

# Vybrané výsledky inovací v oblasti pozemních komunikací – z laboratoří ke konkrétním aplikacím

Jan Valentin, VUT, WP1

*Průběh byl zpracován za podpory programu Centra kompetence  
Technologické agentury České republiky (TA ČR) v rámci projektu Centrum pro efektivní a  
udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI), číslo projektu TE01020168*

# Úvodní shrnutí

- v pracovním balíku WP1 během sedmi let řešení realizováno přes 40 výsledků
  - Software – 4x
  - Patent – 2x
  - Užitný vzor – 2x
  - Metodiky – 5x
  - Ověřené technologie – min. 12x
- výsledky řešení převzaty do několika nových norem nebo využity jako podklad pro technické předpisy (SN 73 6141; SN 65 7222-1,2,3; SN 73 6120; TKP 7; TP 259)
- s pomocí výsledků tvořeny i právní normy (např. vyhláška č. 130/2019 Sb.)



# Asfaltové vrstvy pro vozovky s dlouhou životností

- pro vodní rozvíjena nová generace asfaltové směsi VMT;
- následně aktivity zaměřeny především na směsi nového typu označované **RBL**;
- součástí řešení zavedení využitelnosti směsi typu **SMA L** (asfaltový koberec mastixový pro ložní vrstvy);
- pro obrusné vrstvy rozvíjeno řešení s aplikací koncept **HiMA** (vysoce modifikovaná asfaltová pojiva);
- při řešení souboru témat efektivní spolupráce pro myslu (partneři CESTI i externí kooperanti), akademické sféry a veřejného sektoru



# Asfaltové vrstvy pro vozovky s dlouhou životností

- víceletý experimentální program pro stanovení funkčních parametrů směsí typu RBL (porovnání s tradičními typy asfaltových betonů);
- stanovení hlavních křivek modulů tuhosti a úhlu fázového posunu;
- vyhodnocení hlavních křivek pomocí vylepšeného programu MasterSolver, kdy jde o vhodnější postup hodnocení než dle EN 12697-26 „Tuhost“;
- trvalé deformace opakovaným zatěžováním v triaxiálním přístroji;
- **prokázáno** – laboratorně i na vzorcích z reálné stavby a výroby – že při aplikaci laboratorně stanovených charakteristik RBL lze zvýšit  $\epsilon_6$  dle poznámky u tabulky B.5 Dodatku TP 170, stejně jako pro ostatní asfaltové směsi, tj. maximálně o 10 %.

Charakteristika únavy			Konstrukční vrstva	
$T_{50}$	$\epsilon_6$ $10^{-6}$ m/m	B	Typ směsi	Mezerovitost
$F_{at_{zmr.135}}$	135	<b>5,0</b>	VMT s E= 9000 MPa pojivo PMB a MG	3 - 5
$F_{at_{zmr.125}}$	125		VMT s E= 9000 MPa nemodifikované pojivo	3 - 5
$F_{at_{zmr.100}}$	100		ACP	5 - 7
$F_{at_{zmr.110}}$	<b>110</b>		<b>ACP RBL</b>	3 - 6
$F_{at_{zmr.120}}$	<b>120</b>		<b>ACP RBL s PMB</b>	3 - 6



# Asfaltové vrstvy pro vozovky s dlouhou životností



Zkušební úsek na silnici I/26  
(pr tah obcí Lín )

	ACP E45	RBL E45 2015	RBL E45 2016	RBL společně	ACP TP 170
<b>B</b>	5,7	6,0	6,2	6,1	5,0
$\epsilon_{ti}$ (10 <sup>-6</sup> )	112,6	119,1	129,5	123,6	100
$\gamma_{ap}$	1,31	1,15	1,16	1,17	1,15
$\Delta\epsilon_{\sigma}$ (10 <sup>-6</sup> )	11,4	6,4	6,7	4,9	
$\epsilon_{\sigma min} = \epsilon_{\sigma} - \Delta\epsilon_{\sigma}$	101,2	112,7	122,8	118,7	
$SN_N / \sigma$	0,399	0,227	0,244	0,25	
$R^2$	0,878	0,885	0,926	0,89	
Počet těles	20	18	14	32	

