

PODKLADNÍ VRSTVY A PODLOŽÍ VOZOVEK

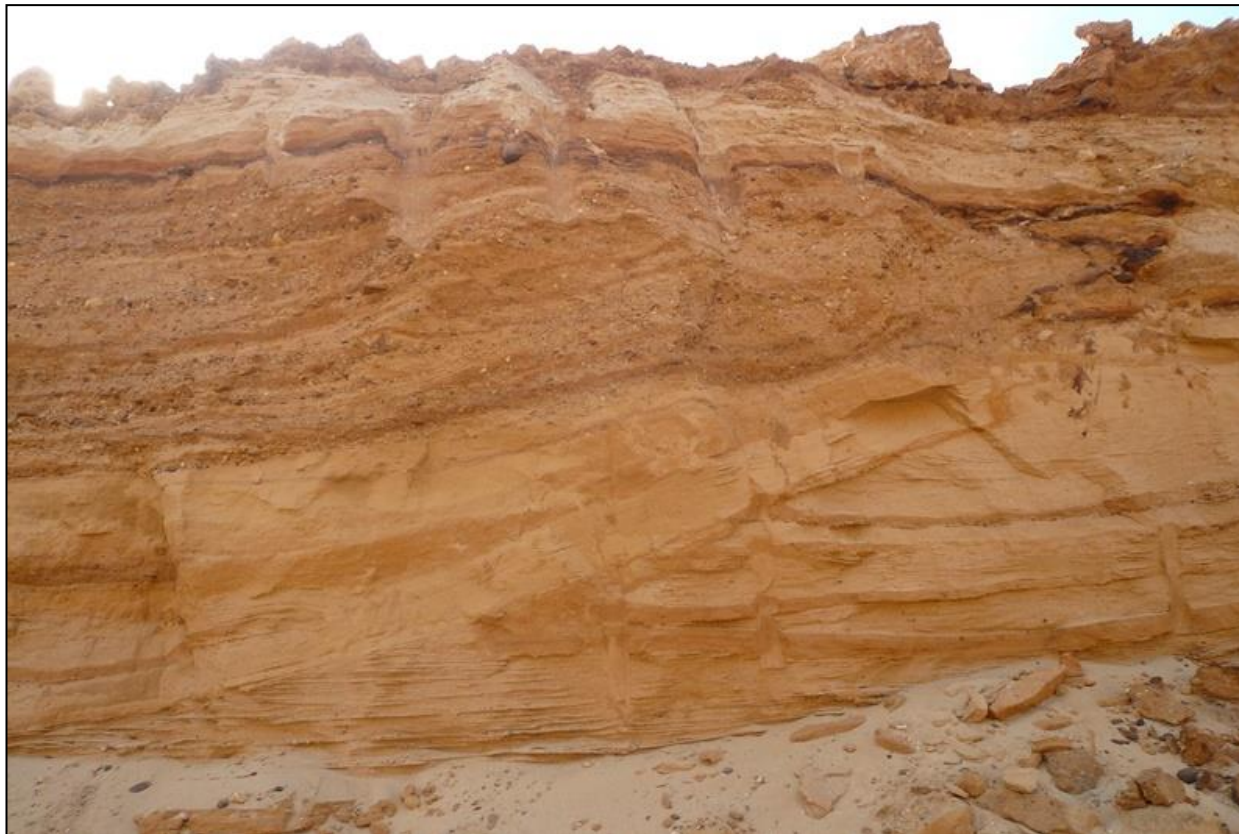
Průkazní zkoušky písčitých fluviačních sedimentů

Ing. Jaroslav Havelka, TPA ČR, s.r.o.

22. 11. 2016



Úvod



Obr.1

**Glacifluviální sedimenty
v nadloží glacialakustrinních
písčitých uloženin
sálského ledovce**

Úvod



Obr.2
Zářez ve 12. km trasy
silnice I/11 - Prodloužená
Rudná

Vznik a charakteristika písčitých fluviačních sedimentů

Vznik písčitých sedimentů

V posledních letech bylo možné se v trasách novostaveb státní silniční sítě často setkat s horninovým prostředím tvořeným písčitymi sedimenty různé geneze. Původ písčitých akumulací je jak fluviální, tak eluviální (např. eluviální rozsyp kvádrových pískovců na I/38 Debrž) nebo eolický (např. váté písky v trase D3).

Specifické postavení mají písčité sedimenty severní části Moravské brány v jihozápadní části Ostravské pánve. Jejich prapůvod je glaciální, avšak samotné akumulace mají již málo společného s primárními uloženinami ledovce, jako jsou morény či tilly a genezi jejich výplní lze klasifikovat jako periglaciální, spíše však jako glacifluviální, glacialakustrinní (Obr. 1 a 2) a lakustrinní (jezerní), respektive fluvialakustrinní, zjednodušeně fluviatilní.

Vznik písčitých fluviačních sedimentů

Středně pleistocenní severoevropský ledovcový štít zasáhl území dnešní Ostravské pánve dvakrát ve formě rozsáhlého výběžku z Polska. Oba štíty kontinentálního zalednění se zastavily v povodí Odry a měly prakticky obdobný regionální rozsah, přičemž mladší, sálské zalednění je považováno za maximální. Důležitým vůdčím horizontem jsou fluviační písčité štěrky hlavní oderské terasy (obr.3), dosahující výšky 12-15 m nad vodními toky.

Glacilakustrinní a glacifluviální uloženiny sálského ledovce překračují hlavní evropské rozvodí v úseku Porubské brány a vstupují až do povodí Černého moře.

Starší, Elsterské (halštrovské) zalednění mělo menší rozsah a nepřekročilo rozvodí. Jeho sedimenty se zachovaly v podloží sálských uloženin (obr.4) a ve výplních subglaciálních depresí.

