

AV'15

KONFERENCE
ASFALTOVÉ VOZOVKY 2015

Řešení pro trvanlivé a efektivní asfaltové vozovky

(hospodárné, energeticky šetrné, s
důrazem na ochranu životního prostředí)

Jan Valentin

25.11.2015, České Budějovice

Udržitelný vývoj v silničním stavitelství

Vozovky a udržitelný vývoj

STAV NAŠEHO POZNÁNÍ:

- ➔ udržitelnost představuje jeden z nejsložitějších současných vědeckých problémů;
- ➔ nutí nás optimalizovat technologie, používané materiály i myšlení;
- ➔ kritéria pro udržitelné vozovky:
 - předvídatelné chování uživatelů a bezpečnost,
 - kvalita a pohodlí jízdy,
 - náklady životního cyklu,
 - energetická efektivita a její posouzení (uhlíková stopa),
 - Dopady na kvalitu života v okolí pozemní komunikace (hluk, znečištění ovzduší, heat islands,
 - recyklovatelnost.
- ➔ snižování energetické náročnosti přisuzujeme jeden z největších důrazů.

Vozovky a udržitelný vývoj

JAK OMEZIT UHLÍKOVOU STOPU:

- ➔ omezení produkce skleníkových plynů při stavbě vozovek lze dosáhnout komplexními změnami při výrobě materiálu;
- ➔ jednou z možností jsou modifikační přísady, další recyklace.



VLÁKNA V ASFALTOVÝCH SMĚSÍCH:

- ➔ dlouhá historie;
- ➔ používání pro zlepšování celé řady vlastností (odolnost proti deformacím, únava, stékavost atd.).

Vozovky a udržitelný vývoj

POZNATKY S PP A ARAMIDOVÝMI VLÁKNY:

- ➔ nižší akumulace trvalých deformací;
- ➔ lepší charakteristiky tzv. flow-testu a flow-number (nemá v Evropě patřičný ekvivalent);
- ➔ vyšší odolnost proti smykovému poškození
- ➔ zvýšení tahu za ohybu a současně s tím i komplexního modulu;
- ➔ vyšší odolnost proti šíření mrazových trhlin.

Asfaltové směsi s nižší energetickou náročností na Slovensku

- ➔ aktuální poznatky se zaváděním NTAS na Slovensku;
- ➔ původní motivací bylo docílit menší spotřeby energií;
- ➔ dle použité technologie a zahraničních poznatků lze docílit snížení spotřeby energie o 15-35 %;
- ➔ s tím souvisí tradičně nižší produkce emisí skleníkových plynů (orientačně snížení o 2-5,5 kg/t CO₂);
- ➔ první poznatky s NTAS na Slovensku neprokázaly v dostatečné míře uvedené přínosy;
- ➔ přesto se daří technologie NTAS na Slovensku postupně rozvíjet (laboratorně i prakticky, včetně souvisejících měření emisí při výrobě;
- ➔ ověřování technologií s přísadami a s využitím zpěněného asfaltu.

Asfaltové směsi s nižší energetickou náročností na Slovensku

CO SE OVĚŘovalo:

- ➔ přísady Rediset LQ a Zycotherm;
- ➔ různé varianty přírodních zeolitů (ZEOCEM) s vlhkostí 6-20 %;
- ➔ pěnoasfaltová technologie.

CO SE SLEDOVALO:

- ➔ potenciál snížení pracovních teplot (Rediset o 15°C; až 30°C při využití zeolitu s vyšším obsahem vlhkosti);
- ➔ vliv na přilnavost asfaltu ke kamenivu a trvanlivost asfaltové směsi (minimální poklesy ITSR);
- ➔ větší dopad na ITSR má zeolit;
- ➔ při použití směsi se zpěněným asfaltem je potřebné uvažovat větší počet pojezdů hutnící techniky.

Vztah mezi složením asfaltu a modifikací SBS a FTP

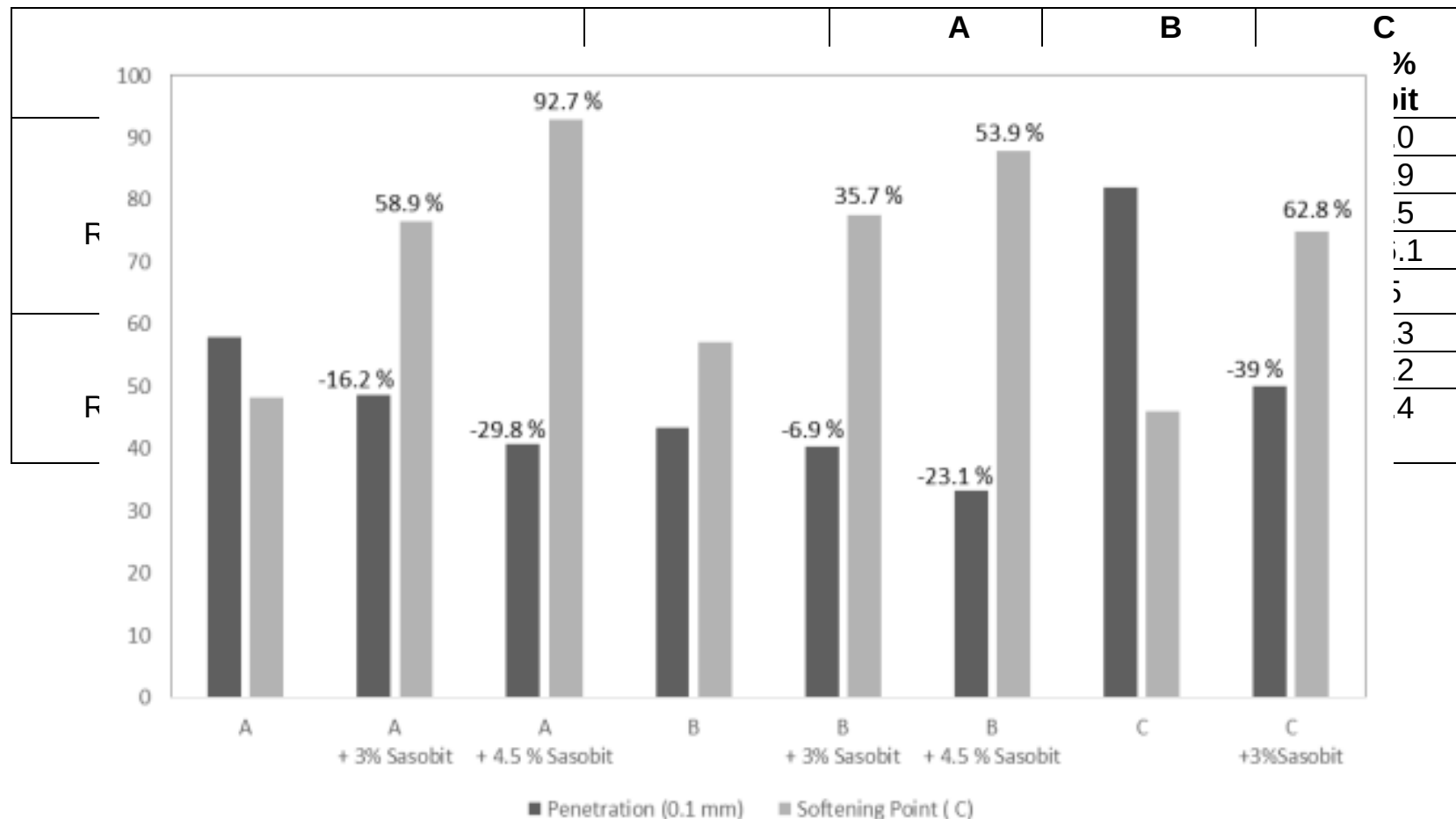
- ➔ sledován vliv množství asfalténů a malténů na kvalitu výsledného pojiva s SBS a FTP pro asfalty tří různých produkcí;
- ➔ SBS v množství 1,5 % nebo 4,5 % a FTP v množství 3 % nebo 4,5 %
- ➔ FTP vmícháno při teplotě 140°C po dobu 10 minut;
- ➔ SBS vmícháno při teplotě 180°C po dobu 60 minut;
- ➔ posuzování nezestárлых a zestárлых variant asfaltového pojiva;
- ➔ zaměření na posouzení funkčních charakteristik, které souvisí s trvalými deformacemi či únavou asfaltových vrstev;
- ➔ provádění chemických analýz (SARA, koloidní index).