# Asfaltové vrstvy pro vozovky s dlouhou životností

## Pilotní ověření vrstev SMA L pro nízkoúdržbová krytová souvrství

- ověření proveditelnosti v rámci programu Nové technologie SFDI (v kooperaci se Středoevropským krajem)
- silnice II/236 Kačice – Smečno, úsek cca 2 km
- ložní vrstva 100 mm a obrusná vrstva v tloušťce 30-35 mm
- asfaltová směs SMA 22L ve variantách 0 %, 30 % a 50 % R-materiálu
- obrusná vrstva: BBTM 8NH a SMA 8NH (i zde s R-materiálem)

Varianta směsi SMA 22L	Odolnost proti úniku vody	Odolnost proti trvalým deformacím		Modul tuhosti při 15°C (IT-CY)	Teplotní citlivost
	ITSR (%)	WTS <sub>AIR</sub> (mm)	PRD <sub>AIR</sub> (%)	S <sub>15</sub> (MPa)	S <sub>0</sub> /S <sub>27</sub> (-)
reference dle ITT	80	0,022	2,9	10 756	4,51
0 % RA	86	0,029	3,2	7 914	5,19
30 % RA	77	0,015	2,2	9 233	2,75
50 % RA	73	0,016	1,8	10 220	4,87

# Studená emulzní asfaltová směs

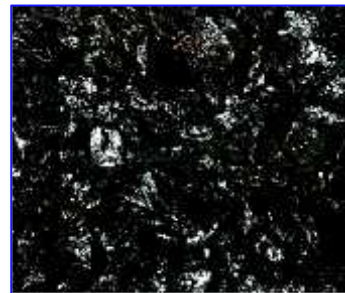
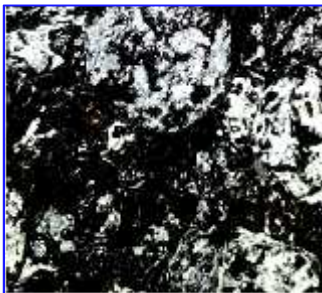
- směs zvlhčených frakcí kameniva a asfaltové emulze (s případným použitím aktivních filler), které vykazují změny vlastností v průběhu stárnutí asfaltové emulze;
- využitelnost vysokých podílů recyklovaných materiálů;
- snížení energetické náročnosti;
- určeno primárně pro vozovky nižších tříd dopravního zatížení.

Náklady / spotřeba na 1 t vyrobené směsi	Klasická asfaltová směs za horka	Emulzní asfaltová směs za studena
Náklady na výrobu	ACO 100 %	EAC 90 % Při použití R-materiálu 85 %
Energetická náročnost - spotřeba paliva na ohřev	Ohřev kameniva a asfaltu: 8 l LTO / t směsi	Bez ohřevu: 0 (40°C - Asfaltová emulze)
Energetická náročnost - elektrická energie	Pohon obalovny: 25 kWh / t	Pohon míchacího zařízení: 3 kWh / t
Emise CO <sub>2</sub>	Ohřev kameniva a asfaltu: 21 kg / t	Bez emisí: 0 (40°C - Asfaltová emulze)
Investiční náklady na srovnatelné zařízení pro výrobu směsi	Obalovna: 170 Kč / t	Jednoduché mobilní míchací zařízení: 14 Kč / t

# Studená emulzní asfaltová směs

- zkušební úsek v délce 1,8 km na silnici III/44441 mezi obcemi Hranice a Petrovice and Moravský Beroun;
- účinná mezinárodní spolupráce (Francie, Rakousko, ČR);
- lokální výroba – pokládka – dlouhodobý monitoring