Vznik písčitých fluviačních sedimentů



Obr.3

Vůdčí horizont fluviačních písčitých štěrků hlavní oderské terasy, vybíhající diagonálně na den

Vznik písčitých fluviačních sedimentů



Obr.4

**Diageneticky zpevněné
písky pravděpodobně
halštrovského glaciálu
v podloží sedimentů
sálského zalednění**

Vznik písčitých fluviačních sedimentů

Transportním médiem, které se podílelo výhradně na struktuře souvrství písků, a na jejich frakčním vytrídění jsou tavné vody ustupujícího ledovce. Ty, podle typu dynamických účinků (říční tok nebo jezerní vlny) daly vznik charakteristickým sedimentům (obr. 1, 2, 5-8).

Aktuálně se tento reliéf objevil v zářezu trasy silnice I/11 Prodloužená Rudná a v nedávné minulosti v zářezu D1, stavebním úseku 4707. Především tomuto typu písčitých akumulací je příspěvek věnován.

Vznik a charakteristika písčitých fluviatilních sedimentů



Obr.5

**Rytmicky laminované
lakustrinní písčité
sedimenty v podloží
glacifluviálních uloženin
v zářezu silnice I/11 -
Prodloužená Rudná**

Vznik a charakteristika písčitých fluviatilních sedimentů



Obr.6

**Vysrážené oxidy manganu
a železa na vrstevních
plochách souvrství**

Vznik a charakteristika písčitých fluviačních sedimentů



Obr.7

**Jezerní čerňiny překryté
nadložní vrstvou
sedimentačního cyklu**

Vznik a charakteristika písčitých fluviačních sedimentů



Obr.8

**Křížové zvrstvení
glacifluviálních písků
zvýrazněné větrnými
voštinami po obnažení
profilu souvrství**

Charakteristika písčitých fluviačních sedimentů

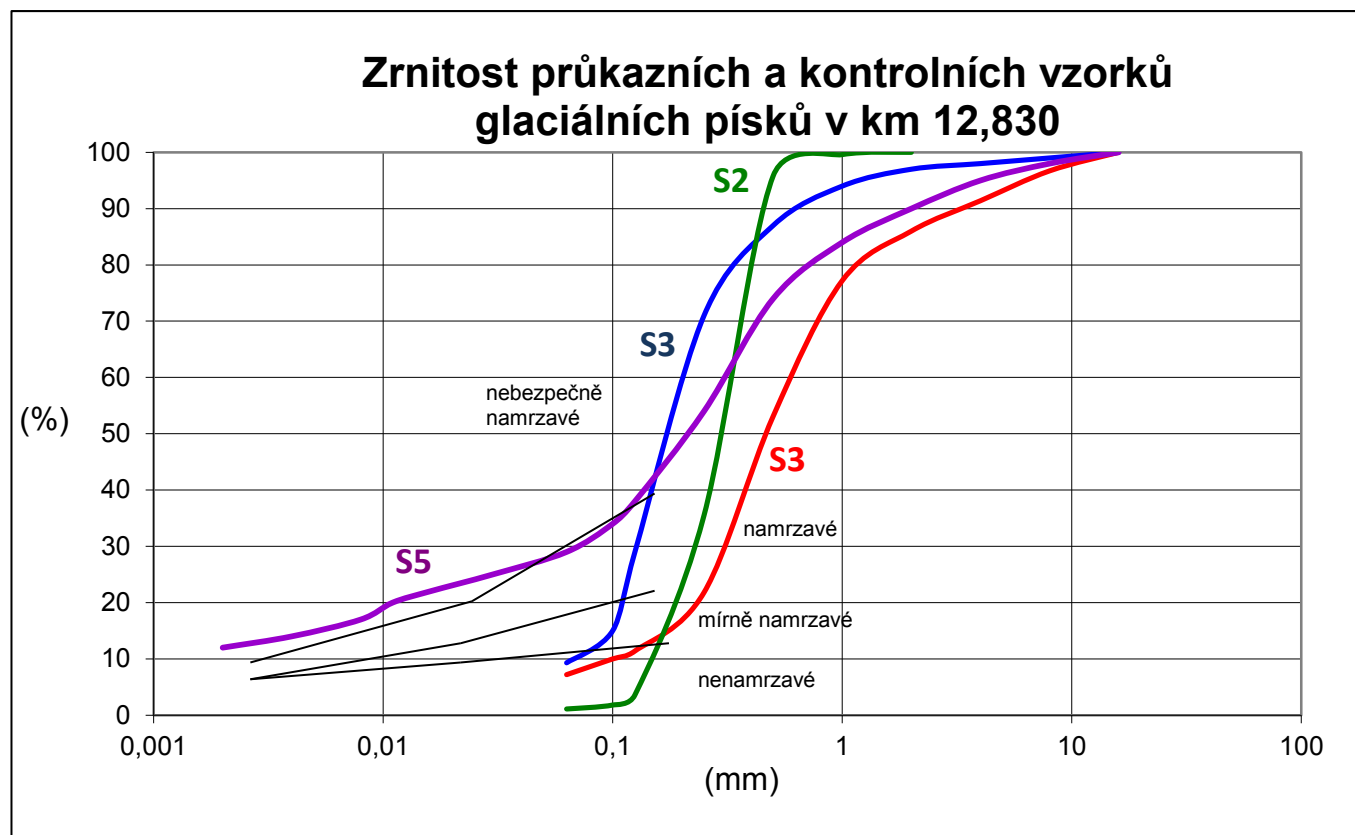
Charakteristickým rysem zmíněných písků je frakční vytrídění před sedimentací, tedy stejnozrnnost (obr. 9). Vyjadřuje se číslem nestejnozrnnosti c_u , které charakterizuje sklon střední části křivky zrnitosti, a je definováno jako poměr průměrů zrn na 60 % a 10 % celkové zrnitosti.

Za stejnozrnné se pokládají ty písky (štěrky), jejichž číslo nestejnozrnnosti $c_u < 6$. Pokud je $c_u > 15$, jsou písky (štěrky) dobře zrněné. Pro $c_u = 6 - 15$ platí střednozrnná charakteristika.

Stejnozrnné písky mají vyšší pórovitost, jsou dobře propustné, mají nižší smykovou pevnost a soudržnost blíží se nule (zde záleží na genezi). Při dostatečné komprimaci jsou značně únosné (efektivní smyková pevnost a dilatance) avšak obtížně zhutnitelné s titulu nízkého obsahu jemných částic a tím soudržnosti.

