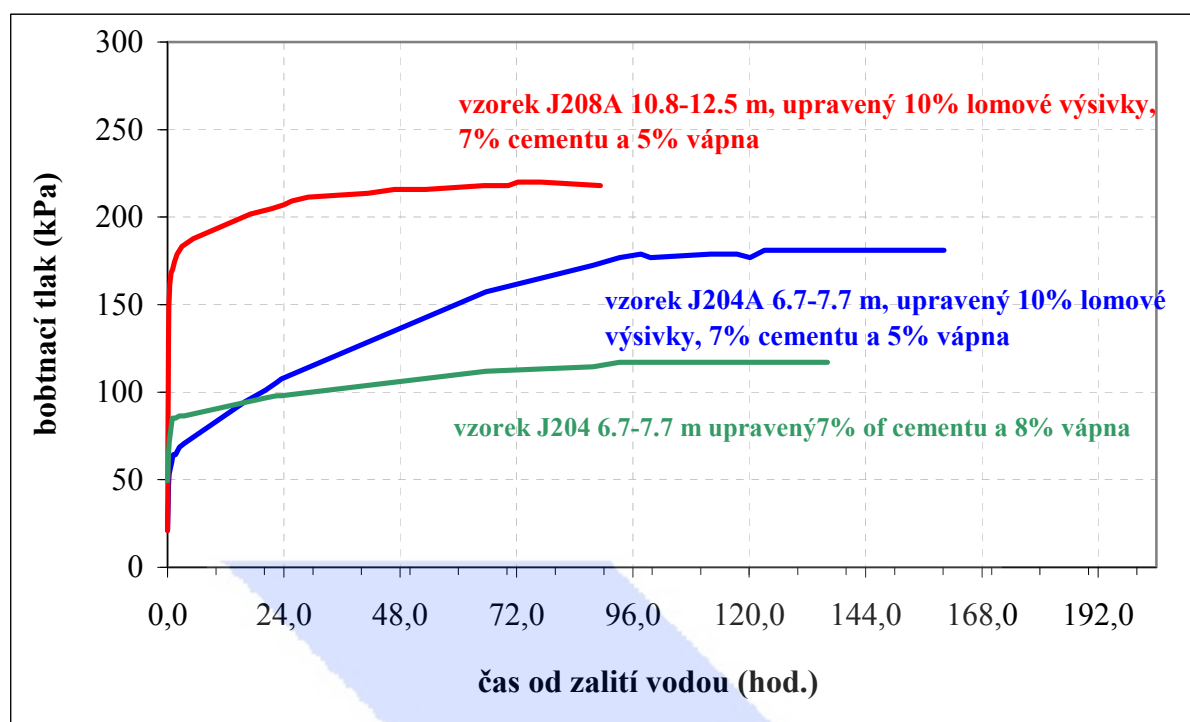
V úseku přeložky železniční trati Třebovice – Rudoltice (u České Třebové) se na úrovni zemní pláně v hlubokém zářezu nacházely miocenní jíly s velmi vysokou plasticitou (F8 CV) s vysokým obsahem organické hmoty (až 12%), které jsou vysoce bobtnavé (bobtnací tlak dosahuje až 250 kPa). Jíly jsou pevné konzistence (neodvodněná smyková pevnost dosahuje 250-300 kPa). Tento fakt vylučoval možnost provádění hloubkového zlepšování (deep soil mixing), které je standardní metodou v zahraničí.

Laboratorně byla proto ověřována možnost úpravy těchto zemin *in situ* zemní frézou. Vzhledem k omezeným finančním a časovým možnostem nebylo možno provést komplexní analýzu a návrh úpravy byl proveden odhadem.

Jako vhodná se jevila receptura zahrnující smísení jílu s lomovou výsivkou (10%) a přidáním 5% vápna a 7% cementu. Lomová výsivka sloužila k “naředění“ jílu a umožnila jejich lepší zpracovatelnost. Vyšší podíl vápna sloužil jednak k neutralizaci huminových kyselin, které se uvolňují z organické hmoty, jednak k úpravě vlastností jílu.