Vztah mezi složením asfaltu a modifikací SBS a FTP

POUŽITÁ ASFALTOVÁ POJIVA:

		Jednotky	A	B	C
Před RTFOT	Asphalteny	% hmot.	12.1	27.0	12.8
	Penetrace	0.1 mm	58.0	43.3	82.0
	Bod měknutí	°C	48.2	57.1	46.0
	DSR ($G^*/\sin\delta > 1$ kPa)	°C	65.2	78.8	62.6
	Viskozita @135°C	cP	382.8	699.2	304.4
	Přilnavost	%	70	65	65
Po RTFOT	Penetrace	0.1 mm	43.0	32.3	51.0
	Bod měknutí	°C	52.4	68.2	52.6
	DSR($G^*/\sin\delta > 2.2$ kPa)	°C	64.1	84.0	64.1

Vztah mezi složením asfaltu a modifikací SBS a FTP



Vztah mezi složením asfaltu a modifikací SBS a FTP

POROVNÁNÍ VLIVU FTP A SBS:

		Jednotky	A + 4.5% Sasobit	A + 4.5% SBS	B + 4.5 % Sasobit	B + 4.5% SBS
před RTFOT	Penetrace	0.1 mm	40.7	41.7	33.3	31.7
	Bod měknutí	°C	92.9	62.7	87.9	73.3
	DSR ($G^*/\sin\delta > 1$ kPa)	°C	76.3	80.4	82.9	>100
	Viskozita @135°C	cP	270.6	1408	752.5	4740
	Přilnavost	%	95	-	95	80
Po RTFOT	Penetrace	0.1 mm	28.0	28.7	26.3	26.0
	Bod měknutí	°C	90.0	70.9	90.9	77.4
	DSR ($G^*/\sin\delta > 2.2$ kPa)	°C	74.0	75.4	-	>100

Vztah mezi složením asfaltu a modifikací SBS a FTP

POUŽITÍ BINÁRNÍ PŘÍRADY:

		Jednotky	A +1,5% SBS + 3% Sasobit	B +1,5% SBS + 3% Sasobit
Před RTFOT	Penetrace	0.1 mm	36.3	31.0
	Bod měknutí	°C	81.9	83.2
	DSR ($G^*/\sin\delta > 1$ kPa)	°C	78.5	88.0
	Viskozita @135°C	cP	487.2	1666
	Přilnavost	%	90	95
Po RTFOT	Penetrace	0.1 mm	28.3	25.3
	Bod měknutí	°C	87.6	88.6
	DSR ($G^*/\sin\delta > 2.2$ kPa)	°C	74.3	>10

- ➔ použity čtyři různé postupy vmíchání obou přísad/modifikátorů;
- ➔ v některých případech nedošlo k docílení dostatečné homogenity.

Průmyslově připravené asfaltové pojivo pro NTAS: zkušební úsek

SHRNUTÍ:

- ➔ ověření funkčnosti pojiva ECO², které umožňuje snížit pracovní teploty o 40°C;
- ➔ pojivo nesnižuje viskozitu směsi, nýbrž snižuje povrchové napětí mezi pojivem a kamenivem, čímž se zlepšuje zpracovatelnost;
- ➔ 3 zkušebními úseky realizovanými v koordinaci IFSTTAR ve Francii a ve Španělsku;
- ➔ vychází z dobrovolného závazku snížit emise skleníkových plynů do roku 2020 o 33 %;
- ➔ potenciál nižšího ohřevu kameniva;
- ➔ současné technologie rozvinuté v Evropě a v USA umožňují snižovat energetickou náročnost až o 35 % a CO₂ až o 40 %;
- ➔ **podrobně bylo již prezentováno v roce 2012 v rámci workshopu Asfaltové směsi – postřehy z E&E kongresu.**

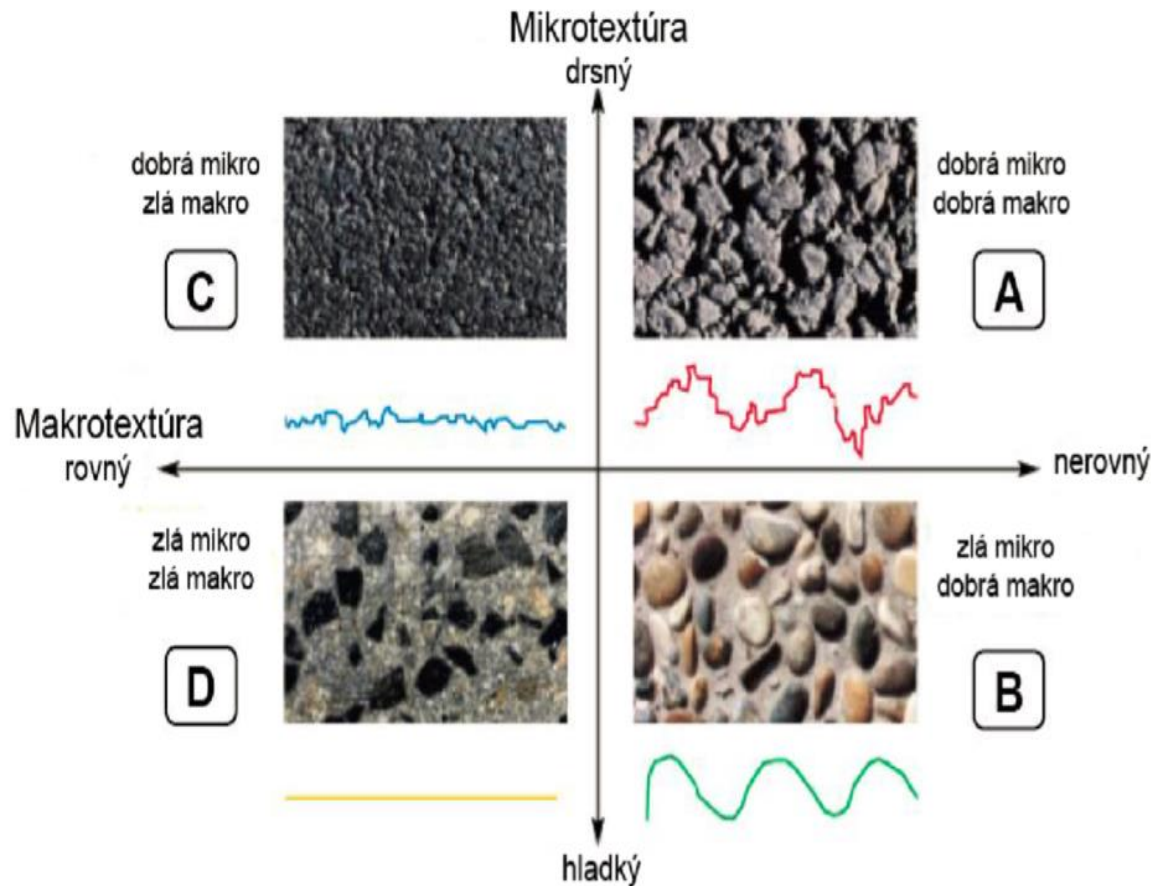
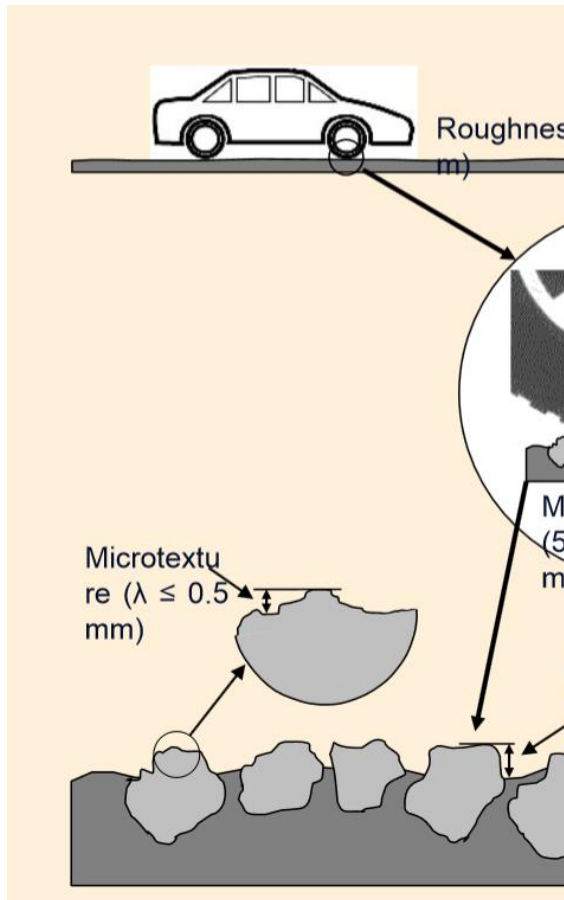
Snižování hlučnosti a zvyšování bezpečnosti vozovek

Vozovky šetrné k životnímu prostředí

SLEDOVANÉ VLIVY:

- ➔ nejen materiálové hledisko (tzn. úspora materiálu či energie) ale i vlivy bezpečnosti a širšího životního prostředí;
- ➔ důležité aspekty:
 - dostatečné protismykové vlastnosti (mikro- a makrotextura)
 - minimální nerovnosti (megatextura)
 - akustické charakteristiky (makrotextura)
- ➔ přímé interakce se silniční dopravou (co se stane, když uvedené aspekty jsou negativní?)
- ➔ jaký je dopad na komfort a bezpečnost?