V grafu 1 je dokumentována zrnitost písků z průkazných zkoušek pro stavbu I/11.

Charakteristika písčitých fluviatilních sedimentů



Graf 1

Charakteristika písčitých fluviačních sedimentů



Obr.9

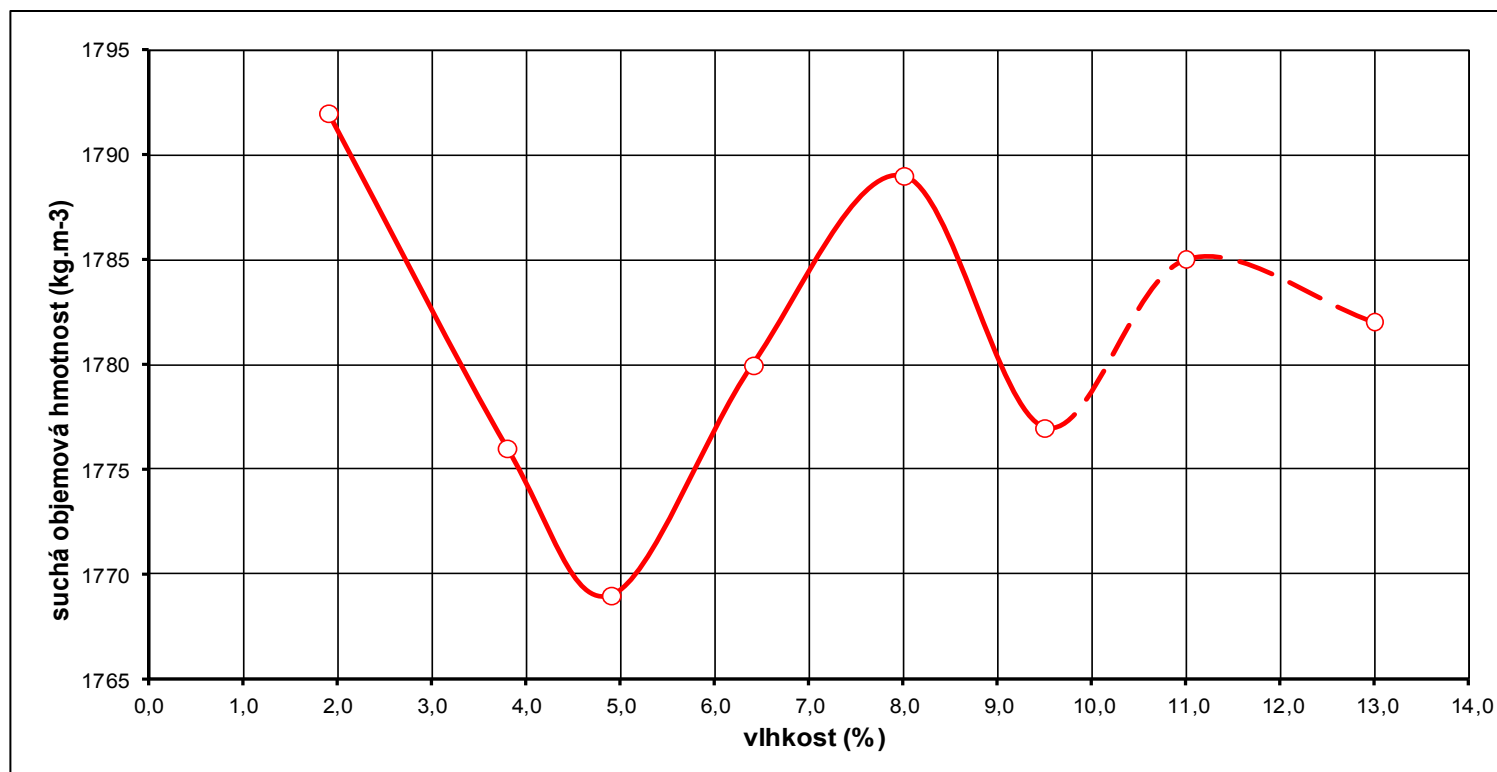
**Stejnzrnné písky tř. S2
ze zářezu v trase silnice
I/11 - Prodloužená rudná**

Charakteristika písčitých fluviatilních sedimentů

Číslo křivosti c_c charakterizuje tvar křivky zrnitosti, respektive specifikuje její plynulost. Písky s hodnotami $c_c = 1 - 3$ se považují za dobře zrněné, tj. mají plynulou křivku zrnitosti. Hodnoty nižší a vyšší patří zeminám s chybějícími frakcemi v oblasti $zrn < d_{30}$ (tj. $c_c > 3$) nebo v oblasti $zrn > d_{30}$ ($c_c < 1$). Zeminy s chybějícími frakcemi mají nepříznivé vlastnosti. Zhoršují zhutnitelnost a mohou způsobit sufozi (vyplavování jemnozrnných frakcí).

Graf 2 vykresluje křivku zhutnitelnosti (Proctor standard) odvápněných eluviálních písků na stavbě I/38 Debř. Zdánlivě opticky členitá křivka vyjadřuje, při srovnání s hodnotami na ose suché objemové hmotnosti, nízkou závislost stejnozrnného písku na vlhkosti (1770 - 1790 kg.m⁻³, tj. $D = 99 - 101$ % PS). Přerušovaná čára křivky znázorňuje úsek, v němž při hutnění již docházelo ke ztrátě vody (vlhkosti vzorku).

Charakteristika písčitých fluviatilních sedimentů



Graf 2
Křivka zhutnitelnosti (PS) stejnozrnných písků eluviálního rozsypu turomských kvádrových pískovců v trase silnice I/38 Debr (Mladá Boleslav)
 $c_u = 5,7$, $c_c = 0,6$

Charakteristika písčitých fluviačních sedimentů



Obr.10

**Povrch terénu ze
stejnozrnných písků je
zpravidla pro kolová
vozidla nesjízdný**

D1, stavba 4707, léto 2006

Průkazní zkoušky stejnozrnných písčitých sedimentů

Průkazní zkoušky stejnozrnných písčitých sedimentů

Revize normy ČSN 73 6133 v roce 2010 vnesla do systému průkazního a kontrolního zkoušení zemin zkoušku okamžitého indexu únosnosti (IBI), která je typickou a účelnou zkouškou pro specifikaci čerstvých hydraulicky stmelených směsí, posuzovaných v systému únosnosti metodou kalifornského poměru únosnosti (CBR).