Směs	Pevnost v příčném tahu [MPa] - zrání při 18°C				ITSR* [-]	ITSR [-] dle ČSN EN 12697 - 12	Pokles pevnosti v příčném tahu [-]
	7 vzduch	14 vzduch	7 vzduch + 7 voda	28 vzduch			
1. CZ	0,61	1,00	0,52	1,18	51,5	39,8	85,2
2. CZ	0,72	1,09	0,67	1,43	61,5	46,6	93,1
2. Fr	0,75	1,07	0,62	1,23	57,9	44,2	82,7



Návrh	Optimální vlhkost [%]
1. CZ	5,56
2. CZ	5,96
3. Fr	5,96





# Studená emulzní asfaltová směs

## Úsek . 1

RS 0/32 CA (na místě); 150 mm; TP 208š. = 4,5 m  
PS-E; SN 73 6129  
EAC 16; 50 mm š = 4,3 m  
PS-E; SN 73 6129  
EAC 11; 40 mm š = 4,2 m

## Úsek . 3

RS 0/32 CA (na místě); 150 mm; TP 208š. = 4,5 m  
PS-E; SN 73 6129  
EAC 16; 80 mm; š = 4,2 m  
Nátěr emulzní JV š = 4,2 m

## Úsek . 5

RS 0/32 CA (na místě); 150 mm; TP 208š. = 4,5 m  
PS-E; SN 73 6129  
EAC 16 + 30 % R-materiálu; 80 mm; š = 4,2 m  
Nátěr JV; SN 73 6129 š = 4,2 m

## Úsek . 2

RS 0/32 CA (na místě); 150 mm; TP 208š. = 4,5 m  
PS-E; SN 73 6129  
EAC 16; 80 mm; š = 4,2 m  
Nátěr JV; SN 73 6129 š = 4,2 m

## Úsek . 4

RS 0/32 CA (na místě); 150 mm; TP 208š. = 4,5 m  
PS-E; SN 73 6129  
EAC 16 + 30 % R-materiálu; 50 mm š = 4,3 m  
PS-E; SN 73 6129  
EAC 11 + 30 % R-materiálu; 40 mm š = 4,2 m

## Úsek . 6 (referenční)

RS 0/32 CA (na místě); 150 mm; TP 208š. = 4,5 m  
PS-E; SN 73 6129  
AC 16; 50 mm; š = 4,3 m  
PS-E; SN 73 6129  
AC 11; 40 mm; š = 4,2 m

EAC .... Emulzní asfaltový beton za studena podle návrhu TP Asfaltové směsi za studena, zrnitost směsi kameniva stejná jako AC podle SN EN 13108-1, pojivo pomaluštná emulze minimálně C60B7 podle SN EN 13808

