

PODKLADNÍ VRSTVY A PODLOŽÍ VOZOVEK

Návrh a posouzení směsí recyklátů
a vedlejších energetických produktů
upravených pojivy

Dušan Stehlík

15.11.2016



STAVBA FULL-SCALE MODELU A JEHO VYUŽITÍ PŘI SIMULACI UŽITNÉHO CHOVÁNÍ KONSTRUKCE VOZOVKY



PODKLADNÍ VRSTVY A PODLOŽÍ VOZOVEK



Model vozovky 1:1 s použitím běžných podkladních a krytových vrstev

Cíle měření na full-scale modelu vozovky

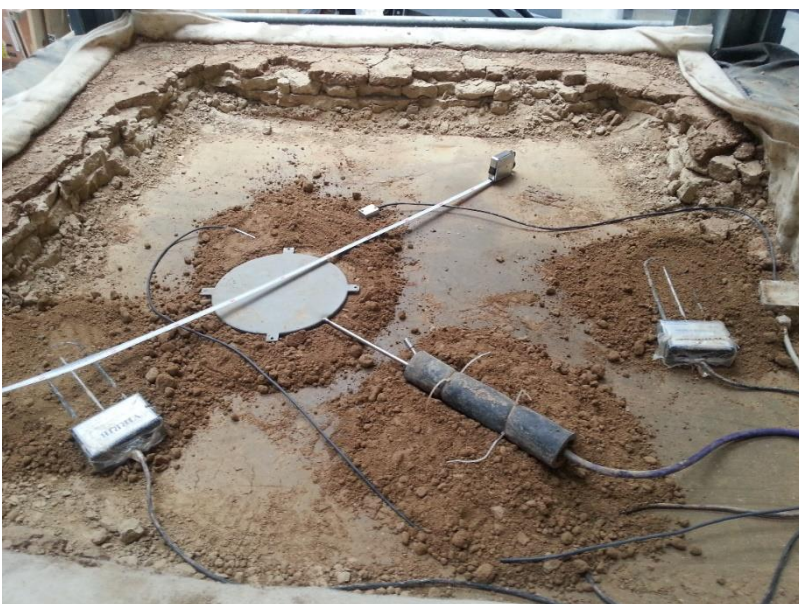
Podloží vozovky

- Stanovení napětí v podloží vozovky od předpokládaného dopravního zatížení na vozovce. Srovnání většiny konstrukcí vozovek uvedených v TP 170.
- Vykreslení napětí v hloubce pod zemní plání.
- Posouzení změn podloží za optimální vlhkosti a v převlhčeném stavu.

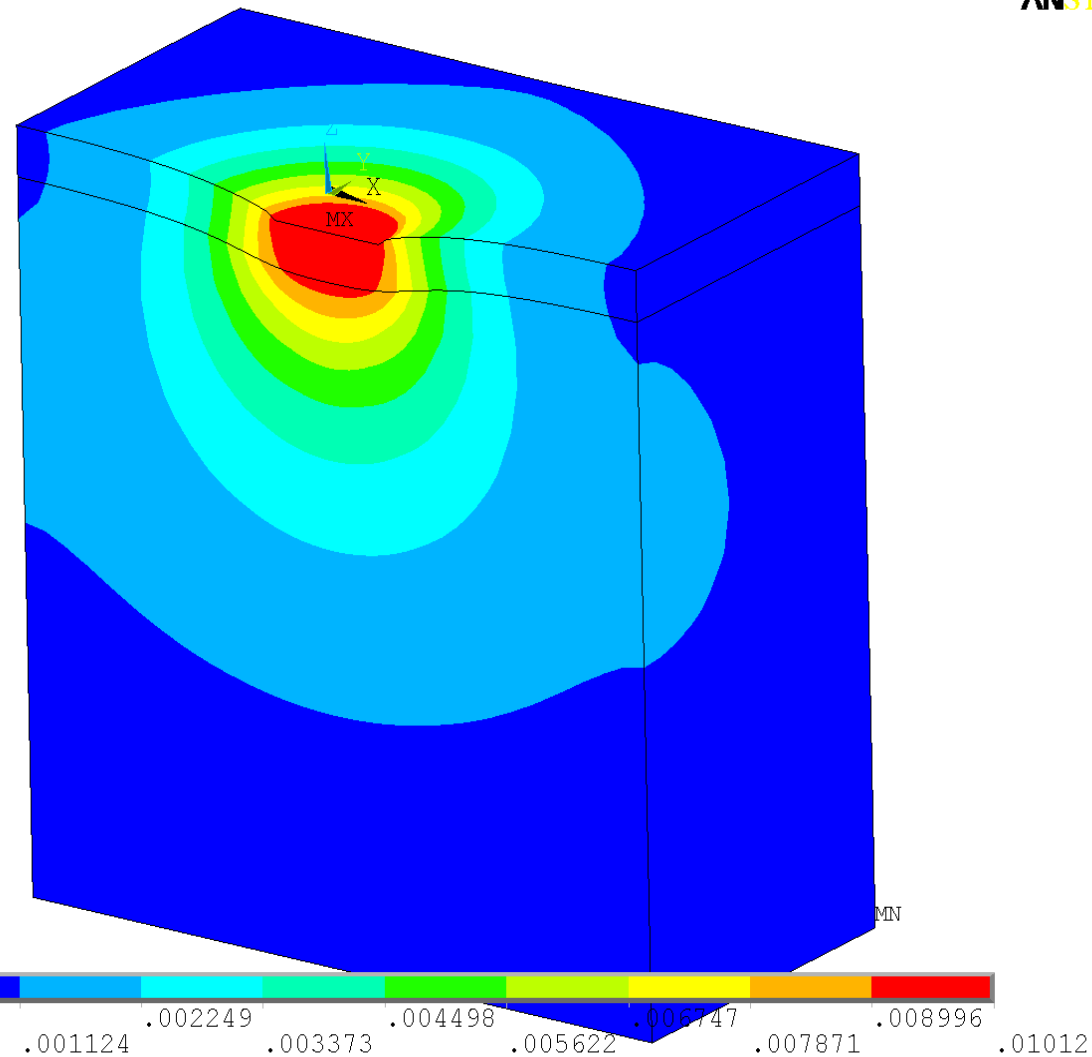
Podkladní vrstvy

- Soustředit se zejména na souvrství nestmelená podkladní vrstva a podloží s jemnozrnnou zeminou. Změny vlhkostí podloží vozovky a dopad na moduly pružnosti nestmelených podkladních vrstev.
- Využití recyklátů a VEP do spodních podkladních vrstev, zejména pro ŠD_B a MZ.