V laboratorních podmínkách vysoce plastické jíly upravené touto recepturou již výrazně nebobtnaly (lineární bobtnání kleslo pod 1%) a smykové a deformační vlastnosti se výrazně zlepšily. Hodnoty CBR upravených jílu stouply z 6-8% na 25-30%, což plně vyhovovalo pro použité do násypových těles (CBR>10%). Závislost bobtnacího tlaku upravených miocenních jílu na čase je prezentována na obrázku 1.

**Obrázek 1 Závislost bobtnacího tlaku vzorků upravených miocenních jíílů na čase**



Navržená receptura byla na stavbě probíhající v roce 2005 úspěšně aplikována. Monitoring probíhající v průběhu výstavby ani po jejím dokončení neprokázal jakékoliv objemové změny jíílů upravených navrženou recepturou.

#### Srovnání parametrů zemin před a po zlepšení

- 1) Objemové změny (bobtnání) zemin upravených lomovou výsivkou (10%), cementem (7%) a vápnem (5%) dosahovaly hodnoty 1.325% (J204A 6.7-7.7. m) a 0.918 % (J208A 10.8-12.5 m) a byly cca pět až šest krát nižší než v případě neupravených miocenních jíílů. Při aplikaci receptury s cementem (7%) a vápnem (8%) dosahovaly hodnot 2.41% (J204A 6.7-7.7 m), což je cca 1.5 krát nižší než v případě neupravených miocenních jíílů
- 2) Hodnoty bobtnacího tlaku stanovené ve zkoušce, kdy byly objemové změny sledovány ihned po zalití vzorku vodou, byly v případě receptury s lomovou výsivkou (10%), cementem (7%) a vápnem (5%) vyšší – 181.09 kPa (J204A 6.7-7.7 m), než v případě receptury tvořené pouze cementem (7%) a vápnem (8%) – 117.08 kPa (J204A 6.7-7.7 m)
- 3) Velikost bobtnacích tlaků a bobtnání zásadně ovlivňuje obsah organických látek. Vyšší hodnoty bobtnacích tlaků u aplikace receptury s nižším obsahem vápna byly dány vysokým obsahem organických látek. Při obsahu vápna 5% a obsahu organických látek 6.6% a 4.7% nedošlo pravděpodobně ke zreagování všech huminových kyselin uvolňovaných z organických látek.
- 4) Z časové závislosti hodnot bobtnacího tlaku vyplývá, že 60-95% výsledné hodnoty tvoří bobtnací tlak, který se naměřil po 24 hodinách od zalití vzorku. Lze tedy předpokládat, že 50% objemových změn se projeví do jednoho dne od zalití upravených zemin vodou.

- 5) Pevnostní parametry upravených zemin výrazně vrostly oproti zeminám neupraveným. Hodnoty CBR byly vyšší než 25%. Výrazně se zvýšily hodnoty efektivní soudržnosti a dosahovaly hodnot nad 40 kPa.
- 6) Deformační parametry upravených zemin byly nižší než parametry zemin neupravených, což je dáno porušením vazeb v původní zemině při procesu úpravy.



## **PŘÍLOHA P3 (informativní)**

### **ÚPRAVA ZEMIN V AGRESIVNÍM PROSTŘEDÍ**

Charakter většiny pojiv používaných při úpravě zemin je zásaditý, a proto je za agresivní prostředí považováno prostředí s kyselým pH ( $\text{pH} < 7$ ). Ověření vlastností zemin s ohledem na potenciální problémy s jejich úpravou z hlediska chemismu je úkolem geotechnického průzkumu.

Zeminy s kyselým pH a zeminy s vyšším obsahem síry jsou obtížně upravitelné. Lze je upravit přidáním pojiv, avšak efekt úpravy musí být porovnán s náklady na případná další opatření, která by bylo nutno provést. Přístup k návrhu úpravy těchto zemin je vždy individuální.

Působením sulfátů na vápnem nebo cementem upravené zeminy vzniká etringit ( $\text{Ca}_2(\text{Al}(\text{OH})_6)_2(\text{SO}_4)_3 + 26 \text{H}_2\text{O}$ ). Etringit tvoří malé vláknité krystaly a způsobuje rozpad krystalické struktury vlivem bobtnání při krystalizaci.