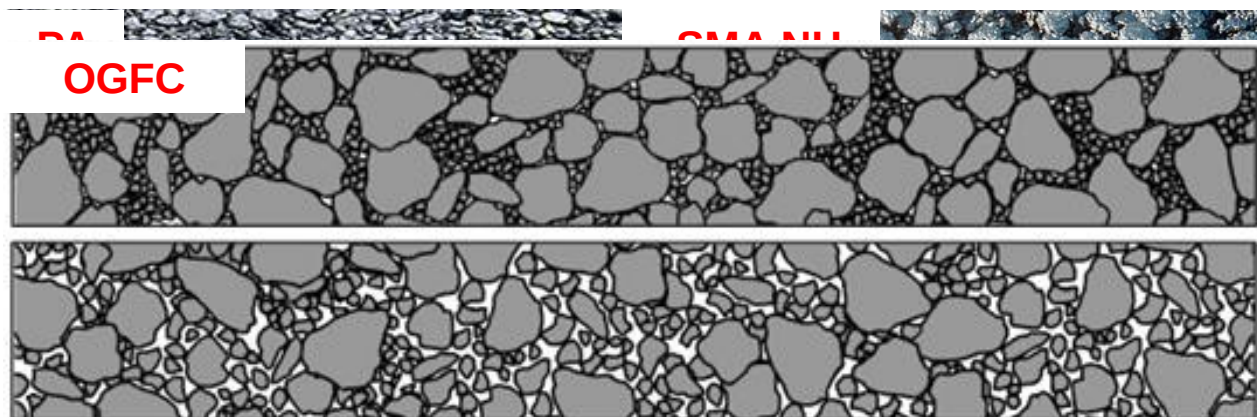
Vozovky šetrné k životnímu prostředí?



Vozovky šetrné k životnímu prostředí?

VLIVY NA HLUK:

poradie	parameter	Miera vplyvu
1	Makrotextúra	Veľmi veľká
2	Megatextúra	Veľká
3	Mikrotextúra	Stredná
4	Nerovnosť	Menej
5	Pórovitosť	Veľmi veľká
6	Hrúbka vrstvy	Veľká pre pórovité povrchy
7	Prilnavosť (normal.)	Malá/ stredná
8	Trenie (tangen)	Stredná
9	Stuhnutosť	Neurčité, stredné



Hodnocení hlučnosti povrchů PK v ČR

- ➔ shrnutí poznatků víceletého měření a to včetně vývoje akustických charakteristik u vybraných úseků v čase;
- ➔ zpřesnění a metodické zavedení CPX metody pro měření hlučnosti na styku pneumatika-vozovka;
- ➔ vymezení okrajových podmínek pro použití CPX metody a zpracování ucelené metodiky měření;
- ➔ získání poznatků o vlivu povrchu a jeho stáří.



Odpouštějící silnice a co pro to děláme

ÚVOD:

- ➔ problematická definice „odpouštějící“ silnice;
- ➔ co (ne)děláme pro vyšší bezpečnosti z pohledu kce vozovek?
- ➔ zaměření na protismykové vlastnosti a nerovnosti a dopady na bezpečnost silničního provozu;
- ➔ jak se změnil stav během 10 let – máme vozovky v lepším stavu?
- ➔ bohužel ne (klasifikační stupeň 5 se zhoršil o 100%).
- ➔ jak kvalitní a pokročilý je náš systém hospodaření s vozovkou, aby
 - a. dával potřebné informace;
 - b. predikoval vývoj;
 - c. byl plněn potřebnými daty.

Odpouštějící silnice a co pro to děláme

PŘÍKLADY, KDY PK NENÍ ODPOUŠTĚJÍCÍ:

- ➔ nové povrchy vozovek:
 - segregace směsi a povrch s přebytkem pojiva;
 - překrytí hrubého kameniva pojivem (zlepšení cca po 6-8 měsících);
- ➔ provozované povrchy vozovek:
 - omezení údržby a pozdní opravy povrchů;
 - podcenění zdánlivě „nevýznamných nerovností“;
 - nadměrné znečišťování vozovek (zejména vozovky v tunelech a u MK);
- ➔ vozovky s provedenou údržbou a opravami:
 - lokální výspravy s využitím hříšné tryskové metody (**skutečně není metodou trvalé opravy!!**);
 - chyby při provádění nátěrů, příp. EKZ => mnohdy důsledek našich jednokriteriálních VZ);
- ➔ provedení vodorovného dopravního značení
 - problematika velkoplošných VDZ v místech brzdění vozidel.

Recyklace vozovek

Úvodní shrnutí

Proč recyklovat

- ➔ je to ekonomicky smysluplné a vytváří přidanou hodnotu
- ➔ je to šetrné k životnímu prostředí (menší CO₂ stopa, omezení využívání neobnovitelných zdrojů)
- ➔ podporuje to principy udržitelného vývoje
- ➔ má zásadnější efekt než snižování energetické náročnosti
- ➔ 100% využití materiálu asfaltových vrstev

Jak recyklujeme

- ➔ za horka, tepla či za studena
- ➔ formou down-cycling nebo up-cycling
- ➔ především ale nadále NEDOSTATEČNĚ.

Zvyšování množství přidávaného R-materiálu na obalovně

- ➔ teoreticky možné dávkovat až 100%, má však své limity;
- ➔ diskutabilní je dodržení vyhovujících vlastností výsledné směsi;
- ➔ rizikové aspekty při práci s R-materiálem:
 - dochází k systematickým a náhodným chybám;
 - fenomén nestejnorodosti materiálu a proměnlivosti zastoupení frakci, vč. fileru;
 - vyšší rozptyl složek R-materiálu a tudíž odchylky od laboratorně navrženého složení;
- ➔ statistické vyhodnocení správnosti a přesnosti recyklačního procesu na obalovně;
- ➔ i na moderní šaržové obalovně platí, že R-materiál je sice dávkován správně, ale přesnost není dostatečná.

Zvyšování množství přidávaného R- materiálu na obalovně

POZNATKY REŠERŠÍ:

- ➔ použití až 50% R-materiálu je standardem a opakovaně zahraniční výsledku ukazují, že kvalita je v pořádku;
- ➔ pro obrusné vrstvy zkušenosti s dobrých chováním směsí do 40 % R-materiálu;
- ➔ oproti tomu při více jak 70 % R-materiálu v asfaltové směsi prokázáno zhoršení únavových charakteristik;
- ➔ využívání rejuvenátorů umožňuje zvyšovat podíly R-materiálu;
- ➔ doporučení (některé evropské země či ASSHTO) využívat měkčí pojivo při přítomnosti většího množství R-materiálu;
- ➔ věnovat pozornost tloušťce asfaltového filmu.

Zvyšování množství přidávaného R- materiálu na obalovně

VARIABILITA U R-MATEIRÁLU:

zrno, mm	číslo vzorku					průměr	směrodatná odchylka
	I	II	III	IV	V		
> 11.2	6.3	7.5	8.4	8.7	7.5	7.7	1.1
> 2	69.4	73.4	71.2	68.5	68.7	70.6	2.2
0.063 - 2	30.4	26.5	28.6	31.3	31.2	29.2	2.0
< 0.125	0.5	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.1
< 0.063	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1
Asfalt	4.78	4.73	4.86	4.81	4.43	4.72	0.17

- ➔ dávkování na obalovně nicméně odpovídá potom již principům Gaussova normálního rozdělení;

Zvyšování množství přidávaného R- materiálu na obalovně

PRAKTICKÁ DOPORUČENÍ:

- ➔ plánovat vždy v předstihu denní a týdenní výrobu a vyhýbat se výrobním špičkám;
- ➔ usilovat o provoz obalovny se sníženým výkonem ale rovnoměrnou výrobou;
- ➔ usilovat o nižší pracovní teploty;
- ➔ posoudit možnosti ohřevu zásobníků;
- ➔ pravidelně kontrolovat zrnitost R-materiálu a využívat nástroje možných predikcí pro výsledné složení asfaltové směsi;
- ➔ sledovat teplotu v celém procesu a identifikovat slabá místa.

Zvyšování množství přidávaného R- materiálu na obalovně

PRAKTICKÁ DOPORUČENÍ:

- ➔ ve vazbě na ČSN EN 13108-8 a ČSN EN 13108-20 provedena rozšířená analýza R-materiálu;
- ➔ **podmínka:** využití běžného laboratorního zařízení;
- ➔ **cíl:** posouzení vlivu tloušťky asfaltového filmu u R-materiálu a vlivu stárnutí ve vazbě na zrnitost;
- ➔ posuzován R-materiál jako celek a následně i dílčí frakce (0/2; 2/8 a >8 mm).

Analýza R-materiálu – co lze sledovat?