PODKLADNÍ VRSTVY A PODLOŽÍ VOZOVEK



1
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
USUM (AVG)
RSYS=0
DMX =.01012
SMX =.01012



STUDENÉ ASFALTOVÉ SMĚSI S R-MATERIÁLEM



Vstupní materiály pro návrh směsí s R-materiálem

- Kamenivo:** R-materiál frakce 0/16 mm
(Jihomoravská obalovna s.r.o. - Rajhradice)
- Pojivo:** Asfaltová emulze Paramo KATEBIT C 65 B 3
- Cement:** směsný CEM V/A (S-V) 32,5 R
- Přísady:** Paramo Reju 553, Paramo Reju 182, Paramo Reju 161

Rozbor asfaltového R-materiálu

R-mat 0/16 Rajhradice

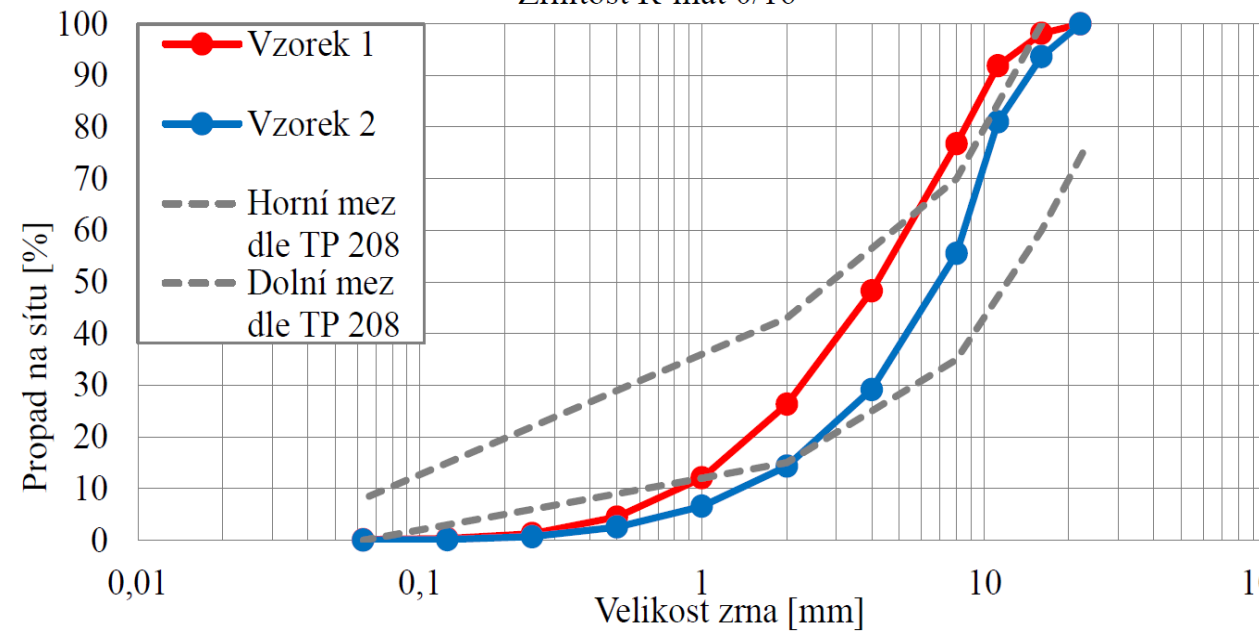


Penetrace jehlou		Průměrná penetrace jehlou	
[mm]	[p.j.]	[mm]	[p.j.]
1,78	17,8	1,8	18
1,75	17,5		
1,75	17,5		
Bod měknutí [°C]		Průměrná hodnota bodu měknutí [°C]	
64,7		65	
64,4			

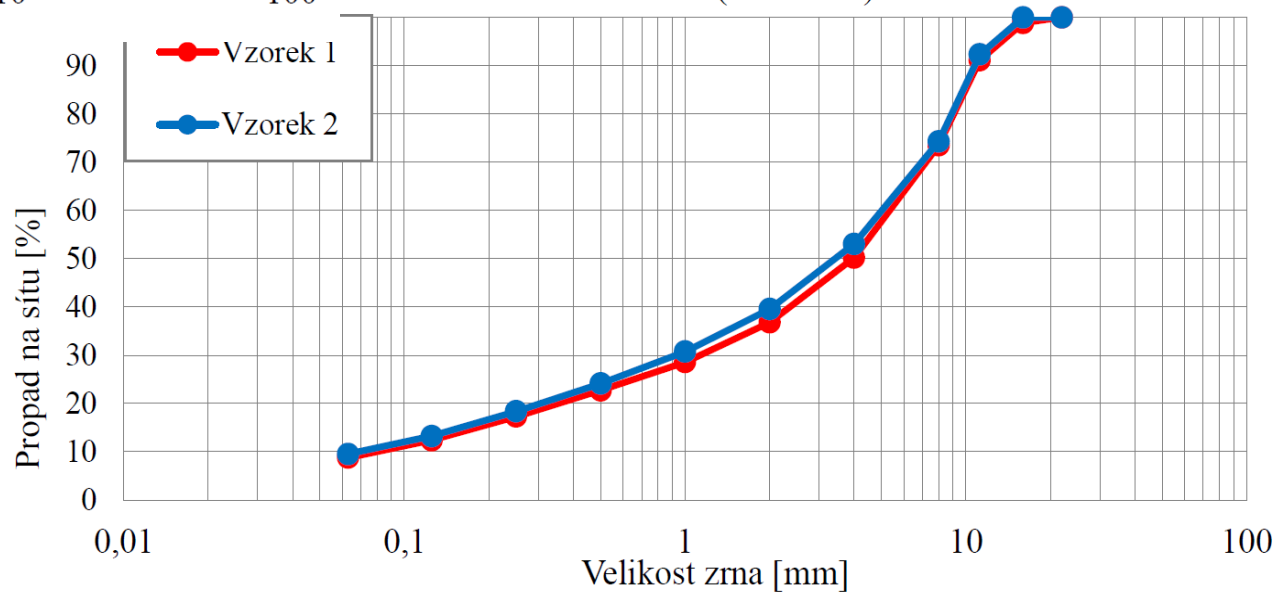
PODKLADNÍ VRSTVY A PODLOŽÍ VOZOVEK



Zrnitost R-mat 0/16



Zrnitost R-mat 0/16 (kamenivo)