S pohledu aktuální české terminologie a národní aplikace evropských zkušebních postupů test IBI tedy především charakterizuje čerstvé směsi pro technologie úprav zemin, tj. stabilizaci a zlepšení zeminy v zemním tělese PK.

Vzhledem k tomu, že se zkouška IBI provádí bez zatížení vzorku, jsou výsledky testů stejnozrnných písků a většiny jejich hydraulických směsí zpravidla nižší, než národní limit použitelnosti v násypech (obr. 11, tabulka 1).

Průkazní zkoušky stejnozrnných písčitých sedimentů



Obr.11

**Nízký penetrační odpor
stejnozrnných písků při
stanovení okamžitého
indexu únosnosti.
Výsledné hodnoty
převážně pod 10 % IBI**

Tabulka 1 - Limity a podmínky zkoušky IBI podle ČSN 73 6133 (formálně upraveno)

Vlastnost		Požadavek	Zkouška	Podmínky zkoušky
CBR	Aktivní zóna	PIII min. 15 % PII min. 30 % PI min. 50 %	ČSN EN 13286-47	<p>ČSN EN 13286-50 (PS) Zeminy: sycení 4 dny Směsi: zrání 3 dny + 4 dny sycení CBR pouze pro průkazní zkoušky.</p> <p>Pro účely kontrolních zkoušek Zkouší se bezprostředně po zhotovení zkušebního vzorku. Četnost kontrolních zkoušek: 1 × na 10 000 m³ nebo 1 × denně</p>
IBI	Aktivní zóna	deklarovaná hodnota		
	Násyp	min. 10 %		
	Podloží násypu	min. 5 % (zeminy) min. 10 % (směsi)		

Průkazní zkoušky stejnozrnných písčitých sedimentů

Nízké hodnoty výsledků zkoušek IBI na vzorcích písků s nízkou soudržností se v praxi téměř okamžitě projevilo výraznou diskriminací těchto vysoce únosných zemin v aplikovatelnosti pro podloží vozovek. Stav se ještě zhoršil při nevhodném používání normy pro terénní verze zkoušek IBI a CBR (ČSN 73 6186:2011).

Projevilo se to i v projektové praxi, zpravidla doporučením technologie výměny zemin v aktivní zóně za tzv. „nakupovaný materiál“. Investor a projektant si pod tímto netechnickým termínem zpravidla představuje šterkodrt' ($\check{S}D_A$) ve smyslu národní přílohy ČSN EN 13285, tedy nestmelenou směs kameniva cílenou do konstrukce vozovek, zatímco zhotovitel hledá hrubozrnnou zeminu, která splní návrhová a normová kritéria zemního tělesa (např. únosnost a nenamrzavost). Obě varianty jsou výrazně nákladnější než stabilizace písků hydraulickým pojivem.

Průkazní zkoušky stejnozrnných písčitých sedimentů

Průkazní zkoušky pro hydraulicky stmelené (zlepšené, stabilizované) směsi, jejichž plnivem jsou stejnozrnné písky se v zásadě nevymykají obvyklým postupům. Sestávají se tedy z návrhu směsí a 3 fází průkazního zkoušení:

- a) Zkoušky zeminy
- b) Návrh směsí
- c) Zkoušky směsí
- d) Výběr vhodné směsi
- e) Zhutňovací zkouška

Svémi specifickými vlastnostmi však vyžadují individuální přístup, jelikož některé, příliš obecné požadavky norem nebo předpisů nelze splnit. K těm nejobvyklejším patří např. návrhový požadavek na konkrétní typ podloží, stanovení max. suché objemové hmotnosti postupem relativní ulehlosti nebo udržení kategorie minimální vlhkosti směsi v kontextu s laboratorní zhutňovací prací.

Průkazní zkoušky stejnozrnných písčitých sedimentů

Na rozdíl od písků s dostatečným obsahem jemnozrnných částic (nejlépe 10-20 %), které při požadované nižší návrhové únosnosti stabilizovány být nemusí nebo je lze stmelit nízkou dávkou hydraulického pojiva (cca 3 % srovnávací suché objemové hmotnosti zeminy), je při stabilizaci stejnozrnných písků zapotřebí použít dávku vyšší (cca 4-7 %). Za ekonomické lze považovat i vyšší dávky.

V první fázi je pojivo využito jako jemnozrnná frakce, která po výrobě směsi metodou mix in place umožní pohyb stavebních strojů. Výroba probíhá zároveň s dávkováním záměsové vody, jelikož dobře propustné písky a mnohdy i směs neumožňují dosažení kategorie minimální pracovní vlhkosti. To však zpravidla není výrazný problém, jelikož dostatečného parametru zhutnění směsi lze snadno docílit zvýšením zhutňovací práce, kdy s nárůstem práce zároveň klesá hodnota optimální vlhkosti pro maximální zhutnění.

Průkazní zkoušky stejnozrnných písčitých sedimentů

Součástí průkazního zkoušení hydraulicky stmelených směsí (ČSN EN 14227-15), kdy jsou testovány plnivo a samotné směsi, je zhutňovací zkouška navržené směsi (ČSN 73 6133, ČSN 72 1006). Teprve tato zkouška prokazuje, zda návrh směsi vyhovuje daným požadavkům.

Je zřejmé, že technologické vrstvy hydraulicky stmelených písků vykazují vysokou únosnost a pevnost. Nežádoucí tvrdost a křehkost je eliminována použitím silničních hydraulických pojiv (např. podle ČSN EN 13282) s majoritními a minoritními pomaleji tvrdnoucími složkami (HRB). Použití cementů (ČSN EN 197-1) není, vzhledem ke zkrácené době zpracovatelnosti a vysoké pevnosti vhodné.