Výsledkem bobtnání při krystalizaci etringitu mohou být zvlněné povrchy komunikací dosahující až 0.50 m.

Při úpravě zemin s kyselým pH, případně s vysokým obsahem sulfátů lze doporučit mechanickou úpravu, avšak ta je v případě jemnozrných zemin často neúčinná.

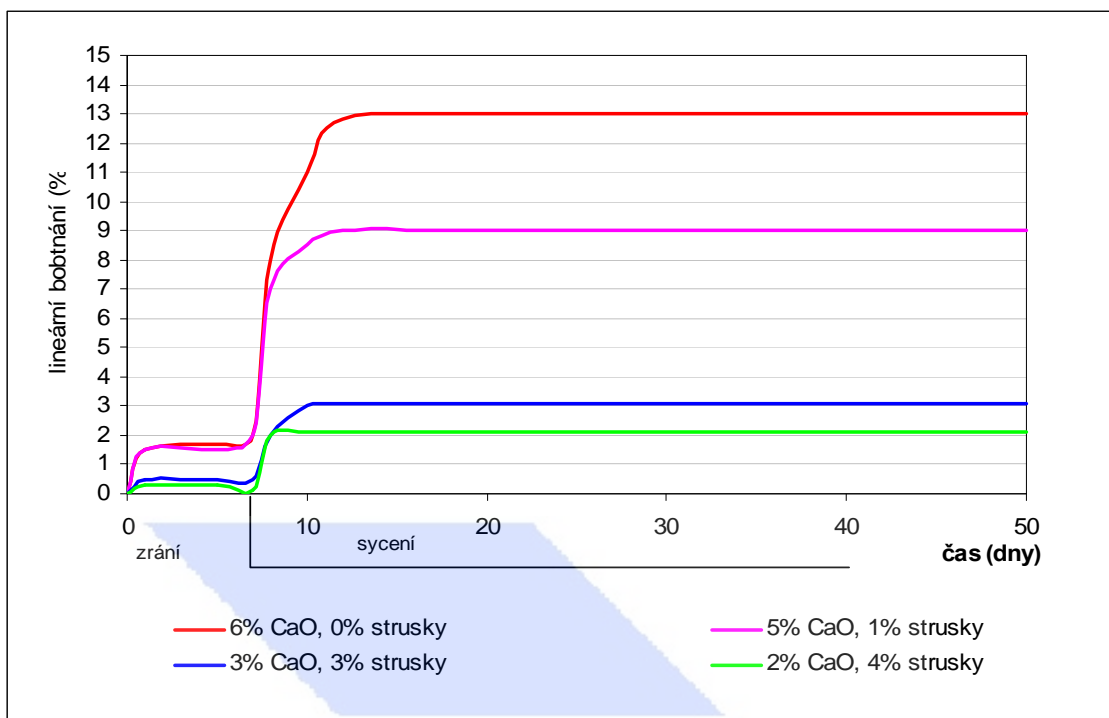
Při úpravě zemin s kyselým pH bez přítomnosti sulfátů lze doporučit úpravu jemnozrných zemin vápnem s vyšším dávkováním (5-8%). Část vápna se spotřebuje při neutralizaci kyselého prostředí. Lze rovněž použít kombinaci pojiv nebo kombinaci úpravy mechanické a úpravy pojivy.

V případě výskytu vysokého obsahu sulfátů, který může způsobit vznik etringitu a tedy bobtnání, se doporučuje úprava zemin vysokopecní struskou.

Příkladem může být úprava jílu s 2.8%  $\text{SO}_3$  (Higgins 2005)



**Obrázek 1** Závislost lineárního bobtnání jílu s obsahem 2.8% SO<sub>3</sub> na čase po úpravě vápnem a vysokopecní struskou (Higgins 2005)



V každém případě musí být způsob úpravy zemin v agresivním prostředí prokázán zkouškami s důrazem na posouzení objemové stálosti směsi v čase zkouškou bobtnání.