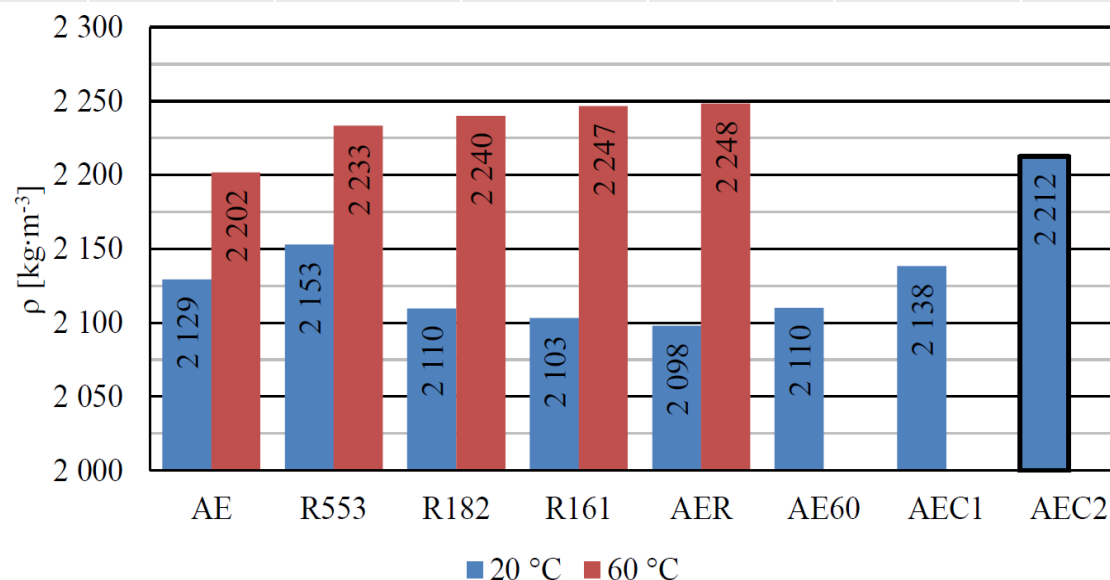


Návrh studených asfaltových směsí

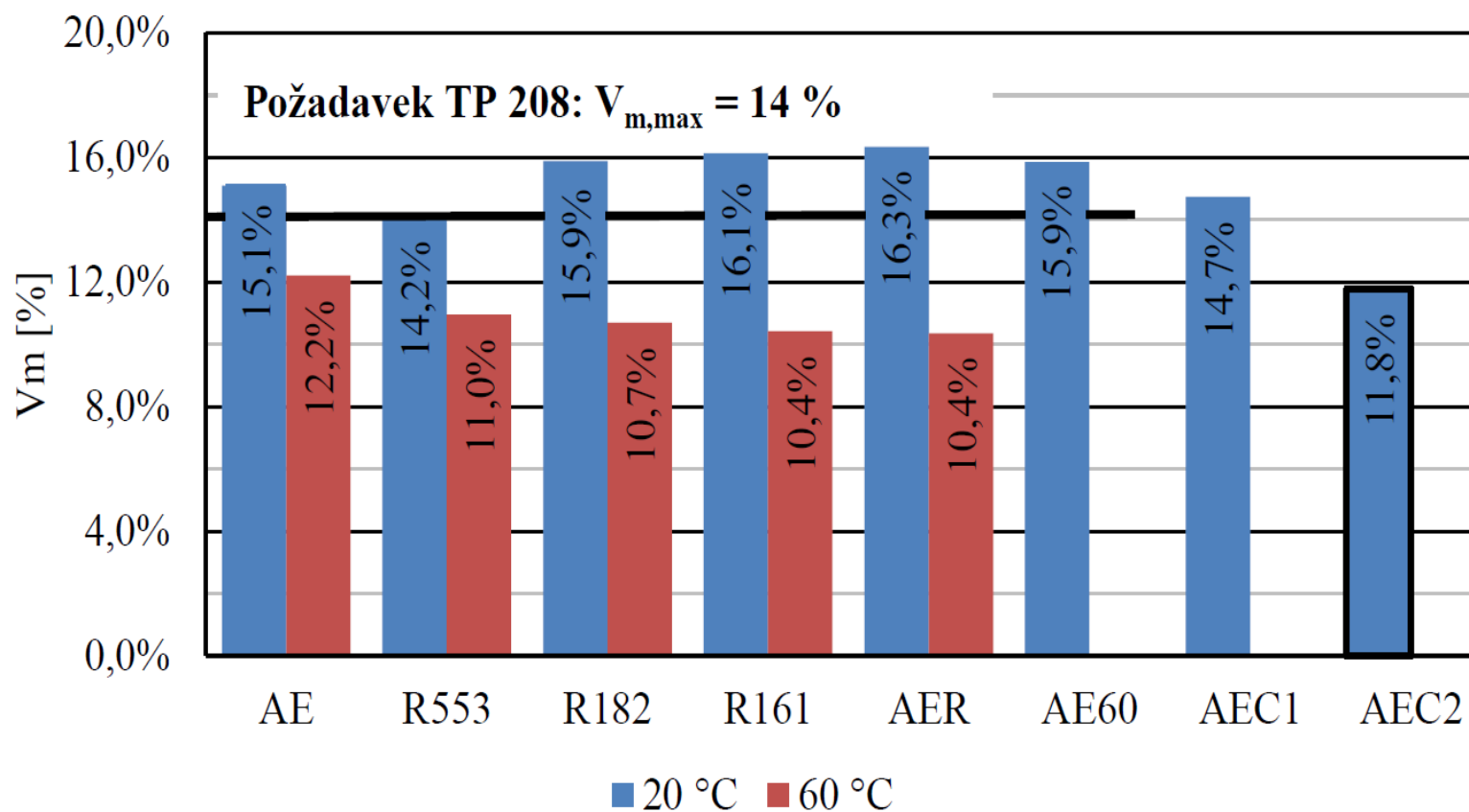
Označení směsi	Kamenivo (výplň navržených směsí)		Pojivo		Přísady	
AE	R-mat 0/16	100 %	Katebit C 65 B3	2% hm.	-	-
AE60	R-mat 0/16	100 %	Katebit C 65 B3	2% hm.	-	-
R553	R-mat 0/16	100 %	-	-	Reju 553	2% hm.
R182	R-mat 0/16	100 %	-	-	Reju 182	2% hm.
R161	R-mat 0/16	100 %	-	-	Reju 161	2% hm.
AER	R-mat 0/16	100 %	Katebit C 65 B3	1% hm.	Reju 553	1% hm.
AEC1	R-mat 0/16	100 %	Katebit C 65 B3	2% hm.	-	-
			CEM V/A 32,5 R	1% hm.	-	-
AEC2	R-mat 0/16	100 %	Katebit C 65 B3	2% hm.	-	-
			CEM V/A 32,5 R	3% hm.	-	-