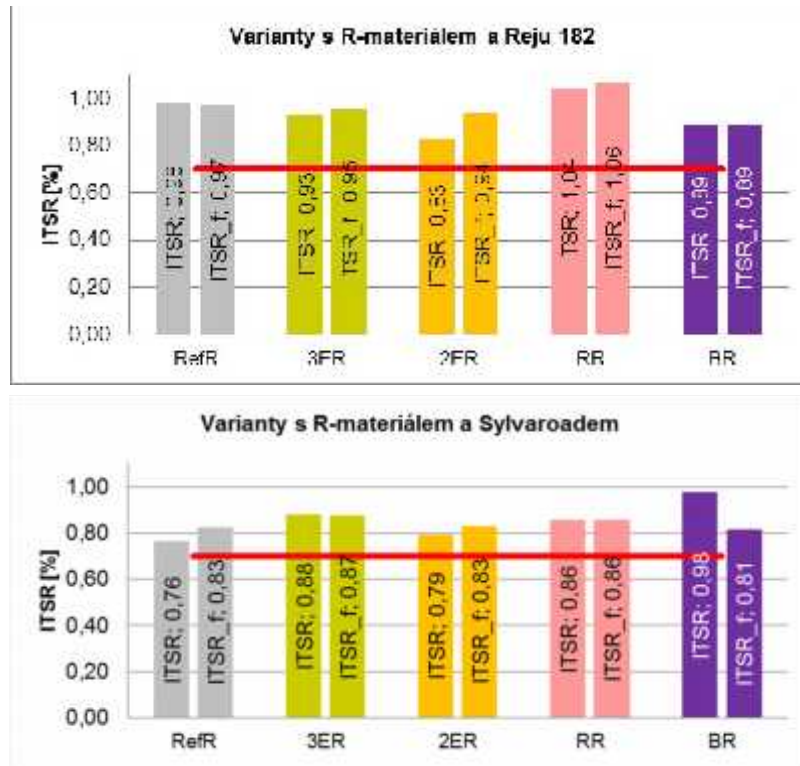


# Studená emulzní asfaltová směs



# Asfaltové směsi s vyšším podílem R-materiálu (s případnou kombinací snížené pracovní teploty)

- využití nových variant přísad na bázi přírodních a syntetických vosků vhodných pro nízkoteplotní asfaltové směsi, v kombinaci s rejuvenátory pro směsi, kde je aplikován asfaltový R-materiál;
- realizace zkušebních úseků (např. silnice II. třídy Terešov – Vejvanov s uplatněním 8 dílčích podúseků, kde se **použilo 40-60 % R-materiálu** a realizace nízkoteplotní asfaltové směsi);



Nalámané kousky



G - Granule



K - Jemné granule



A, P - Prášky



W - Emulze na vodní bázi



Tekutina ve vyhřívaných nádobách

# Asfaltové směsi s vyšším podílem R-materiálu (s případnou kombinací snížené pracovní teploty)

Vliv kombinace syntetických vosků a rejuvenátorů na vlastnosti asfaltové směsi s R-materiálem - ZKUŠEBNÍ ÚSEK



# Asfaltové směsi s vyšším podílem R-materiálu (s případnou kombinací snížené pracovní teploty)

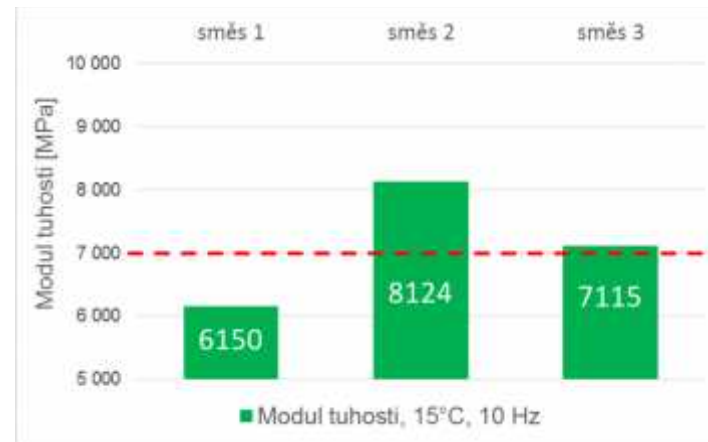
- prosazení aplikace asfaltových směsí s vyšším podílem R-materiálu na pozemní komunikace ve správě SD;
- pokusný úsek I/61 Lidice – Kladno s uplatněním **30-50 % R-materiálu** v ložní a obrusné vrstvě – **první svého druhu na prioritní silniční síti**;
- porovnání vlivu specifického typu polymerem modifikovaného asfaltu (PMB RC) a rejuvenátoru.



# Asfaltové směsi s vyšším podílem R-materiálu (s případnou kombinací snížené pracovní teploty)

- cca 1 km dlouhý zkušební úsek Olšovec – Potštát;
- aplikace asfaltové směsi AC s **50 % R-materiálu** a rejuvenátorem Prephalt.