## PŘÍLOHA P4 (informativní) ŘEŠENÍ NĚKTERÝCH PRAKTICKÝCH PROBLÉMŮ PŘI ÚPRAVĚ ZEMIN

V této příloze jsou uvedeny některé problémy spojené s úpravou zemin a způsob jejich řešení.

### 1) Volba pojiva pro úpravu zemin

Pro úpravu jílovitých zemin střední a vysoké plasticity, spraší a sprašových hlín se doporučuje použít vápno podle ČSN EN 14 227-11, pro úpravu zemin s nízkou plasticitou se doporučuje použít cement nebo hydraulické silniční pojivo podle ČSN EN 14 227-10 nebo ČSN EN 14 227-13. Použití popílku podle ČSN EN 14 227-14 je možné všude tam, kde lze dosáhnout požadovaných parametrů a dále zejména při budování vrstevnatých násypů. Při použití vápenatých popílků je nutné posoudit objemové změny upravené zeminy.

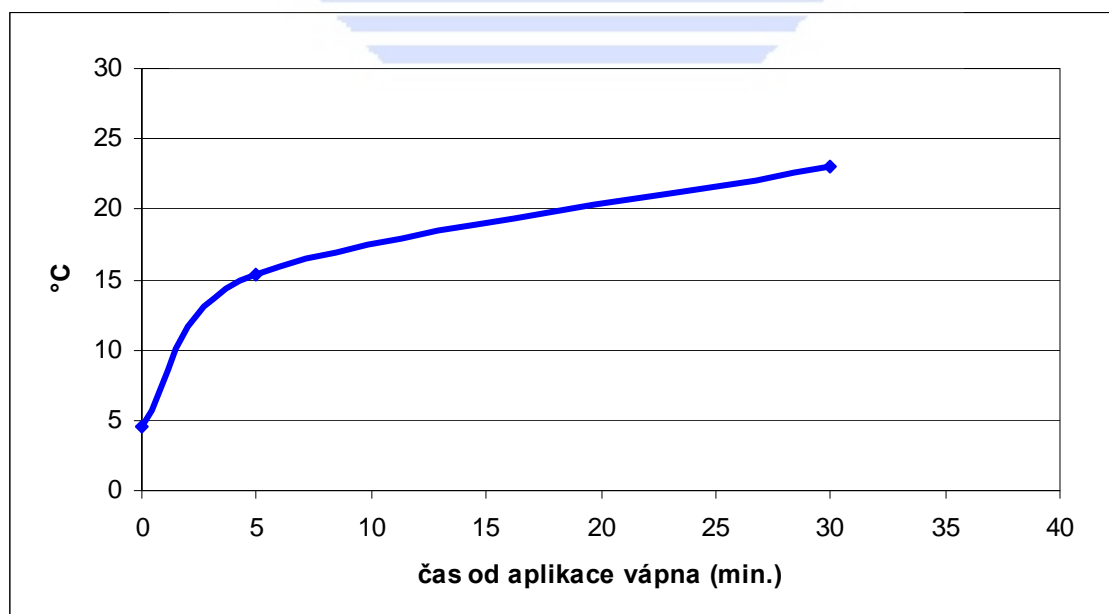
Uvedená doporučení nejsou dogmatická. Vždy je třeba vycházet z aktuálních vlastností zemin určených k úpravě (zrnitostní složení, Atterbergovy meze apod.). Důležitou roli v rozhodovacím procesu hraje rovněž ekonomická analýza nákladů na úpravu jednotlivými druhy pojiv.

### 2) Provádění úpravy zemin vápnem při nízkých teplotách

Zeminy upravované vápnem se smějí zpracovávat do  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , zeminy upravované cementem pouze do  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Uvedené teploty se týkají teploty zeminy, nikoliv vzduchu.

Vápnem lze upravovat i zeminy s teplotou nižší, pokud se podaří nastartovat reakci. Při úpravě vápnem se uvolňuje teplo, které zeminu zahřívá. K tomuto kroku (úprava zemin při nízkých teplotách) je však nutno přistupovat velmi obezřetně a po zralé úvaze pouze tehdy, hrozí-li nebezpečí z prodlení.