Stanovení objemové hmotnosti a mezerovitosti studených asfaltových směsí

Teplota hutnění	Objemová hmotnost směsí ρ [kg/m ³]							
	AE	R553	R182	R161	AER	AE60	AEC1	AEC2
20°C	2129	2153	2110	2103	2098	2110	2138	2212
60°C	2202	2233	2240	2247	2248	-	-	-
Teplota hutnění	Mezerovitost směsí V_m [%]							
	AE	R553	R182	R161	AER	AE60	AEC1	AEC2
20°C	15,1	14,2	15,9	16,1	16,3	15,9	14,7	11,8
60°C	12,2	11,0	10,7	10,4	10,4	-	-	-

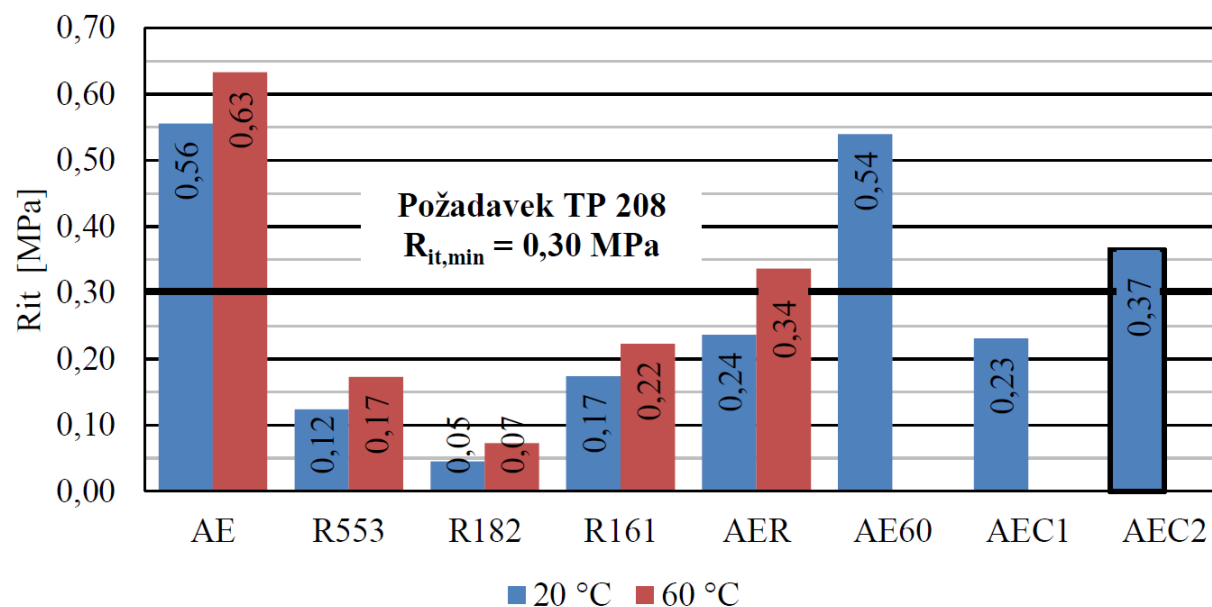


Porovnání mezerovitostí navržených směsí



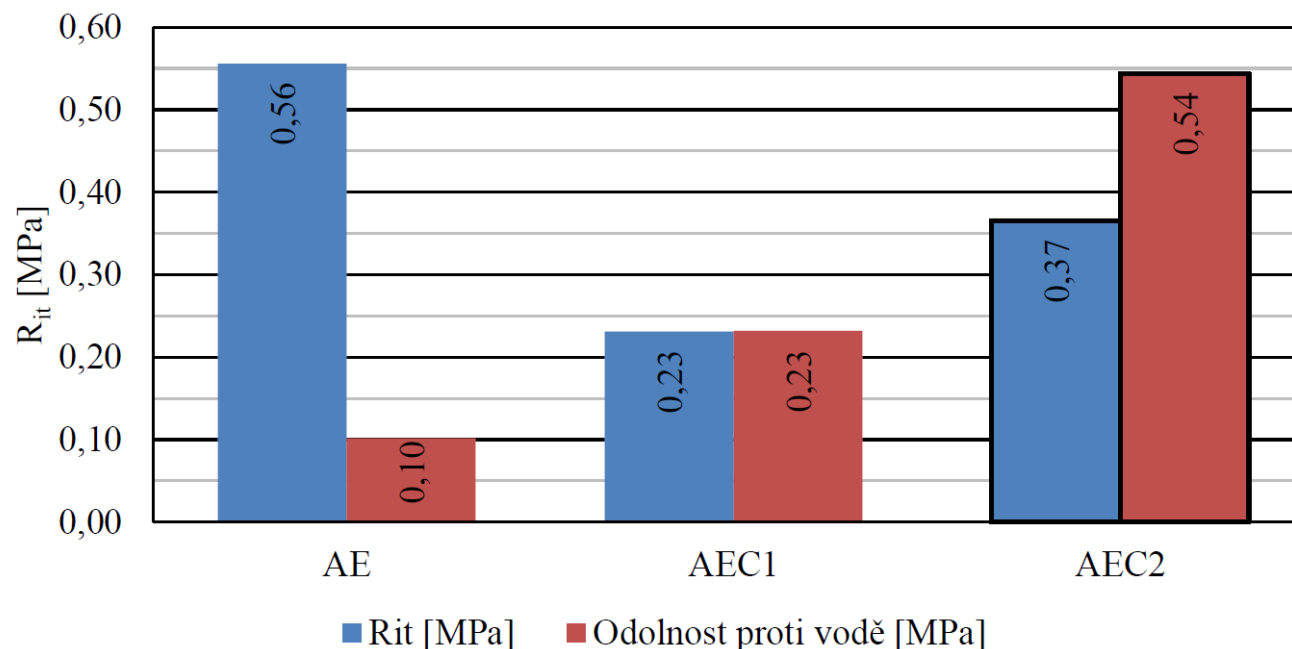
Pevnost v příčném tahu (R_{it})