Průkazní zkoušky stejnozrnných písčitých sedimentů



Obr.12

Vzorek hydraulicky
stmelené směsi
stejnozrnných písků po
zkoušce CBR (260 % CBR)

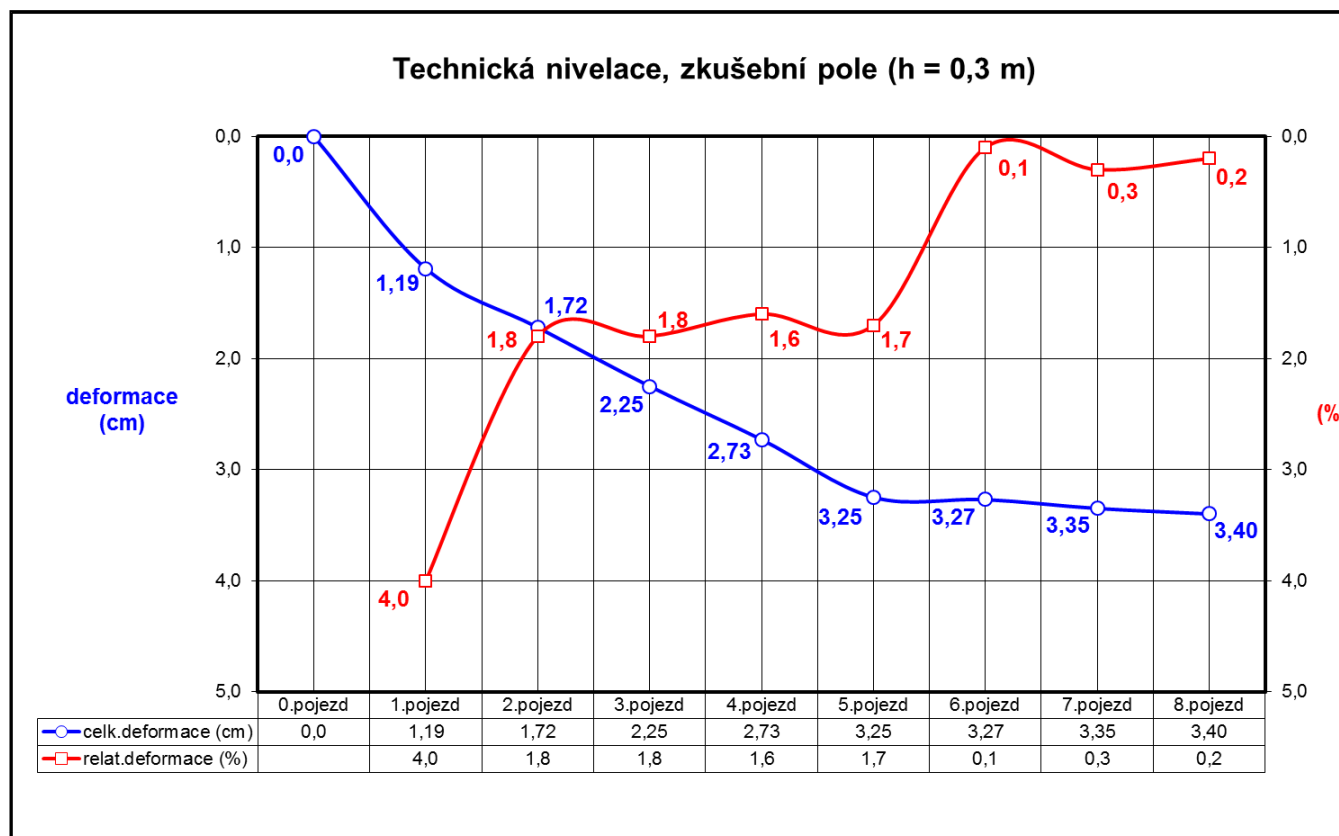
Průkazní zkoušky stejnozrnných písčitých sedimentů

K provedení zhutňovací zkoušky je nezbytné zvolit řídicí zkušební postup, jehož výsledky jsou k dispozici v průběhu vlastní zkoušky. Z metodik ČSN 72 1006 lze tedy vybrat metodu technické nivelace a/nebo metodu statické zatěžovací zkoušky.

Vzhledem ke krátké době zpracovatelnosti směsi je zapotřebí zhutňovací zkoušku provést rychle, aby tato doba nebyla překročena (zpravidla do 5 hodin).

V grafu 3 jsou zaznamenány výsledky technické nivelace zhutňovací zkoušky směsi v aktivní zóně zářezu trasy silnice I/11 Prodloužená Rudná (6 % HRB). Z průběhu křivek je zřejmé, že k dosažení dostatečného zhutnění došlo po 5. vibračním pojezdu tahačového válce.