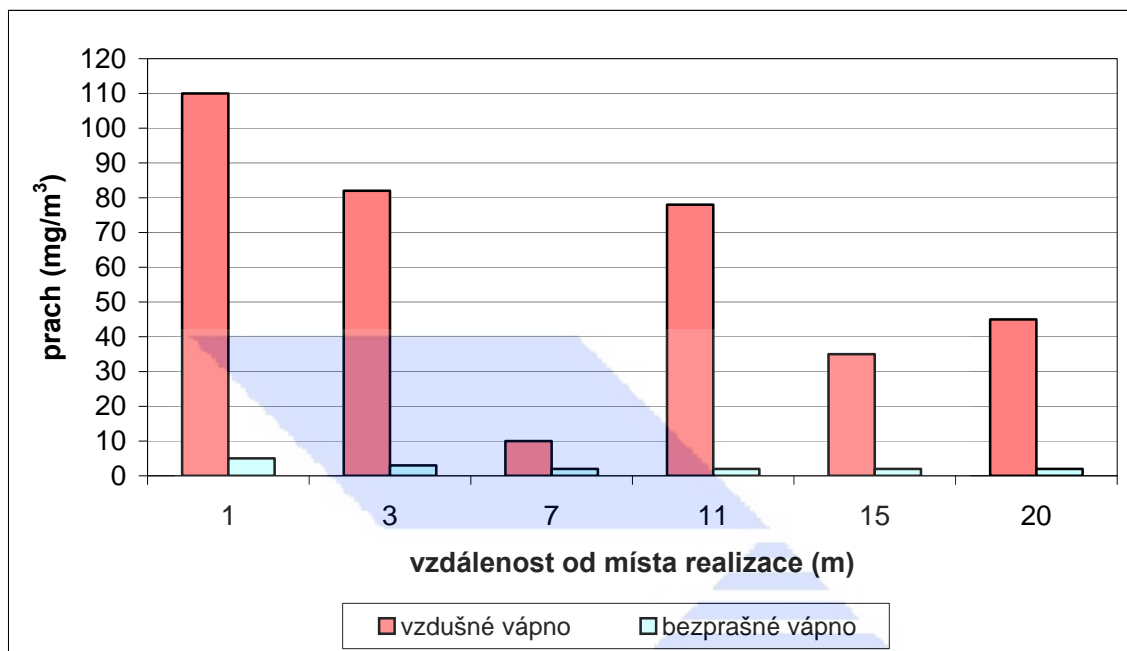
**Obrázek 1** Závislost teploty zeminy (F6 CI) po její úpravě vápnem na čase (6.2.2002, Liberec)



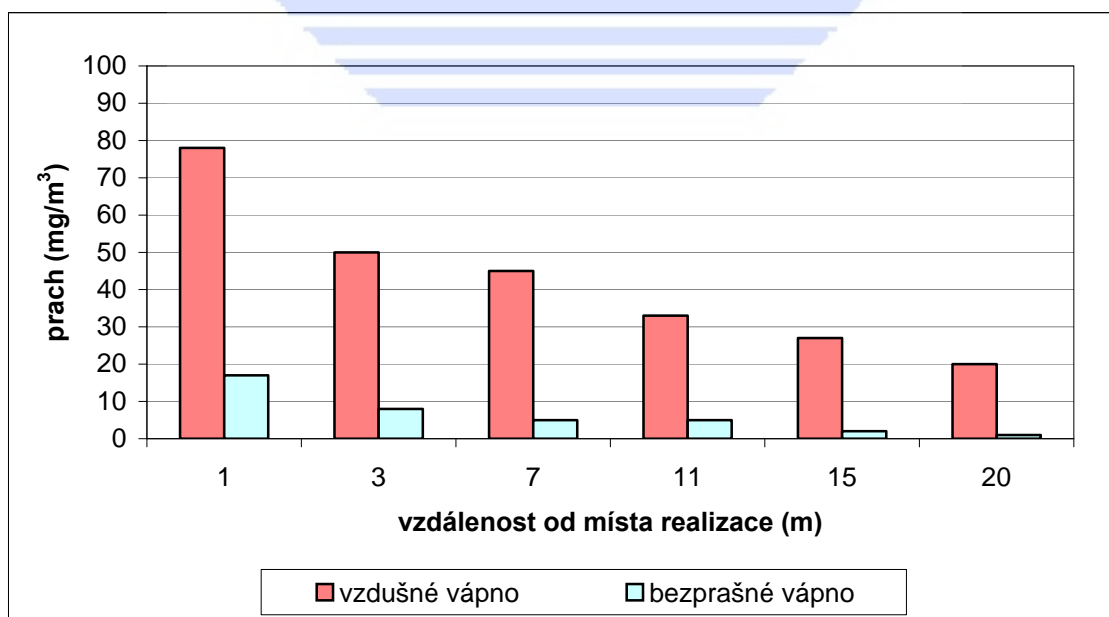
### 3) Prašnost a její snižování (bezprašná vápna)