Teplota hutnění	Pevnost v příčném tahu R_{it} [MPa]							
	AE	R553	R182	R161	AER	AE60	AEC1	AEC2
20°C	0,56	0,12	0,05	0,17	0,24	0,54	0,23	0,37
60°C	0,63	0,17	0,07	0,22	0,34	-	-	-
Přetvoření [mm]								
20°C	2,83	1,99	1,68	1,78	2,19	2,67	1,96	2,00
60°C	2,28	1,88	1,45	1,69	1,81	-	-	-



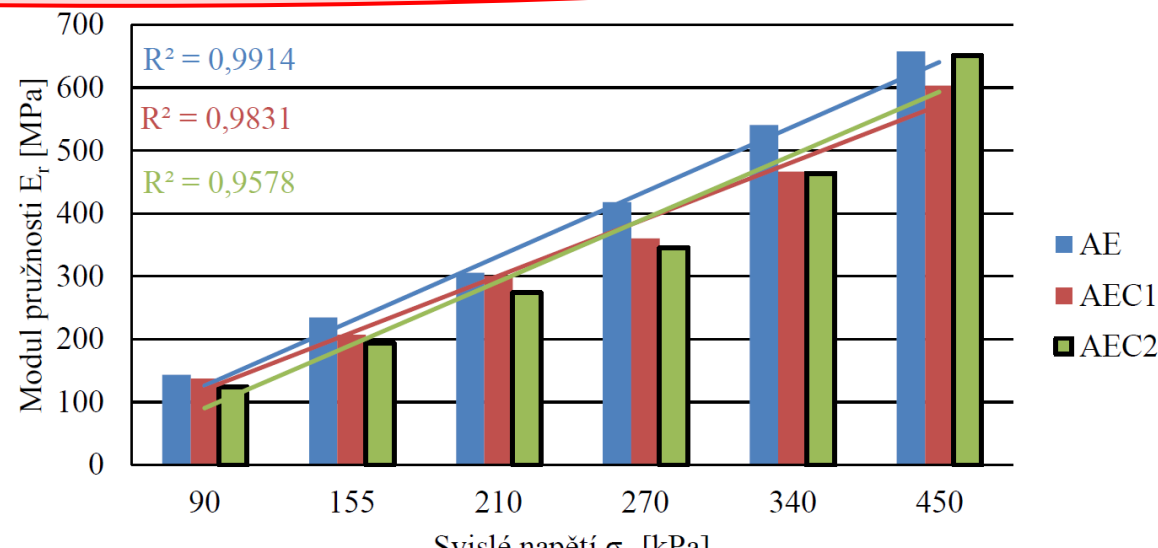
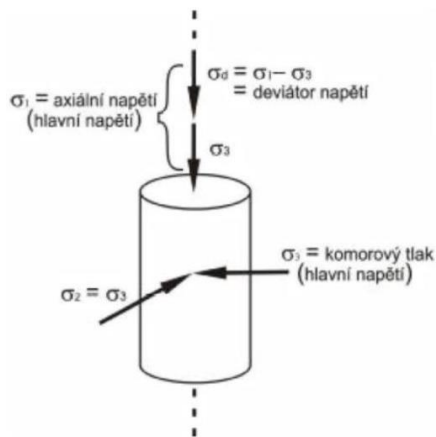
Odolnosti proti vodě vybraných studených asfaltových směsí

Teplota hutnění 20°C		AE	AEC1	AEC2
Pevnost v příčném tahu R_{it} [MPa]		0,56	0,23	0,37
Odolnost proti vodě [MPa]		0,10	0,23	0,54
Přetvoření [mm]		1,49	1,50	1,36
Pevnostní poměr mezi odolností proti vodě a pevností v příčném tahu [%]		17,8	100	146
Požadavek TP 208	60% z R_{it}	nesplněno	-	-
Požadavek TP 208	75% z R_{it}	-	splněno	splněno