Označení vzorku	Pojivo	Rejuvenátor	Podíl R-materiálu	Penetrace po výrobě	KK po výrobě
			[%]		
sm s 1	70/100	Ne	0	55	49,6
sm s 2	70/100	Ne	50	37	54,1
sm s 3	70/100	Ano	50	43	53,6
p vodní pojivo	70/100	-	-	72	46,7
R-materiál	-	-	-	24	59



# Cementobetonové kryty: řešení proti rozpínavým reakcím, uplatnění směsí s jinými pojivy

## OVĚŘENÍ VYUŽITELNOSTI SMĚSÍ S JINÝMI CEMENTY

- **východisko:** k využití směsí s jinými cementy do vozovkových betonů přetrvává v R dlouhodobá značná nedostatečnost;
- experimentální aktivity směřující k prokázání dobré trvanlivosti a životnosti CB krytu vyrobeného z pojiv kombinujících další přísady;
- navrženy experimentální betonové směsi, ve kterých byl celkový objem použitého CEM I 42,5 R SC nahrazen 15 %, 30 % a 45 % mleté vysokopecní granulované strusky;
- výsledkem byla betonáž s cementy odpovídajícími svým složením CEM II až CEM III (dle SN EN 197-1). Srovnávací hodnoty jednotlivých parametrů byly potom stanoveny na betonu, ve kterém byl CEM I 42,5 R SC použit ve 100 % objemu.

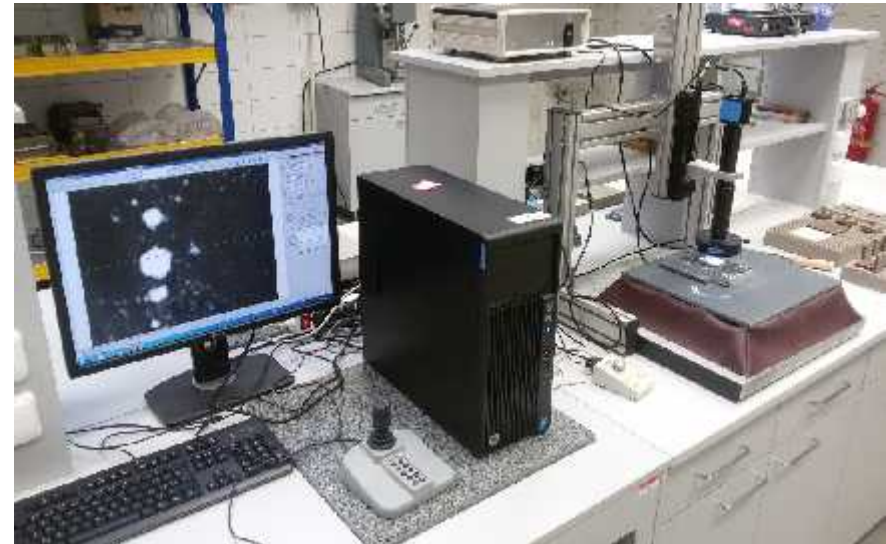


# Cementobetonové kryty: řešení proti rozpínavým reakcím, uplatnění směsných pojiv

## OVĚŘOVÁNÍ VYUŽITELNOSTI SMĚSNÝCH CEMENT

Zkouška	Dny	100% CEM	85% CEM + 15% S	70% CEM + 30% S	55% CEM + 45% S
Pevnost v tlaku [MPa]	28	44,3	38,8	41,4	42,8
	56	49,5	51,0	53,4	59,4
	180	52,7	54,7	64,3	58,7
	365	59,1	57,5	63,7	60,1

Zkouška	Dny	trámce 100x100x400 mm			
		100% CEM	85% CEM + 15% S	70% CEM + 30% S	55% CEM + 45% S
Pevnost v tahu ohybem [MPa]	56	6,1	6,2	7,4	7,2
	180	6,2	6,6	8,0	7,6
	365	6,8	6,9	7,0	7,1