Síto v mm	R-materiál K		R-materiál S		R-materiál R	
	Souhrnný propad v %		Souhrnný propad v %		Souhrnný propad v %	
	R-materiál	Směs kameniva	R-materiál	Směs kameniva	R-materiál	Směs kameniva
32	100	100	100	100	100	100
22,4	100	100	100	100	93	99
16	99	100	100	100	84	96
11,2	88	95	90	93	75	90
8	69	83	68	78	63	83
5,6	45	64	49	60	50	72
4	29	50	34	47	39	62
2	9	30	14	32	21	44
1	4	21	6	24	10	30
0,5	3	16	4	18	5	21
0,25	1	12	2	14	2	15
0,125	1	9	1	11	1	11
0,063	0	7	0	7	0	8
Obsah pojiva v %	---	5,4	---	4,7	---	5,4
Měrný povrch m ² .kg ⁻¹	---	11,03	---	17,21	---	17,22
Tloušťka filmu v mm	---	0,0051	---	0,0028	---	0,0032
Penetrace v mm10 ⁻¹	---	23	---	18	---	41
Bod měknutí v °C	---	61,6	---	61,6	---	55,6

K = 22 RA 0/16
S = 16 RA 0/16
R = 32 RA 0/32

Analýza R-materiálu – co lze sledovat?

	R-materiál K			R-materiál S			R-materiál R		
	Frakce			Frakce			Frakce		
	0/2	2/8	> 8	0/2	2/8	> 8	0/2	2/8	> 8
Obsah pojiva v %	7,7	4,5	3,4	8,0	4,8	3,4	7,1	3,4	3,1
Měrný povrch $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$	21,32	12,19	7,6	30,42	13,07	12,64	24,93	14,98	10,13
Tloušťka filmu v mm	0,0038	0,0038	0,0045	0,0028	0,0038	0,0024	0,0030	0,0023	0,0031
Penetrace v $\text{mm}10^{-1}$	31	26	24	21	25	19	40	52	52
Bod měknutí v °C	55,2	58,0	61,4	66,7	66,0	68,6	52,8	51,8	52,2

- ➔ drobné frakce se vyznačují vyšším obsahem pojiva, výrazně větším měrným povrchem;
- ➔ tloušťka filmu však není ovlivněna.

Pro další statistická hodnocení nutný sběr většího souboru dat.

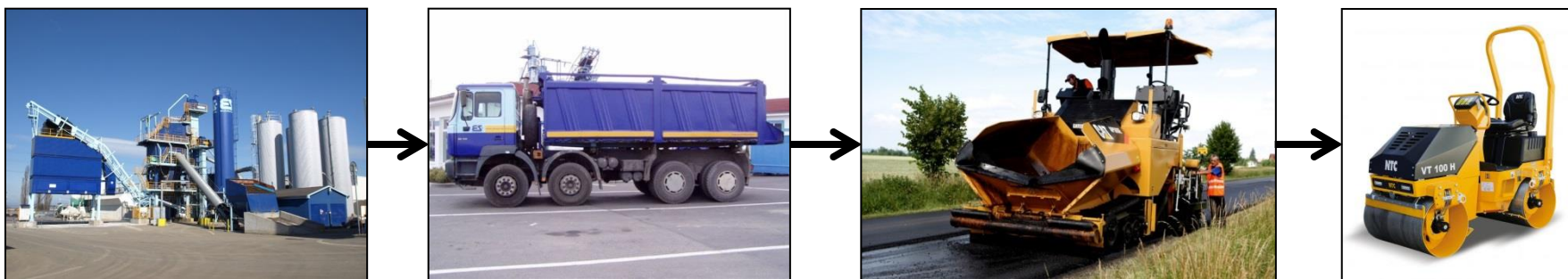
Vícenásobná recyklace – proč je to potřebné?

- ➔ dílčí výstup projektu CoRePaSol
- ➔ využití vícenásobně recyklovaného asfaltového materiálu v směsích recyklovaných za horka a za tepla
- ➔ **otázka I:** jak začít přistupovat k vozovkám, které již jednou byly recyklovány?
- ➔ **otázka II:** jakou očekávat aktivitu asfaltového pojiva?
- ➔ **otázka III:** kde jsou limity vícenásobné recyklace?
- ➔ **otázka IV:** jaký vliv má stárnutí a jak je simulovat?

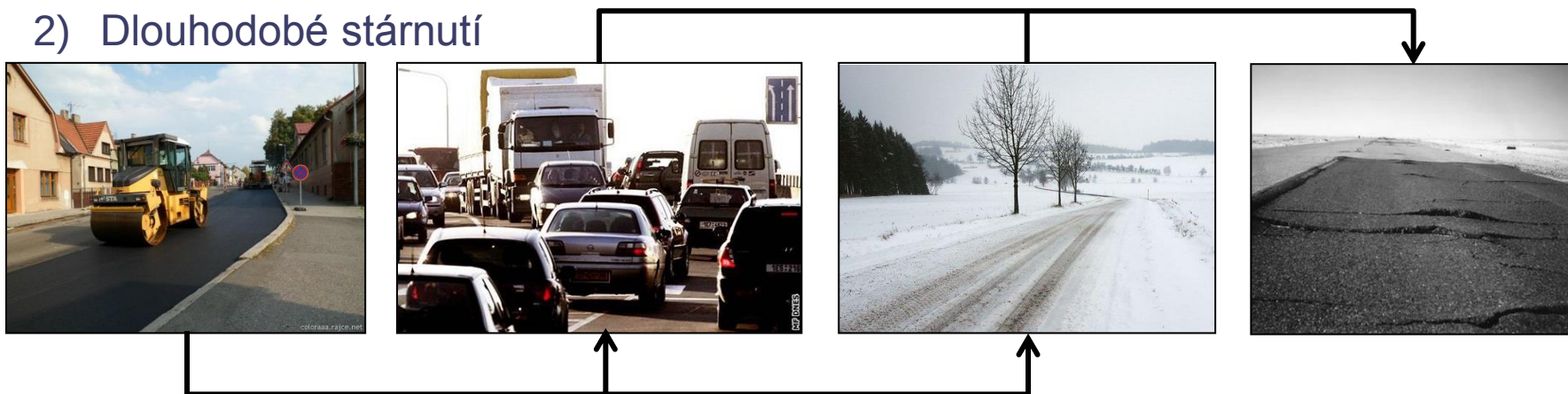
Vícenásobná recyklace – proč je to potřebné?

Proces stárnutí asfaltové směsi:

1) Krátkodobé stárnutí



2) Dlouhodobé stárnutí



Vícenásobná recyklace – proč je to potřebné?

Proces stárnutí – laboratorní simulace: prEN 12697-52

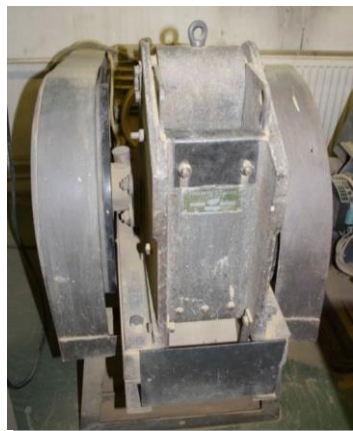
1a) stárnutí zkušebních těles (5 dní @ 85°C)



2) stárnutí volně ložené směsi
(9 dní @ 85°C)



1b) předrcení



Vícenásobná recyklace – proč je to potřebné?

Příklad při aplikaci recyklace za studena

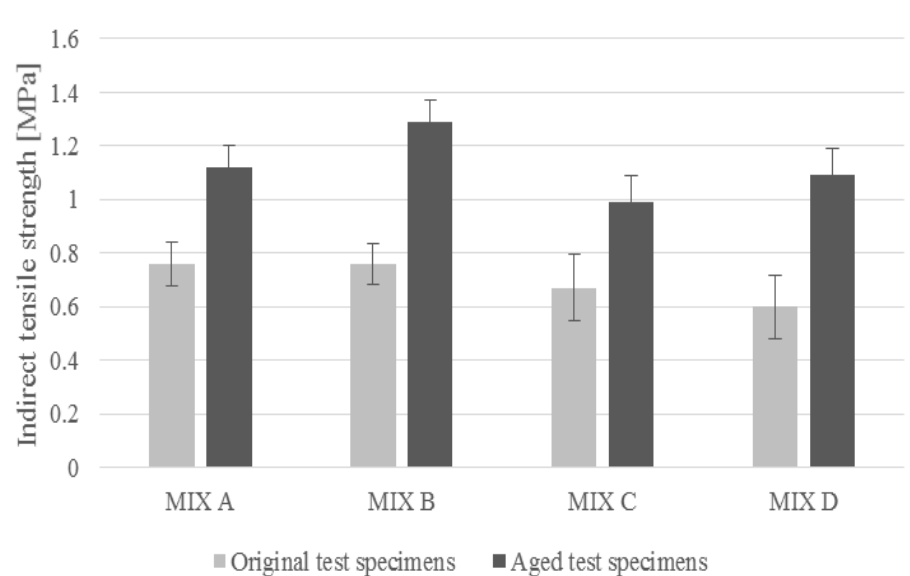
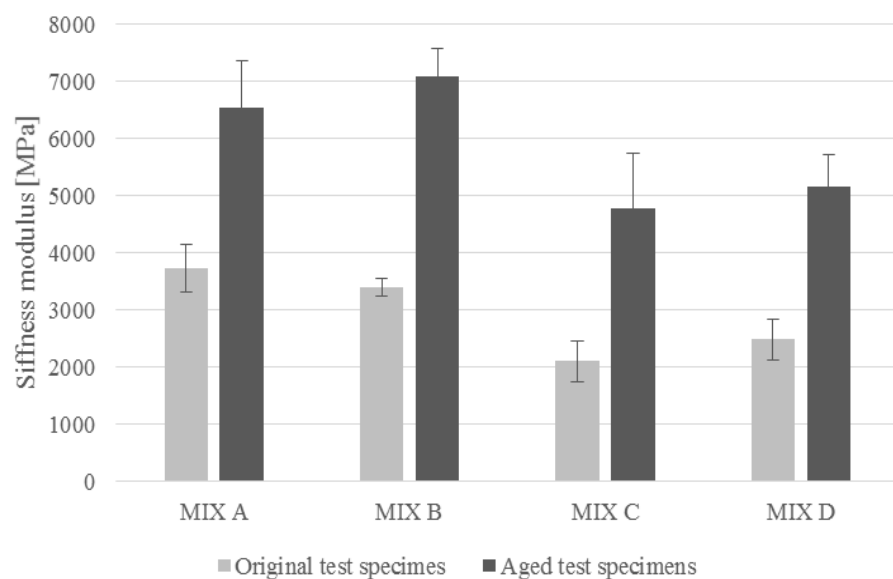
Směs	R-materiál 0/22	Stabilizační činidla			Voda
		Cement	Asfaltová emulze	Zpěněný asfalt	
A	91,0%	3,0%	3,5%	-	2,5%
B	90,5%	3,0%	-	4,5%	2,0%
C	94,0%	-	3,5%	-	2,5%
D	93,5%	-	-	4,5%	2,0%