Průkazní zkoušky stejnozrnných písčitých sedimentů



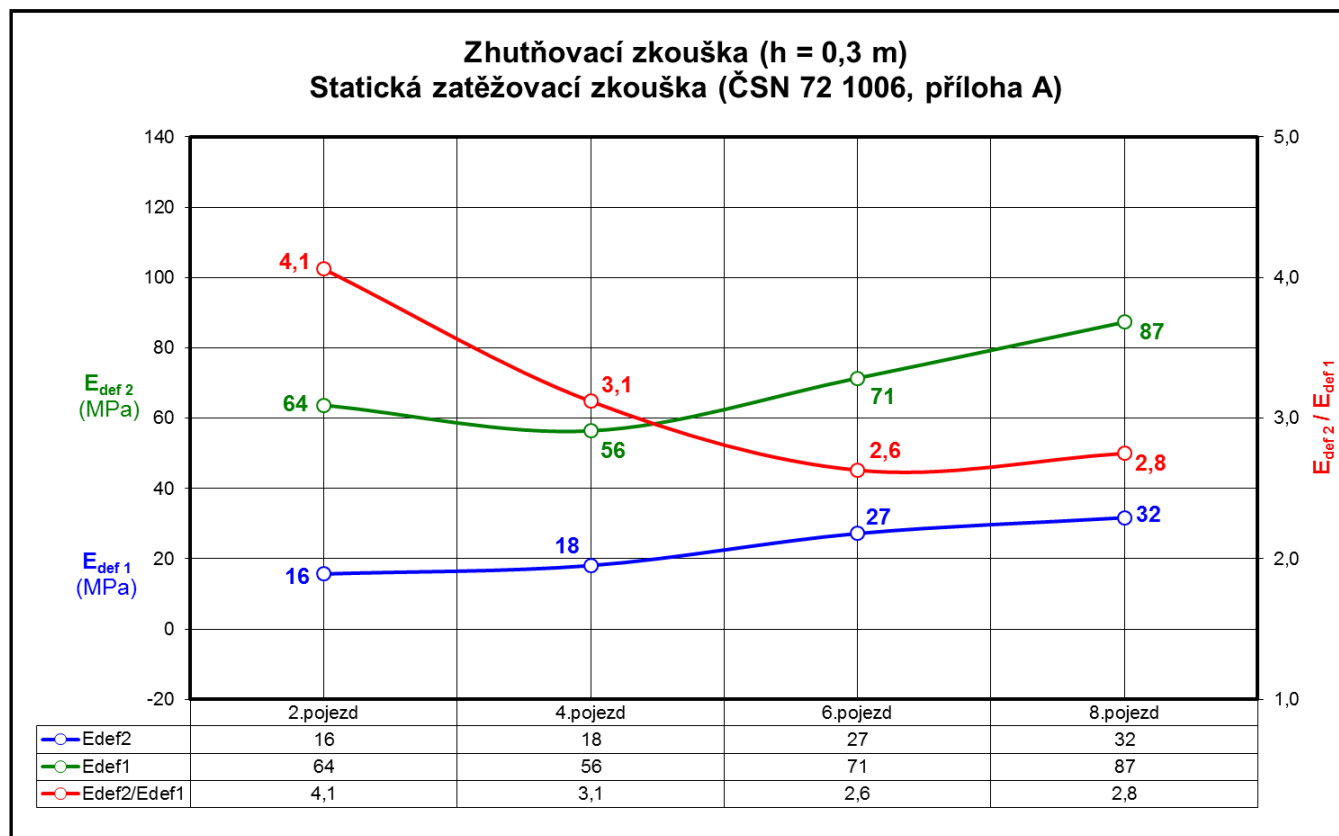
Graf 3

Průkazní zkoušky stejnozrnných písčitých sedimentů

V grafu 4 jsou uvedeny výsledky statické zatěžovací zkoušky na čerstvé směsi technologické vrstvy. Dostatečná komprimace směsi nastala po 6. vibračním pojezdu válce. Kritérium poměru modulů z druhého a prvního zatěžovacího cyklu, požadované ČSN 73 6133 pro zhutnění zemin není v případě stabilizovaných zemin zásadní.

S odstupem času je možné získat i výsledky přímého stanovení suché objemové hmotnosti. Výpočet součinitele míry zhutnění se zásadně provádí s použitím výsledku zhutnitelnosti směsi z průkazní zkoušky, jelikož z čerstvé směsi odebrané v průběhu zhutňovací zkoušky již nelze připravit zkušební navážky se sníženou vlhkostí.

Průkazní zkoušky stejnozrnných písčitých sedimentů



Graf 4

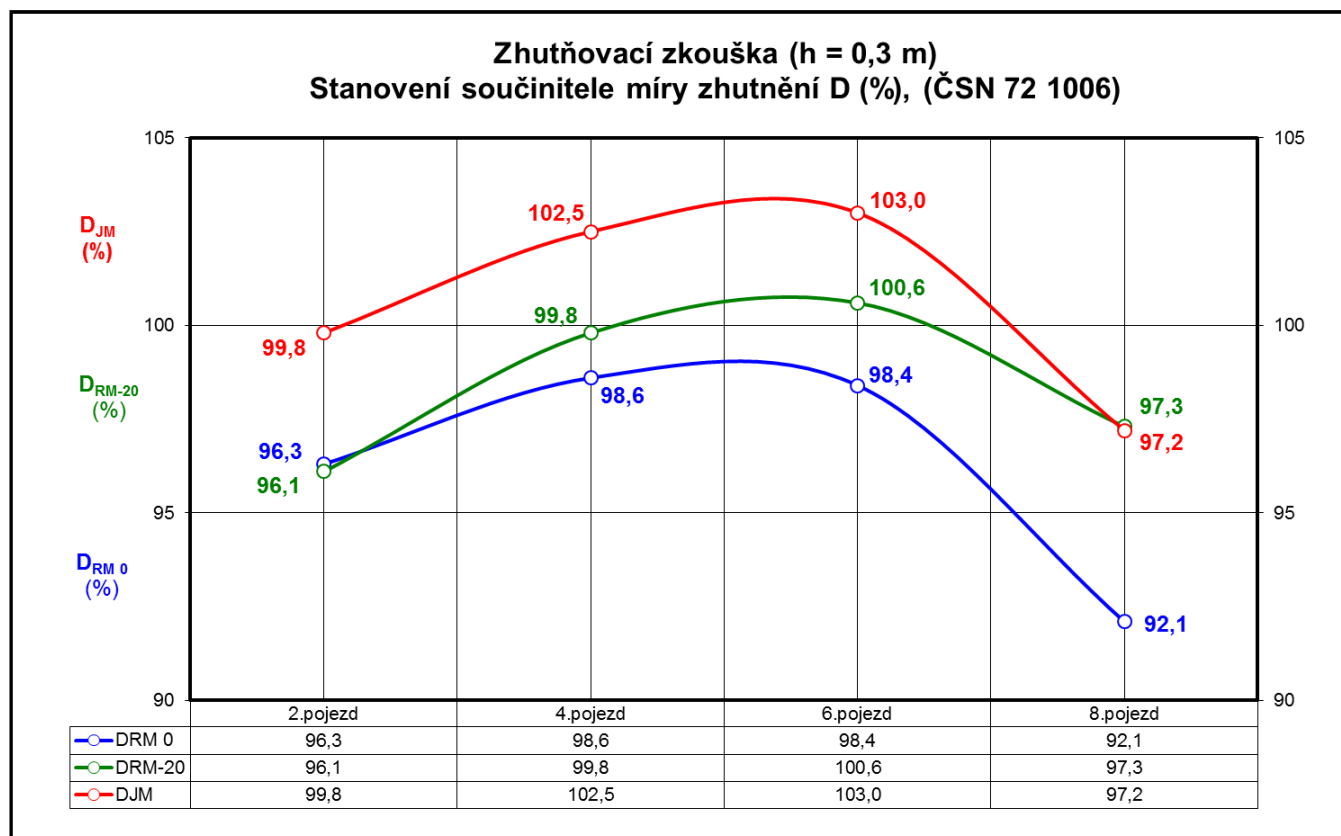
Průkazní zkoušky stejnozrnných písčitých sedimentů