Experimentální stanovení modulu pružnosti

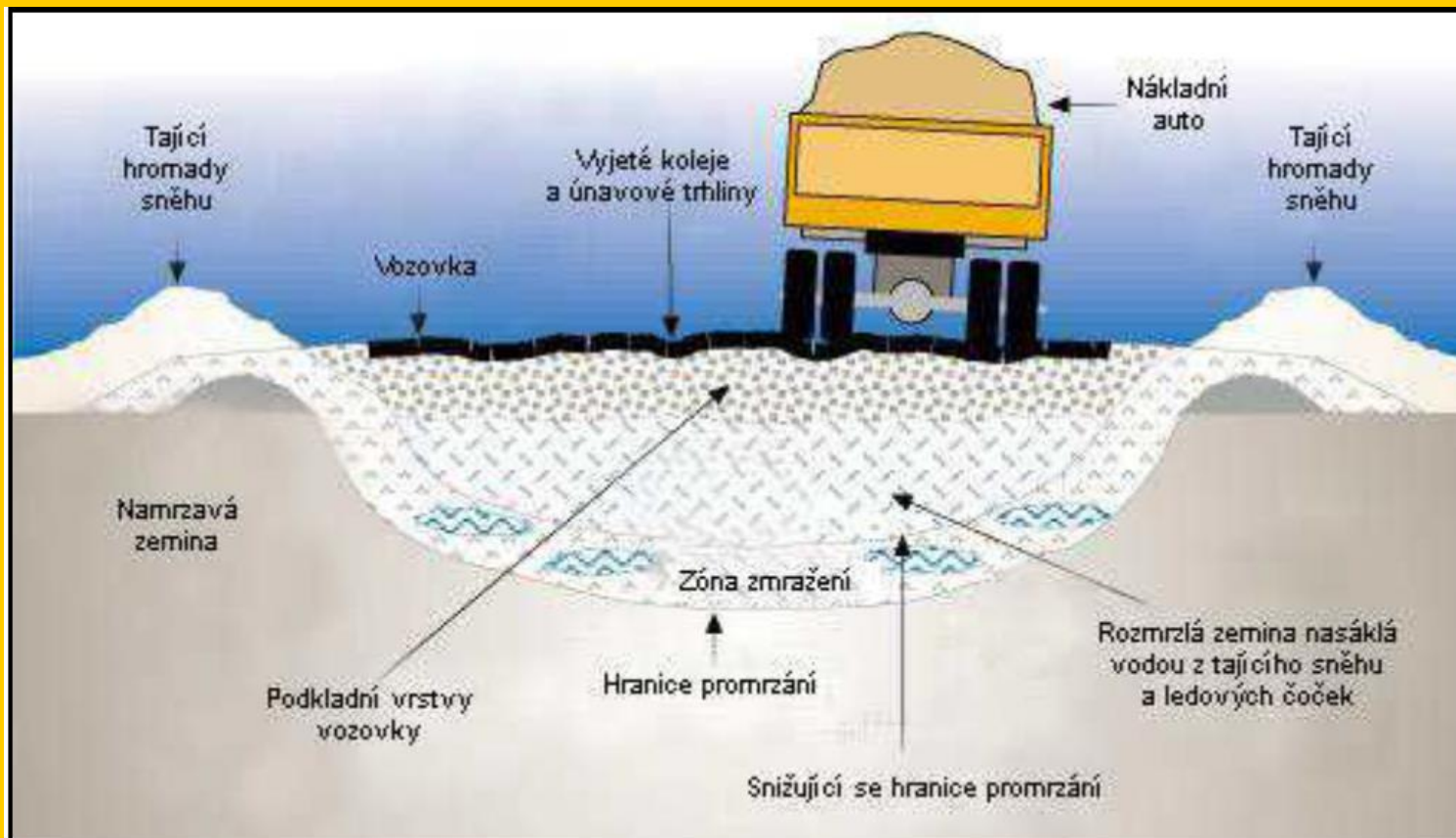
Komorový tlak σ_3 (předpokládané vodorovné napětí ve vrstvě vozovky)	Deviátor napětí $\sigma_1 - \sigma_3$	Svislé napětí σ_1 (vyjadřuje svislé zatížení na plochu od dopravního zatížení)	Modul pružnosti E_r [MPa] $E_r = \sigma_1 - \sigma_3 / \varepsilon$		
			AE	AEC1	AEC2
[kPa]	[kPa]	[kPa]			
20	70	90	143	138	124
35	120	155	235	207	194
50	160	210	306	301	274
70	200	270	418	360	346
100	240	340	541	466	464
150	300	450	658	603	651



ZÁVĚR

- Z naměřených výsledků zkoušky pevnosti v příčném tahu (Rit) zjevné, že směsi s rejuvenátory nedosáhli požadovaných pevností (Rit, min = 0,30 MPa). Nevhodné hodnocení podle TP 208.
- Zkoušené studené asfaltové směsi, naměřenými moduly pružnosti, odpovídají nejkvalitnější nestmelené směsi pro podkladní vrstvy vozovek (MZK).
- Běžně používaná recyklovaná směs při recyklaci za studena na místě (3% cementu a 2% asfaltové emulze - pracovní označení AEC2) má nejlepší výsledky

NAMRZAVOST UPRAVENÝCH ZEMIN A VEDLEJŠÍCH ENERGETICKÝCH PRODUKTŮ (VEP) V PODLOŽÍ VOZOVEK



Vstupní materiály pro úpravu sprašové hlíny vápnem a popílkem

Jemnozrnná zemina:

F6Cl jíl se střední plasticitou,

Popílký jako přísada:

**hnědouhelný popílek ECHVA (ČEZ, a.s.,
tepelná elektrárna Chvaletice)**

**černouhelný popílek EDE (ČEZ, a.s.,
tepelná elektrárna Dětmarovice)**

**fluidní popílek EPO (ČEZ, a.s., tepelná
elektrárna Počeradý)**

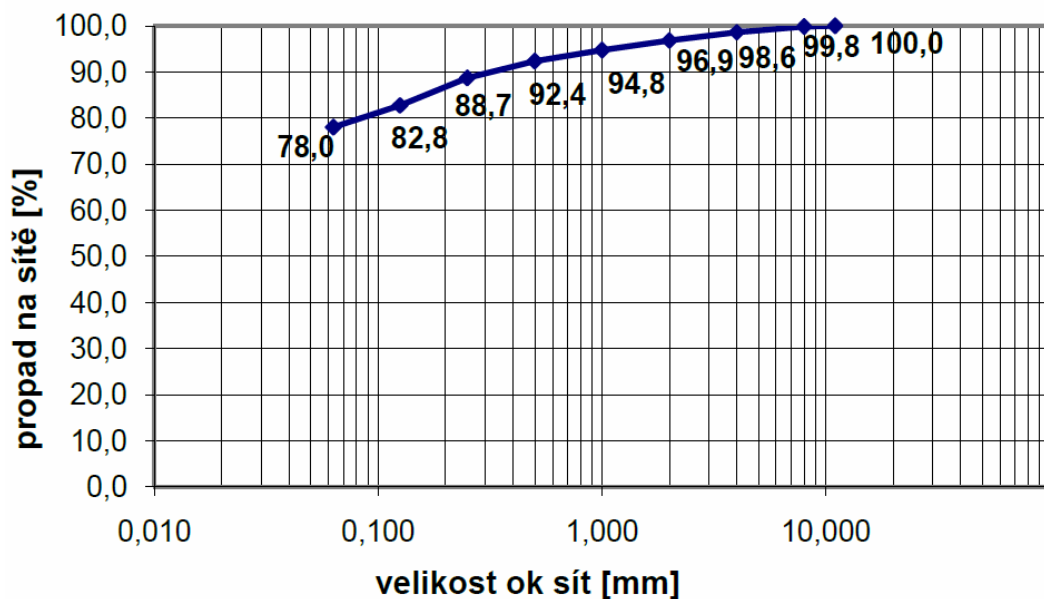
Pojivo:

vzdušné vápno CL 90.