V intravilánech obcí a chráněných oblastech je vhodné používat pojiva s nízkou prašností (např. bezprašná vápna). Šíření prašných částic je až desetinásobně nižší než při použití standardních materiálů (obrázek 2 a 3).

**Obrázek 2** Šíření prašných částic při dávkování vápna (upraveno dle materiálů firmy Lhoist)



**Obrázek 3** Šíření prašných částic při zapracování vápna zemní frézou (upraveno dle materiálů firmy Lhoist)



#### **4) Příčiny rozporů ve výsledcích laboratorních zkoušek a zkoušek po realizaci úpravy na stavbě (obvykle jsou parametry upravených zemin na stavbách horší než při laboratorních zkouškách)**

a) vlhkost zeminy v terénu je vyšší než při zkouškách v laboratoři

Řešení:

Vždy je nutno provést stanovení vlhkosti zeminy před její úpravou.

b) zemina se v úseku upravovaném pojivý mění (mění se zrnitost a plasticita)

Řešení:

Vždy je nutno provést zatřídění jednotlivých typů zemin v úseku a neprovádět pouze jedno stanovení receptury pro jejich úpravu.

c) Na upravené zemině nelze dosáhnout požadovaných parametrů dle projektové dokumentace (míra zhutnění)

Vrstva upravené zeminy není pravděpodobně dostatečně zhutněná a obsahuje více než 12% vzduchových pórů. Při větším množství vzduchových pórů byla sypanina pravděpodobně hutněna na suché straně Proctorovy křivky. To znamená, že zhutněná zemina může být náchylná k prosedání, nebo že dojde k opožděné reakci pojiva, po dodatečném zvlhčení zeminy.

Řešení:

Upravenou zeminu je nutno znovu přehutnit, případně zopakovat zhutňovací zkoušku.

d) Na upravené zemině nelze dosáhnout požadovaných parametrů dle projektové dokumentace (modul deformace)

Dosah statické zatěžovací zkoušky deskou je obvykle vyšší, než je mocnost zkoušené vrstvy (v tomto případě vrstvy upravené zeminy). Obvykle se uvádí dosah cca 0.7-1.0 m, avšak v literatuře jsou i případy plně nasycených zemin, kdy je uváděn dosah až 2.0 m. Pokud se pod vrstvou upravené zeminy nacházejí plně saturované jemnozrné zeminy (ve většině případů jde o zeminy stejného geotechnického typu se stejnou zrnitostí a plasticitou, které jsou v jejich nadloží upravovány), může jejich velmi nízkým modul deformace ovlivnit výsledky v nadloží. Tento problém nastává v případě, kdy jsou upravené zeminy navrženy jako aktivní zóna v zářezech, kdy jsou požadovány velmi vysoké hodnoty modulu deformace. Informace o charakteru zemin při úpravě i v podloží upravené vrstvy by měly být známy z geotechnického průzkumu a projektant by je měl vzít v potaz.