- ➔ standardní hutnění dle TP208 (tlakem 5 MPa);
- ➔ zrání dle doporučení projektu CoRePaSol;
- ➔ zkušební tělesa o průměru (150±1) mm a s výškou (60±5) mm;
- ➔ zhutněná objemová hmotnost stanovená z rozměrů.

Varianta směsi recyklace za studena	Max. objemová hmotnost [g/cm³]	Zhutněná objemová hmotnost [g/cm³]	Mezerovitost [%]	ITS [MPa]
Směs C - 01	2,441	2,187	10,4	0,935
Směs C - 02	2,407	2,140	11,1	0,963
Směs C - 03	2,400	2,094	12,8	1,068
Směs A - 01	2,399	2,180	9,1	1,219
Směs A - 02	2,388	2,176	8,9	1,189
Směs D - 01	2,323	2,110	9,2	1,203

Vícenásobná recyklace – proč je to potřebné?

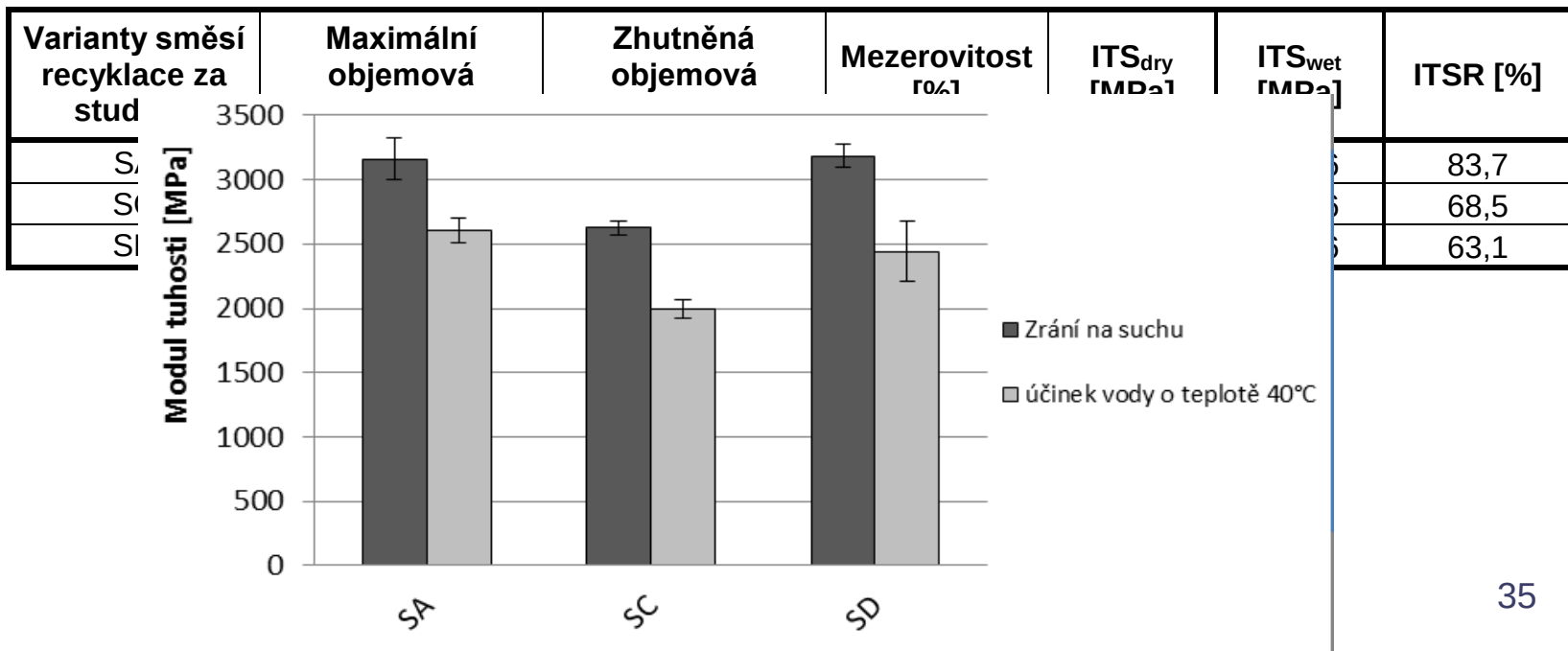
Příklad při aplikaci recyklace za studena – vliv stárnutí



Vícenásobná recyklace – proč je to potřebné?

Příklad při aplikaci recyklace za studena – vícenásobná recyklace

Směs	R-materiál	Stabilizační přísada			Voda
		Cement	Asfaltová emulze	Zpěněný asfalt	
SA	95,5% - R-mat A	-	2,0 %	-	2,5%
SC	95,5% - R-mat C	-	2,0 %	-	2,5%
SD	94,0% - R-mat D	-	-	2,0 %	2,0%



Citlivost asfaltových pojiv s rejuvenátory na stárnutí

VÝCHODISKA:

- ➔ používání rejuvenátorů v kombinaci s R-materiálem se stává postupně zavedeným trendem;
- ➔ otázkou zůstává, jaký vliv mají různé rejuvenátory na pojivo v asfaltovém recyklátu (obecně na zestárlý asfalt);
- ➔ současně s tím je otázkou, zda se po aplikaci rejuvenátoru mění rychlost procesu stárnutí;
- ➔ posouzení účinku rejuvenačních olejů (ropná či bio báze, event. deriváty), přísad na bázi aminů mastných kyselin a kombinace olejů a aditiv;
- ➔ existují obecně i názory, zda vůbec oživení R-materiálu je možné;
- ➔ účinek lze ověřovat například prodlouženou zkouškou RTFOT;
- ➔ **cíl experimentů:** mohou povrchově aktivní přísady být použity k dalšímu zvýšení rejuvenačních schopností olejů?