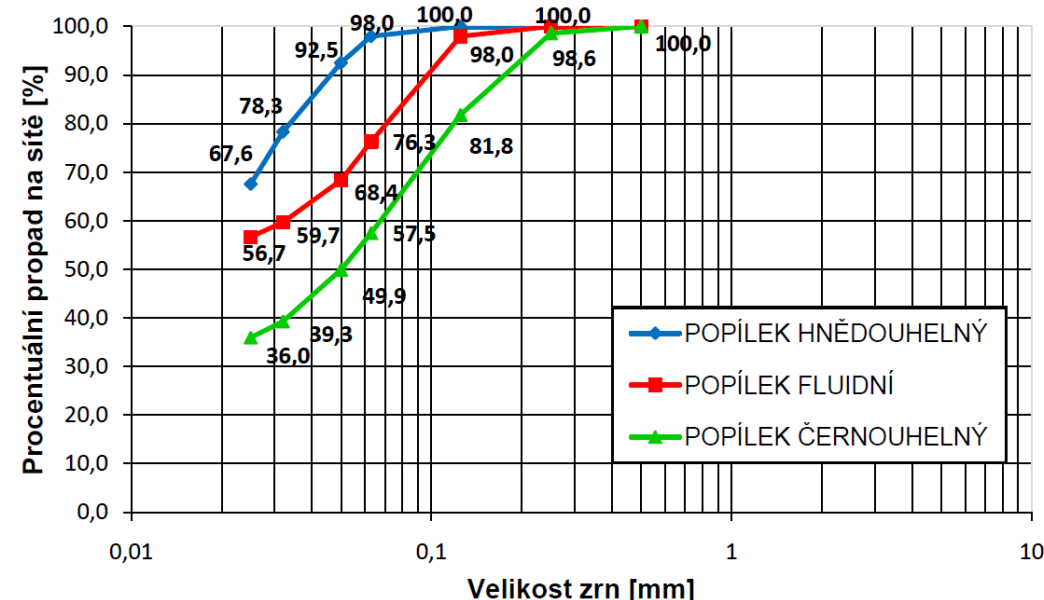
Návrh a posouzení upravení zeminy pojivem

- A. Sítový rozbor
- B. Zhutnitelnost Proctor standard
- C. Poměr únosnosti IBI (CBR)
- D. Namrzavost upravených směsí (přímá metoda)
- E. Experimentální modul pružnosti z cyklické triaxiální zkoušky