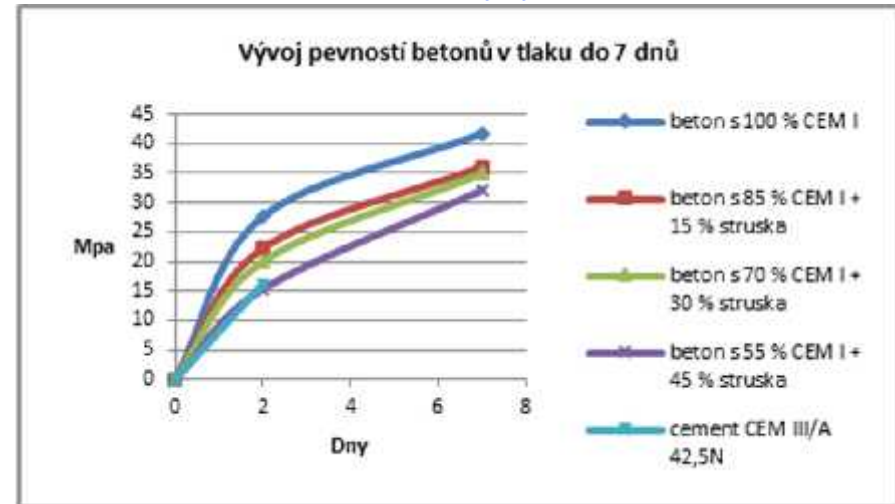
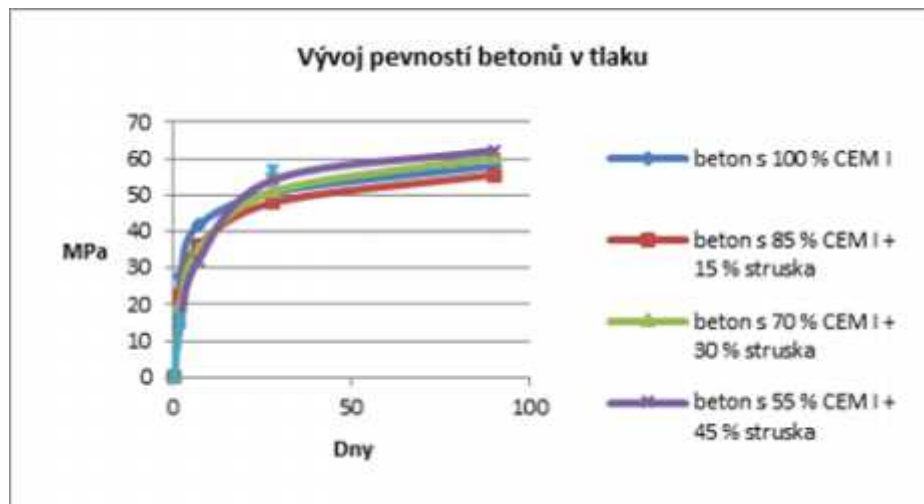




# Cementobetonové kryty: řešení proti rozpínavým reakcím, uplatnění směsných pojiv

## OVĚŘENÍ VYUŽITELNOSTI SMĚSNÝCH CEMENTŮ

- **Analýza stavu CBK:** ve velké míře se vyskytují mapové trhliny, které následně vlivem klimatických podmínek (déšť, mrazové cykly), používáním posypových solí a vlivem zatížení dopravou mohou snižovat předpokládanou životnost;
- příčinou není samo o sobě kamenivo a rizika AKR, je to složitější kombinace vlivů s významnou rolí používaných cementů;
- realizace zkušebního úseku v rámci realizace stavby D1 0137 Píseň - Lipník nad Bečvou (s novými recepturami);
- **jeden ze závěrů:** nutnost aktualizace technických předpisů, především normy SN 73 6123-1: 2014 Stavba vozovek - Cementobetonové kryty – část 1;