Citlivost asfaltových pojiv s rejuvenátory na stárnutí

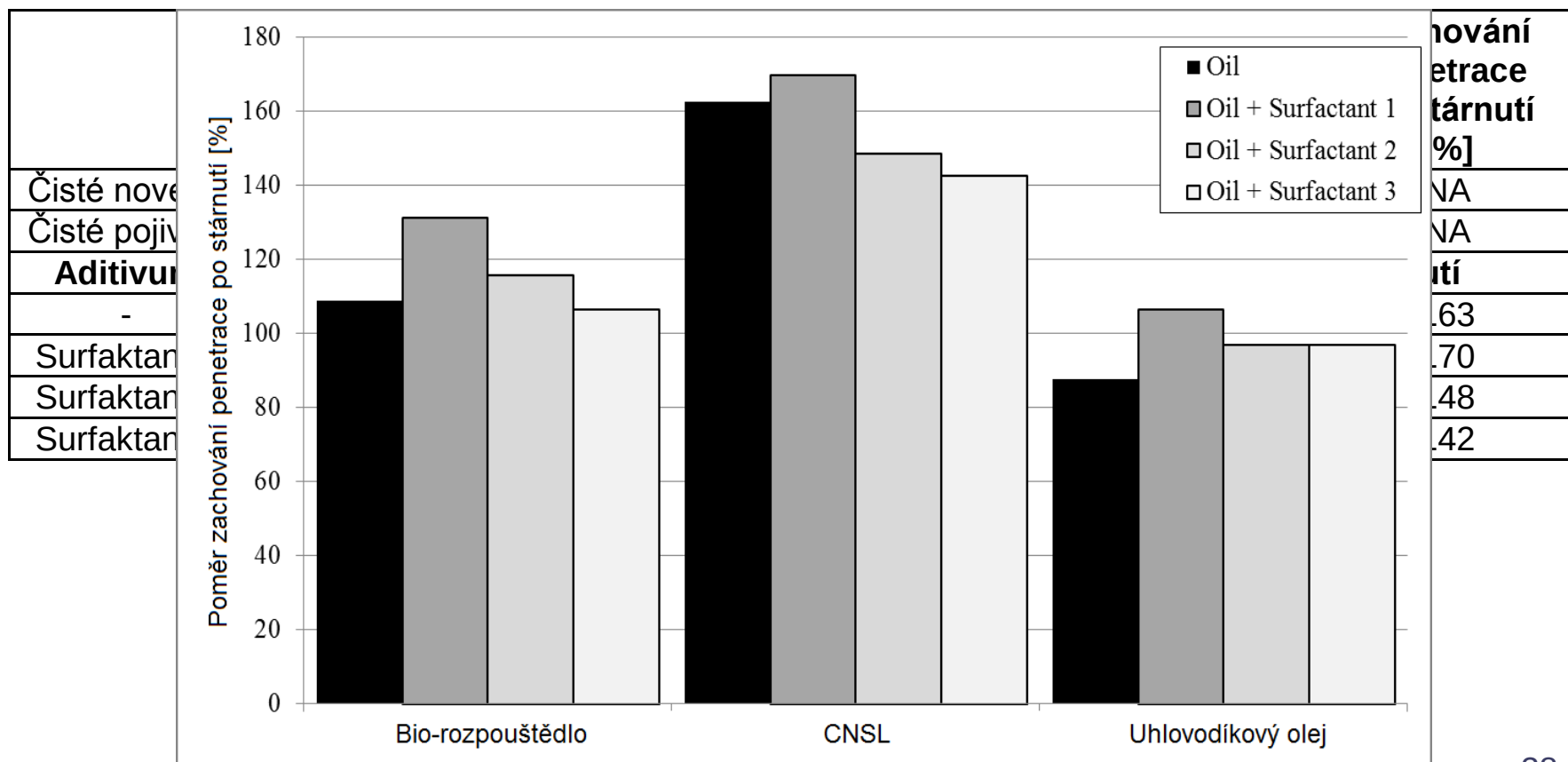
		Penetrace při 25°C [mm]	Účinnost změkčení, 25°C, Δ pen/přídavek [%]	Penetrace po stárnutí [mm]	Zachování penetrace po stárnutí [%]
Čisté nové pojivo PG 58-28		136	NA	NA	NA
Čisté pojivo po stárnutí		33-35	NA	22(a)	69
Aditivum	Rejuvenační olej	Výsledky po přidání aditiv do čistého pojiva po stárnutí			
Surfaktant 1	CNSL	178	14,3	69	197
-	CNSL	189	15,4	53	151
Surfaktant 1	Bio-rozpouštědlo	104	6,9	47	135
-	Bio-rozpouštědlo	112	7,7	38	109
Surfaktant 1	CNSL mazut	99	6,4	38	109
-	Mastné kyseliny talového oleje	104	6,9	38	108
Surfaktant 1	Bionafta	207	17,2	35	100
-	CNSL mazut	93	5,8	32	91
-	Bionafta	183	14,8	26	75
Komerčně dostupný bio-rejuvenátor		80	4,5	25	73
Uhlovodíkový vosk		32	-0,3	23	65

- ➔ náhrada 20 % rejuvenačního oleje povrchově aktivní látkou;
- ➔ prokázán pozitivní vliv kombinace povrchově aktivní látky a rejuvenačního oleje

POZN.: CNSL je olej ze skořápek ořechů kešu (Cashew Nut Shell Liquid)

Citlivost asfaltových pojiv s rejuvenátory na stárnutí

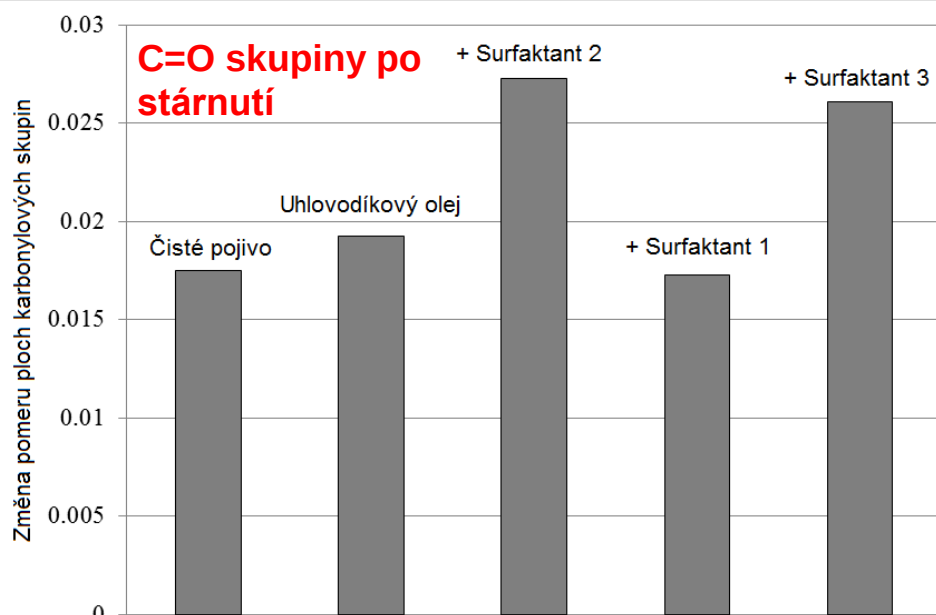
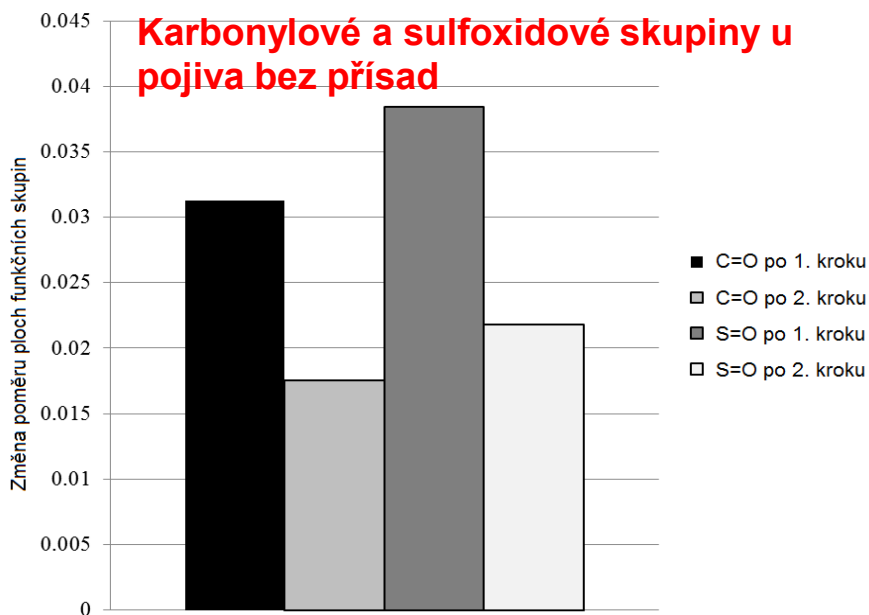
ÚČINEK RŮZNÝCH POVRCHOVĚ AKTIVNÍCH LÁTEK A OLEJŮ:



Citlivost asfaltových pojiv s rejuvenátory na stárnutí

POSOUZENÍ OXIDAČNÍHO POTENCIÁLU :

- ➔ analýzy provedené s pomocí IR spektrometrie;
- ➔ kvantifikování oxidačních změn v asfaltové směsi stanovením karbonylových a sulfoxidových funkčních skupin (= oxidace asfaltu vede k zvýšení koncentrace těchto skupin);
- ➔ u druhého kroku stárnutí (s rejuvenátory) byl nárůst nižší;