Zvláště v případě zrnitostní anizotropie písčitého souvrství, jako je tomu v zářezu silnice I/11 Prodloužená Rudná, zvyšuje stanovení zhutnitelnosti na směsi po její době zpracovatelnosti nespolehlivost výsledku v parametru součinitele míry zhutnění. Rozdíl 2 stanovení zhutnitelnosti laboratorní směsi na 2 vzorcích ze zkušebního pole je 110 kg.m^{-3} .

To ostatně potvrzuje i mé dlouhodobé zkušenosti s nízkou spolehlivostí stanovení součinitele míry zhutnění stabilizovaných a zlepšených zemin. Jinou věcí je samotný průběh křivek, jejichž tvar je ovlivněn hodnotou určení suché objemové hmotnosti v průběhu hutnění.

Z grafu 5 je zřejmé, že maximálního zhutnění bylo dosaženo po 5. až 6. vibračním pojezdu válce, zatímco další pojezdy již vlivem reflexní seismicity povrch kypří. Zjištění maximálního účinku hutnění se shoduje s výsledky předchozích zkoušek. Z vyhodnocení zkoušek v rámci zkoušky zhutňovací tedy bylo možno snadno stanovit počet pojezdů daného zhutňovacího prostředku.

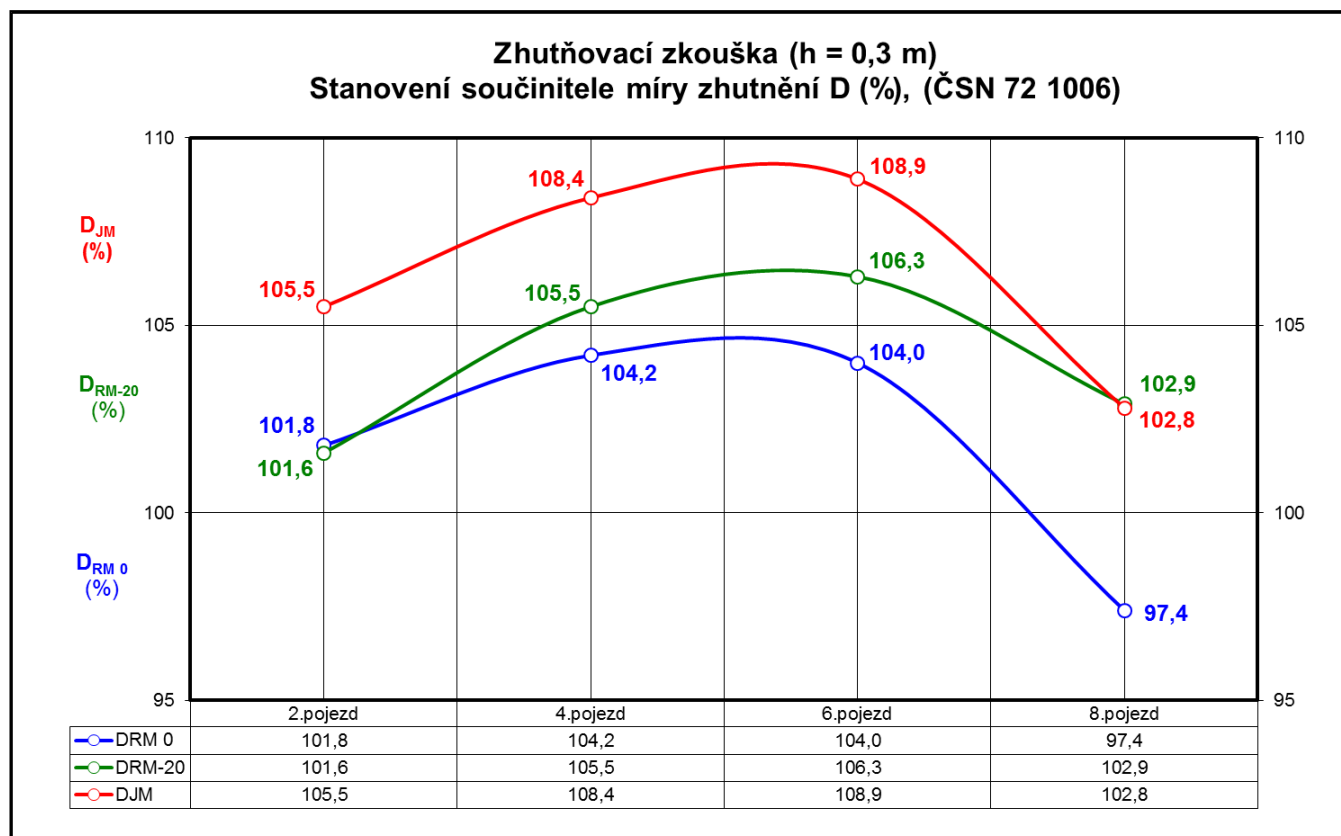
Průkazní zkoušky stejnozrnných písčitých sedimentů



Graf 5

$$\rho_{d \max PS} = 2030 \text{ kg.m}^{-3}$$

Průkazní zkoušky stejnozrnných písčitých sedimentů



Graf 6

$$\rho_{d \max PS} = 1920 \text{ kg.m}^{-3}$$

Závěr

Závěr

Tuhost podloží vozovek má zásadní význam pro stavbu konstrukce vozovky a to zvláště vozovek netuhých a polotuhých, užívajících nestmelené směsi kameniva a asfaltobetonové směsi v podkladu a krytu vozovky, tj. směsi vyžadující pečlivé intenzivní hutnění.