Řešení:

V případě nejasností by měla být na stavbě před zahájením prací provedena velkorozměrová zkouška, zda lze navrženou úpravou v dané mocnosti a v dané lokalitě dosáhnout požadovaných parametrů. Pokud nelze tímto způsobem dosáhnout požadované kvality, pak je nutno přistoupit k jiným technickým opatřením (zvýšení mocnosti úpravy zeminy, výměna podloží apod.).

Výčet problémů při úpravách zemin není konečný. Autor TP 94 uvítá jakékoliv připomínky zhotovitelů i se způsobem řešení jednotlivých problémů.

## **PŘÍLOHA P5 (informativní)** **STANOVENÍ MNOŽSTVÍ POJIVA PRO ÚPRAVU ZEMIN**

Pro výpočet dávkování množství pojiva v kg na jednotku plochy (obvykle 1 m<sup>2</sup>), známe-li procentuální podíl pojiva, lze použít vztahu (1)

$$m = \frac{h \cdot A \cdot \rho_{d \max}}{100} \cdot p \quad (1)$$

kde

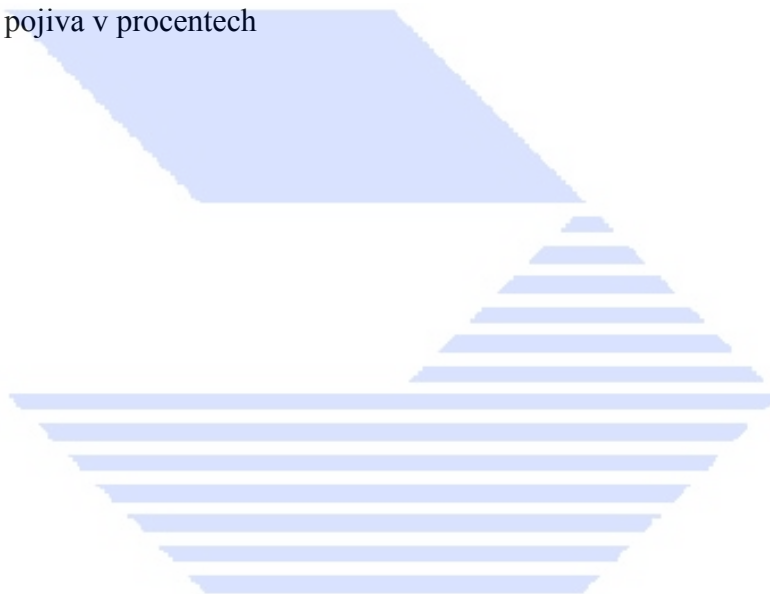
m – je hmotnost pojiva na jednotku plochy (kg)

h – je mocnost upravované vrstvy, resp. hloubka záběru zemní frézy (m)

A – je plocha, pro kterou určujeme dávkování (obvykle 1 m<sup>2</sup>) (m<sup>2</sup>)

$\rho_{d \max}$  – je maximální objemová hmotnost neupravené zeminy dle zkoušky Proctor Standard (kg.m<sup>-3</sup>)

p – je dávkování pojiva v procentech





## TECHNICKÉ PODMÍNKY STAVEB POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

- Číslo: TP 94
- Název: Úprava zemin
- Vydalo: Ministerstvo dopravy  
odbor pozemních komunikací
- Zpracovatel: ARCADIS Geotechnika a.s.,  
RNDr. František Kresta, Ph.D.
- Technická rada: Ing. Jaroslav Hauser, CSc. (Geostar spol. s r.o.)  
Ing. Jaroslav Havelka (TPA ČR, s.r.o.)  
Ing. Vítězslav Herle (ARCADIS Geotechnika a.s.)  
RNDr. Vladimír Köllner (Ředitelství silnic a dálnic ČR)  
Mgr. Václav Mráz. (Ministerstvo dopravy ČR – odbor pozemních komunikací)  
Ing. Tomáš Onderka (RTON Stabilizace spol. s r.o.)  
Ing. Jiří Šmíd (Ředitelství silnic a dálnic ČR)  
Ing. Jan Zajíček (APT Servis)
- Distributor: ARCADIS Geotechnika a.s., Geologická 4  
152 00 Praha 5

1. vydání - 2013 - 400 výtisků