Citlivost asfaltových pojiv s rejuvenátory na stárnutí

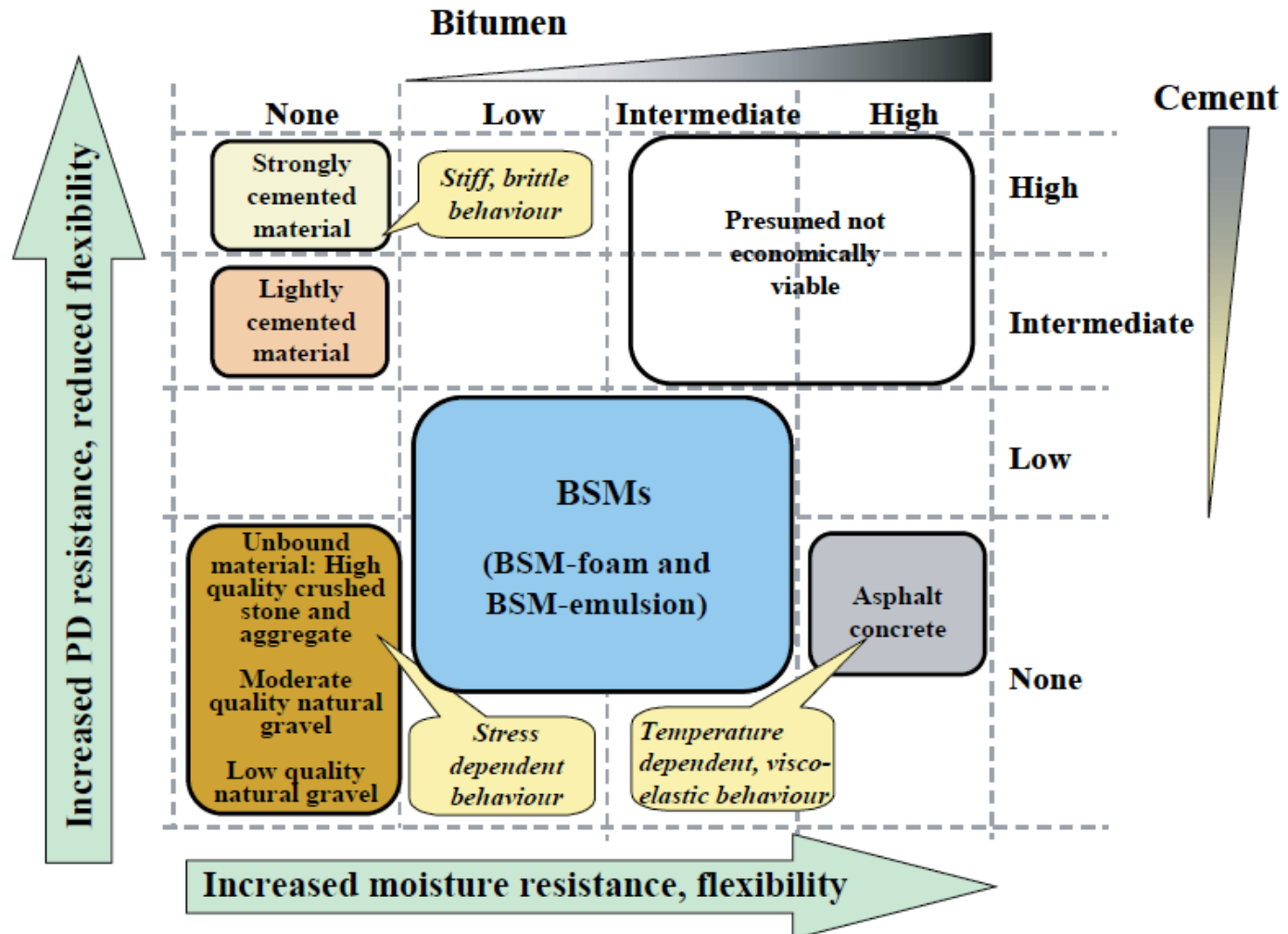
ZÁVĚRY:

- ➔ povrchově aktivní látky mohou být použity k zvýšení účinku rejuvenačních olejů;
- ➔ účinek povrchově aktivních látek nespočívá v omezení oxidace pojiva, ale spíše ve zlepšení disperze asfalténů;
- ➔ některé povrchově aktivní látky mohou podporovat oxidační stárnutí (=mít na paměti);
- ➔ rejuvenační látky zpravidla zlepšují i přilnavost;
- ➔ není možná jakákoli vzájemná kombinace => důraz na uplatnění přístupů mechano-chemie.

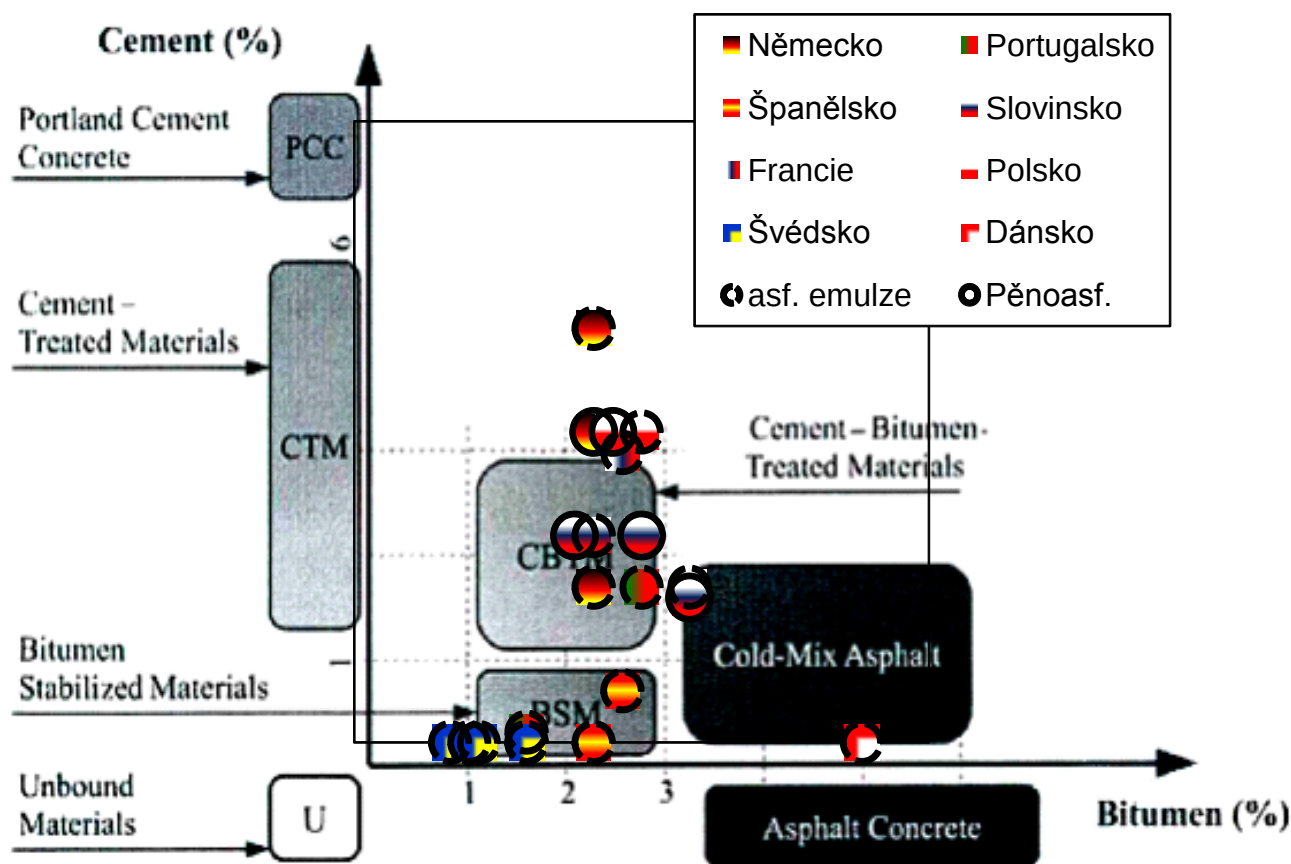
Aktivita asfaltového pojiva v R-materiálu při využití v recyklaci za studena

- ➔ dílčí výstup projektu CoRePaSol;
- ➔ analýza míry aktivity asfaltového pojiva v R-materiálu z hlediska vlastností směsí recyklace za studena:
 - zlepšení pevnostních charakteristik, tuhosti a charakteristiky únosnosti CBR?
 - zlepšení trvanlivosti asfaltové směsi?
- ➔ porovnání s dalšími typy recyklátů a s vlivem homogenity použitého zrnitého materiálu;
- ➔ směsi s asfaltovým pojivem (emulze či pěna) a max. 2 % cementu;
- ➔ návrh a posouzení dle německých předpisů.