KŘIVKA ZRNITOSTI ZEMINY



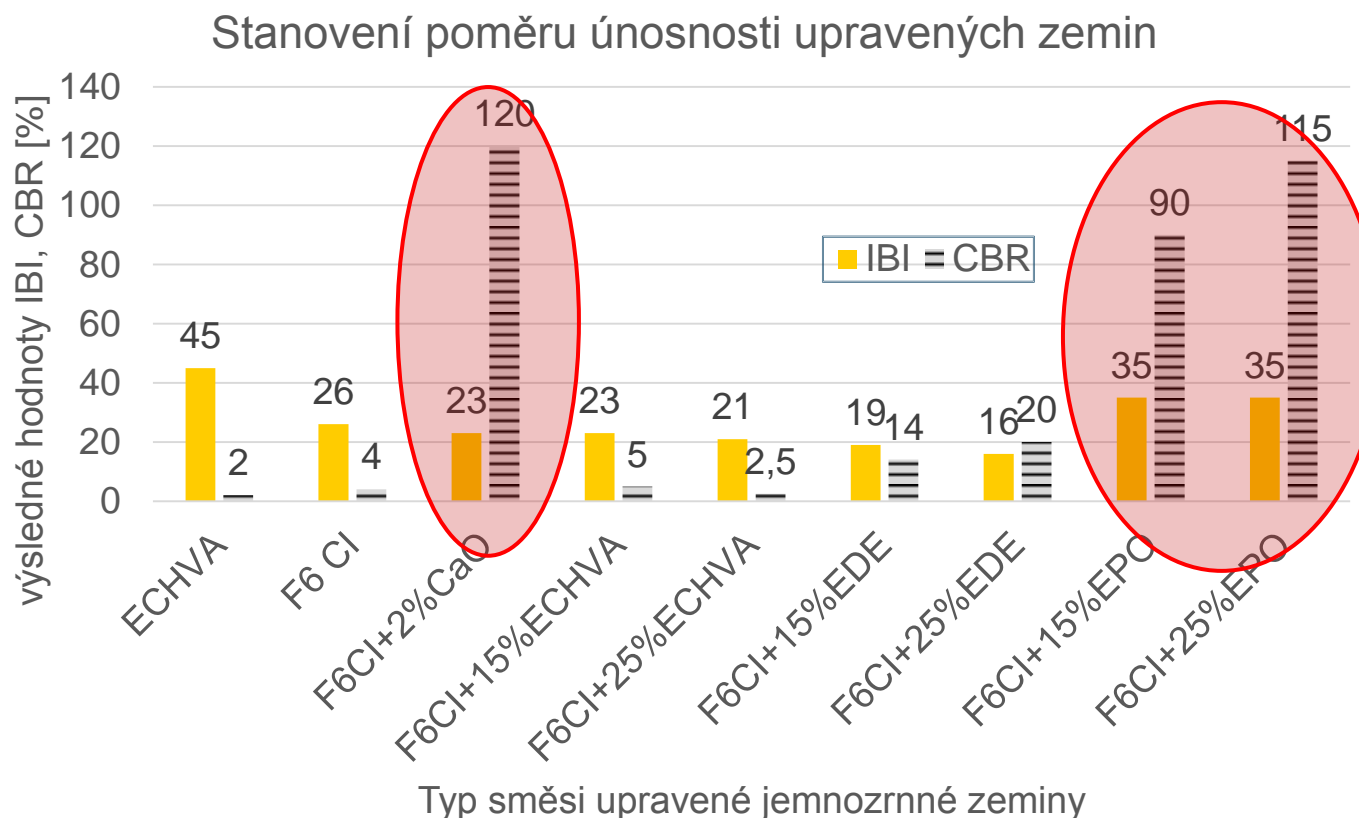
KŘIVKY ZRNITOSTI POUŽITÝCH POPÍLKŮ



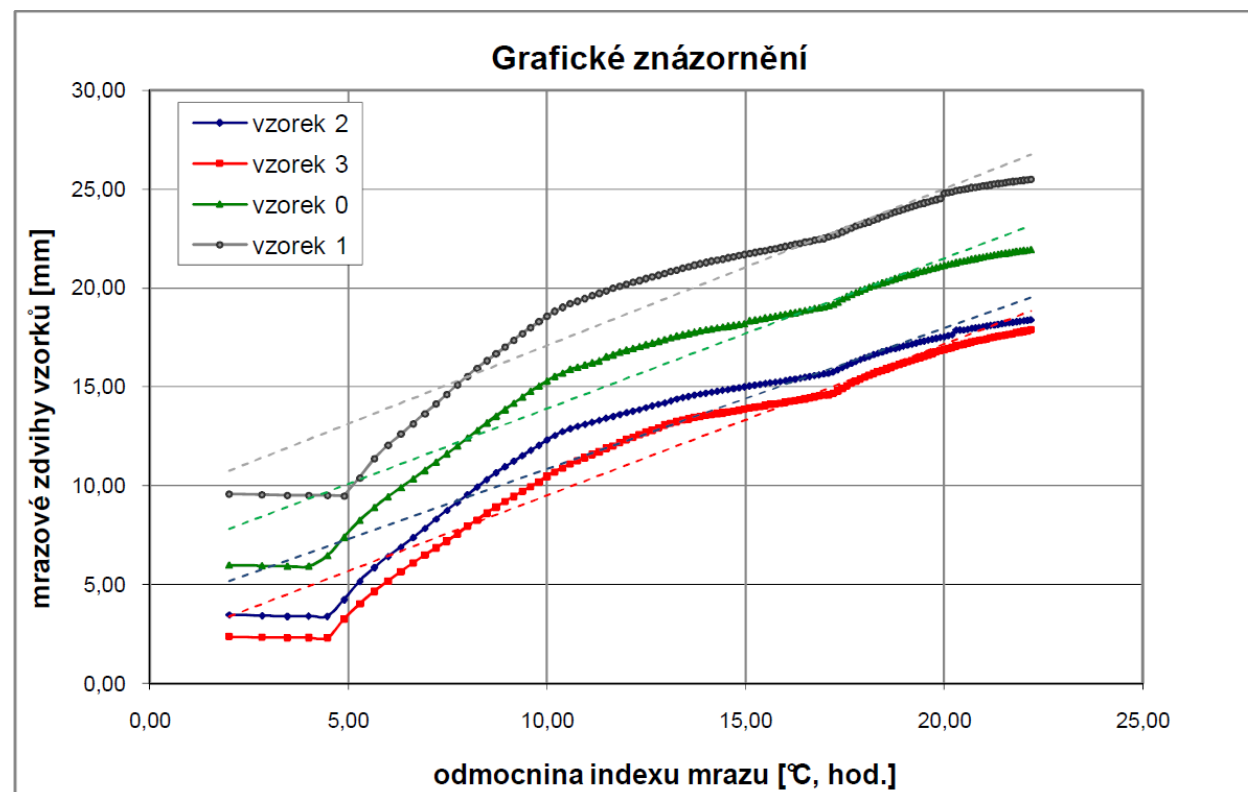
Návrh směsí upravených zemin vápnem a popílkou

Směs č.1	Zemina F6 CI
Směs č.2	Zemina F6 CI zlepšená 2 % vápna
Směs č.3	Zemina F6 CI s 15 % popílku hnědouhelného ECHVA
Směs č.4	Zemina F6 CI s 25 % popílku hnědouhelného ECHVA
Směs č.5	Zemina F6 CI s 15 % popílku černouhelného EDE
Směs č.6	Zemina F6 CI s 25 % popílku černouhelného EDE
Směs č.7	Zemina F6 CI s 15 % popílku fluidního EPO
Směs č.8	Zemina F6 CI s 25 % popílku fluidního EPO
Směs č.9	Popílek hnědouhelný ECHVA

Stanovení poměru únosnosti IBI a CBR



Namrzavost upravené zeminy popílkem a vápnem



Shrnutí výsledků zkoušení upravených zemín

Směs upravené zeminy č.	$\rho_{d,max}$ [kg/m ³]	W_{opt} [%]	IBI [%]	CBR [%]	β	E_r [MPa]	
1	F6 CI	1750	14,5	26	4	0,55	130-180
2	F6 CI+2% hm. CaO	1760	16,0	23	120	0,32	200-300
3	F6 CI+15% hm. ECHVA	1637	15,0	23	5	1,07	-
4	F6 CI+25% hm. ECHVA	1565	16,0	21	2,5	0,69	65-160
5	F6 CI+15% hm. EDE	1725	16,5	19	14	0,53	-
6	F6 CI+25% hm. EDE	1660	15,5	16	20	0,49	130-190
7	F6 CI+15% hm. EPO	1560	16,5	35	90	0,53	-
8	F6 CI+25% hm. EPO	1480	18,5	35	115	0,83	160-220
9	ECHVA	1240	33,0	45	2	0,59	-

Pozn.

$\rho_{d,max}$ maximální objemová hmotnost suché zeminy podle ČSN EN 13286-2 (Proctor standard)
 W_{opt} optimální vlhkost pro maximální zhutnění zeminy podle ČSN EN 13286-2 (Proctor standard)
 IBI okamžitý index únosnosti podle ČSN EN 13286-47
 CBR kalifornský index únosnosti podle ČSN EN 13286-47
 β součinitel míry namrzavosti stanovený přímou metodou měření mrazových zdvihů zkušebních válcových těles podle ČSN 72 1191, $\beta \leq 0,25$ zemina nenamrzavá, $0,25 < \beta \leq 0,50$ zemina mírně namrzavá až namrzavá, $\beta > 0,50$ zemina nebezpečně namrzavá

Závěr

- **Při úpravě jemnozrnné zeminy popínkem je důležitá reaktivnost popílků – fluidní neoptimálnější.**
- **CBR a namrzavost přímou metodou nerostou při úpravě zeminy popínkem lineární závislostí, neplatí čím větší poměr únosnosti CBR, tím menší namrzavost upravené směsi**
- **V podloží ani ve vozovce by neměly směsi s popínkem přijít do styku s vodou.**

Děkuji za pozornost