V tabulce 2 jsou shrnuty výsledky ze zhutňovací zkoušky šterkodrti ($\check{S}D_A$ 0/32, 200 mm) ochranné (podkladní) vrstvy konstrukce vozovky na stavbě D4707 (D1) položené a hutněné na podloží ze stabilizovaných stejnozrnných písků (300 mm) v roce 2006. Výsledek vyhovuje s rezervou požadavku normy pro zhutnění nestmelené směsi kameniva v bázi konstrukce vozovky již po 4 vibračním pojezdu.

Naopak shodná vrstva šterkodrti, položená a hutněná na nestabilizovaném písčitém podloží (tabulka 3) dosahuje pouze kritéria únosnosti pro aktivní zónu, přičemž normové hodnoty míry zhutnění $E_{def\ 2} / E_{def\ 1}$ nebylo dosaženo ani po 8 vibračním pojezdu. Je tedy zřejmé, že výměna zemin za směs kameniva nebo adekvátní zeminu by musela být výraznější a tedy finančně nákladnější.

Tabulka 2 a 3 - Výsledky statické zatěžovací zkoušky směsi kameniva na stabilizovaném a nestabilizovaném podloží

protokol č.	počet pojezdů	$E_{\text{def } 1}$ (MPa)	$E_{\text{def } 2}$ (MPa)	$E_{\text{def } 2} / E_{\text{def } 1}$
OS06/1829	4	57,6	134,8	2,3
OS06/1828	8	58,6	133,2	2,3

Tabulka 2

protokol č.	počet pojezdů	$E_{\text{def } 1}$ (MPa)	$E_{\text{def } 2}$ (MPa)	$E_{\text{def } 2} / E_{\text{def } 1}$
OS06/1830	4	16,1	62,5	3,9
OS06/1831	8	15,1	58,5	3,9

Tabulka 3

Závěr

Vzhledem k nízké soudržnosti a stejnozrnnosti nejen zmiňovaných písků, ale i písků eolických a některých písků eluviálních a fluviálních, se výsledky dnes požadovaného testu IBI pohybují od cca 5 % do 10 %. To v důsledku často vede k odstraňování těchto únosných, dobře zpracovatelných zemin ze staveb.

Jejich nevýhodou je zpravidla pouze obtížná zhutnitelnost, která je však dobře řešitelná stabilizací, lépe a levněji než dnes hojně navrhovaná i aplikovaná metoda výměny zemin v podloží vozovek.

Limity hodnot IBI, uvedené v ČSN 73 6133 jsou nejen zbytečné, ale rovněž nekonformní s příliš schematickou tabulkou 1 ČSN 73 6133 (viz tabulka 4). Červeně jsou zvýrazněny symboly zemin, které často, svým umístěním v tabulce vedou k mylným informacím o vlastnostech těchto zemin.

Kdysi jsme měli normu pro stejnozrnné písky: ON 73 6184 *Zpracování váitého písku v zemním tělese dálnic a silnic.*

Tabulka 4 - Použitelnost zemin pro stavbu zemního tělesa podle Tabulky 1 ČSN 73 6133

Podmínky použití	NEVHODNÉ k přímému použití bez úpravy	PODMÍNEČNĚ VHODNÉ k přímému použití bez úpravy	VHODNÉ k přímému použití bez úpravy
	Musí se vždy upravit	Podle vlastností se rozhodne, zda lze použít přímo nebo zda se musí upravit	Lze použít přímo bez úpravy
Aktivní zóna	ML, MI, CL, CI MH, MV, CH, CV	S-F MG, CG, MS, CS, SP, SM, SC, GP, GM, GC	SW , GW, G-F
Násyp	MH, MV, CH, CV	MG, CG, MS, CS, SP, SM, SC, GP, GM , GC ML, MI, CL, CI	SW , GW, G-F S-F

Závěr

V současné době se dopravní stavby téměř výhradně navrhují s vyrovnanou bilancí hmotnice silničního tělesa. Výskyt zemin, které nelze použít v zemním tělese je spíše výjimečný. Proto lze i význam tabulky 1 ČSN 73 6133 považovat za překonaný. Aplikovat metodu IBI na zkoušení zemin tak, jak je uvedeno v národních aplikačních dokumentech pro stavbu zemního tělesa pozemních komunikací nepovažují za účelné a racionální.

Větší důraz by měl být kladen na vyšší kvalitu inženýrskogeologického průzkumu a kvalitu zadávací dokumentace staveb. Mnohdy se setkávám s texty geotechnického průzkumu a soutěžní dokumentace, které stanovují typy a množství různých poživ, aniž by byl proveden jakýkoli test ze souboru průkazných zkoušek. Nadále platí, že pro použití zemin v zemním tělese pozemních komunikací je zapotřebí individuální přístup, zvláště tehdy, pokud vykazují specifické vlastnosti jako ty, které byly předmětem tohoto příspěvku.

Závěr



Obr.13

**Eratické balvany
krystalických břidlic ve
výkopku ze zářezu trasy
silnice I/11 Prodloužená
Rudná**

Závěr



Obr.14

Horniny glacifluviálního souvrství v zářezu I/11:

1. Skandinávský granit (žula) typu Rapakivi a pazourky z baltského pobřeží
2. Droba moravskoslezského kulmu a valouny žilného křemene
3. Krystalické břidlice (ruly) jesenického devonu
4. Diageneticky zpevněné písky halštrovského glaciálu

Závěr



Obr.15
Stabilizace fluviatilních
písků v aktivní zóně tuhé
vozovky na stavbě 4707
(D1) v roce 2006

Děkuji za pozornost!



STRABAG
TEAMS WORK.