# Cementobetonové kryty: řešení proti rozpínavým reakcím, uplatnění směrnicových pojmů



# Cementobetonové kryty: řešení proti rozpínavým reakcím, uplatnění směrnicích poživ

## OVĚŘOVÁNÍ VYUŽITELNOSTI SMĚRNICÍCH CEMENT

- zpomalení procesu hydratace a tím omezení rizika vzniku mikrotrhlin v pozdějším stádiu zrání betonu,
- zajištění pomalejší rychlosti tvrdnutí betonu, dlouhodobého nárůstu pevností a vyššího pozdějšího dotvarování,
- přidavek vysokopepční strusky rovněž působí jako opatření pro snížení rizika výskytu rozpínavých reakcí v betonu, zejména ASR – viz doporučení RILEM a AASHTO,
- prodloužení optimálních časových úseků pro technologické operace, jako: zpracování betonu, povrchová úprava, vymetání, leštění spár apod.

=> navržena změna technických předpisů a norem pro realizovaný případ se struskou (schváleno SD, Ing. Birnbaumová);

=> odbory vývrt od SD v následujících letech pro sledování změny ve struktuře materiálu a jeho chemismu.



# Hydraulicky stmelené vrstvy

- možnosti využívání zejména fluidních popílků v bžn dodávané podobě a alternativně jako mechano-chemicky aktivované jemně mleté pojivo nebo aktivní plnivo;
- identifikace možných problémů, ale i těch, která úskalí, jež při takovém řešení vznikají a mohou ovlivnit praktické využití;
- porovnání popílků z různých zdrojů, kdy je substituován původní materiál a je posouzen vliv popílků a mechano-chemické aktivace na výsledné parametry;
- realizace zkušebního úseku s uplatněním popílkového pojiva při technologii recyklace za studena na místě a silnici II/118 o délce 960 m v úseku Nouzov – Hřebenka ve Středočeském kraji.




# Hydraulicky stmelené vrstvy

SLOŽKA	VAR I	VAR IIa	VAR IIb	VAR III
Cement (CEM II 32.5 R)	4,00	1,00	1,00	0,00
Zp n ný asfalt (70/100)	0,00	0,00	0,00	2,00
Mechano-chemický aktiv. popílek (DASTIT®)	0,00	0,00	4,00	3,00
Mechano-chemický aktiv. popílek (ALPIQ)	0,00	4,00	0,00	0,00
Sm sný asfaltový recyklát p vodní vozovky	91,00	89,00	88,00	91,50
Voda	5,00	6,00	7,00	3,50

Vlastnost	VAR I	VAR IIa	Požadavek pro ITT zkoušku
Min. pevnost v p í ním tahu $R_{it}$ po 7 dnech v MPa	<b>0,48</b>	<b>0,34</b>	0,30 – 0,70 MPa
Pevnost v p í ním tahu $R_{it}$ (7 dní na vzduchu + 7 ve vod ) v MPa	0,50	0,26	---
Odolnost proti vod v %	<b>103,5 %</b>	<b>76,0 %</b>	min. 75 %
Vlastnost	VAR IIb	VAR III	Požadavek pro ITT zkoušku
Min. pevnost v p í ním tahu $R_{it}$ po 7 dnech v MPa	<b>0,54</b>	<b>0,32</b>	0,30 – 0,70 MPa
Pevnost v p í ním tahu $R_{it}$ (7 dní na vzduchu + 7 ve vod ) v MPa	<b>0,54</b>	<b>0,24</b>	---
Odolnost proti vod v %	<b>100,4 %</b>	<b>74,0 %</b>	min. 75 %





Rethinking the future: It is a profound challenge, at the end of an era of cheap oil and materials to rethink and redesign how we produce and consume; to reshape how we live and work, or even to imagine the jobs that will be needed for transition.

Ellen MacArthur

quoteslicious

**D KUJI ZA VAŠI POZORNOST A VYUŽIJME CESTI JAKO AKCELERÁTORU ZMĚN V DOPRAVNÍ INFRASTRUKTUŘE**