Aktivita asfaltového pojiva v R-materiálu při využití v recyklaci za studena



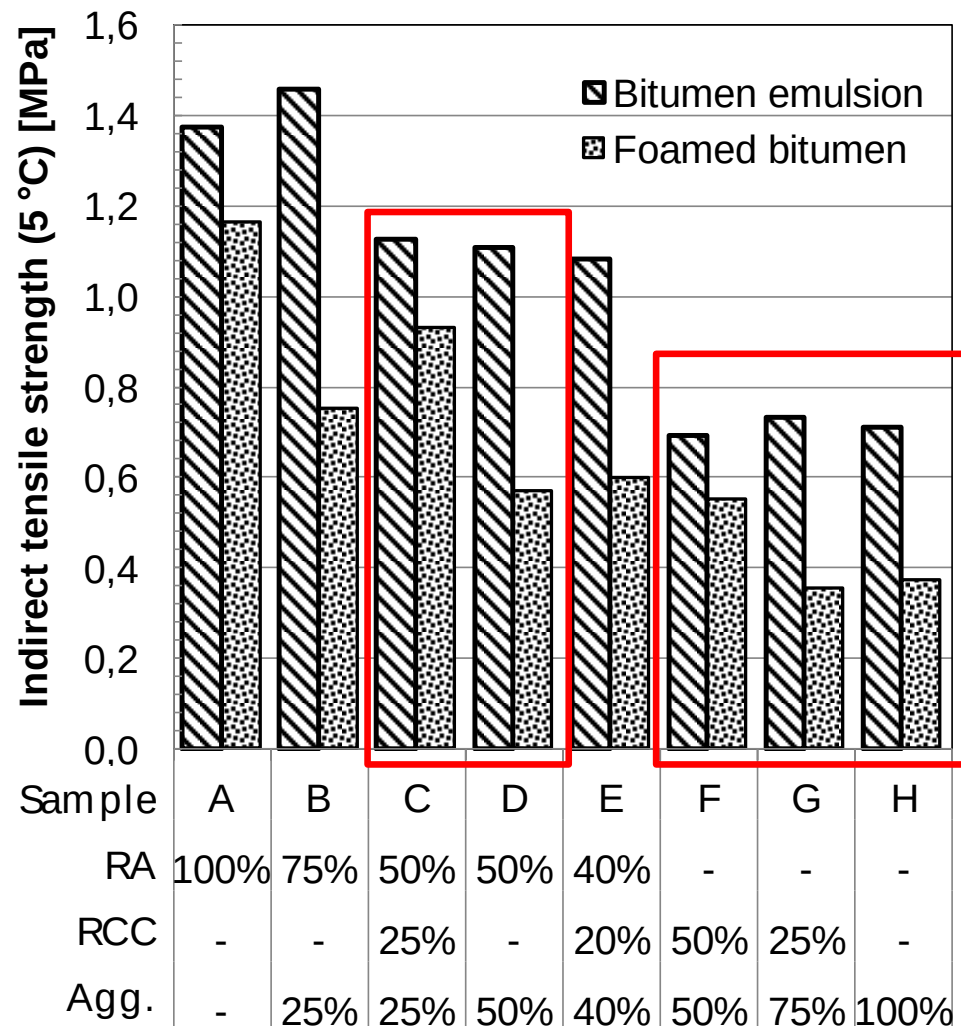
Aktivita asfaltového pojiva v R-materiálu při využití v recyklaci za studena



Aktivita asfaltového pojiva v R-materiálu při využití v recyklaci za studena

POZNATKY:

- ➔ vyšší obsah asfaltového R-materiálu zlepšuje zpracovatelnost a vede k menší mezerovitosti;
- ➔ pevnost v příčném tahu po 28 dnech nebo 14 dnech (5°C) opět významně závislá od obsahu asfaltového R-materiálu;



Aktivita asfaltového pojiva v R-materiálu při využití v recyklaci za studena

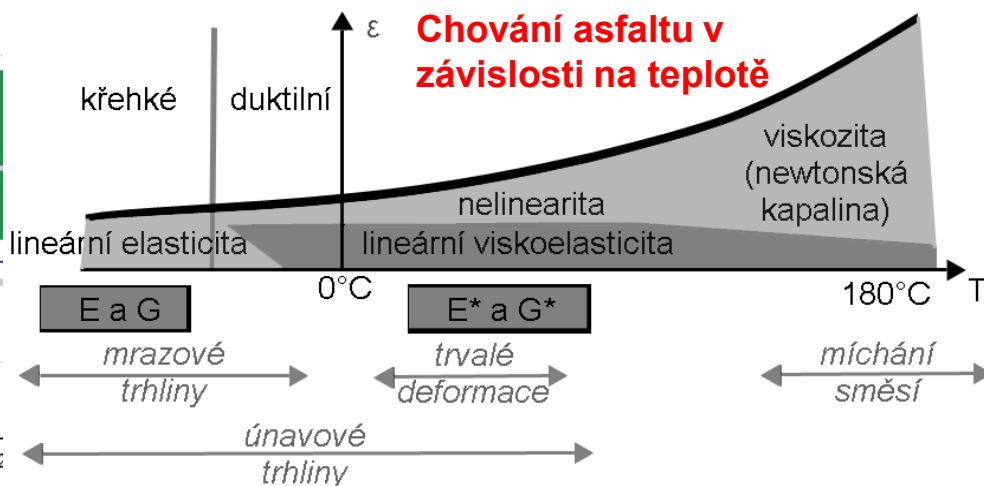
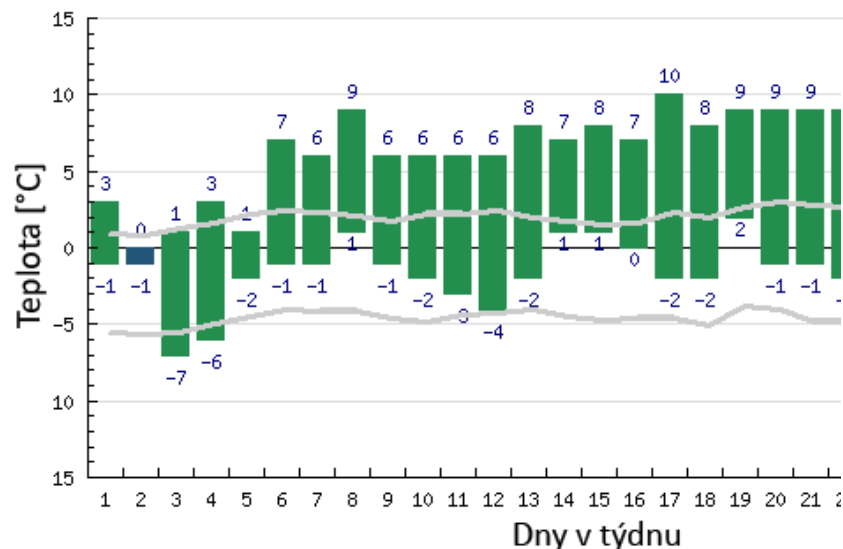
POZNATKY:

- ➔ směsi s asfaltovou emulzí vedou k vyšším hodnotám ITS;
- ➔ z hlediska odolnosti proti účinkům vody má zásadnější vliv přítomnost emulze nebo pěny (v druhém případě mnohem lepší výsledky);
- ➔ vliv obsahu R-materiálu na mechanické vlastnosti směsi recyklované za studena lze vysvětlit jako aktivitu asfaltu přítomného ve znovuzískaných asfaltových vrstvách.

Chování směsí recyklace za studena v oboru nízkých teplot

MÁ NÁS ZAJÍMAT?

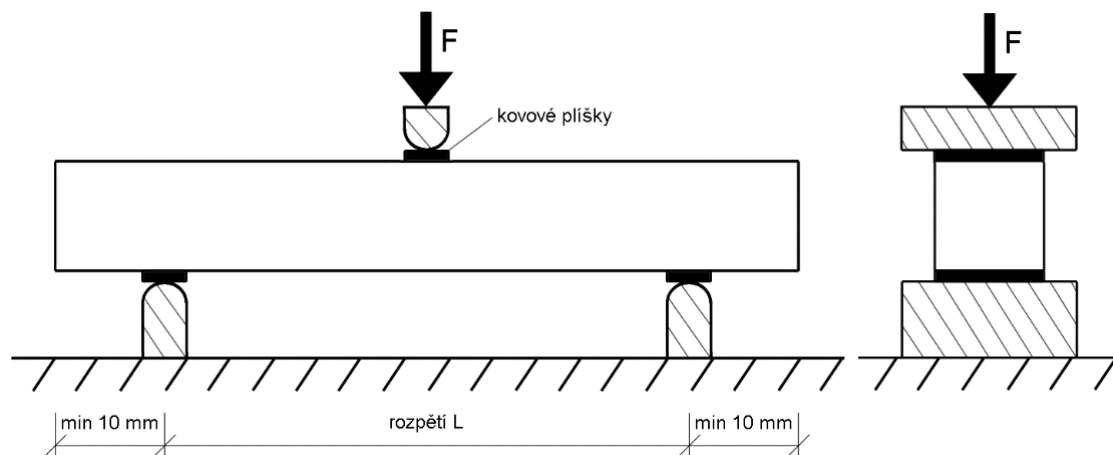
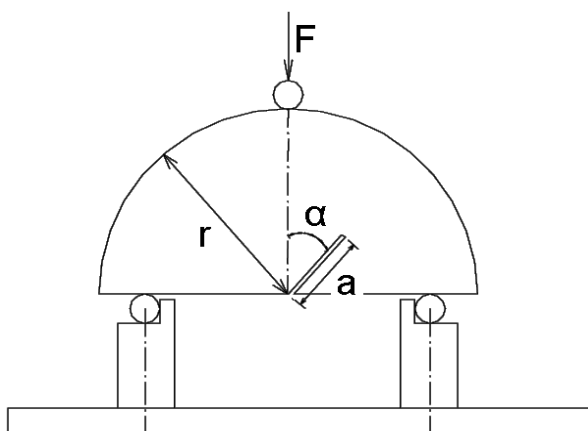
- ➔ jakákoli porucha ve vozovce představuje problém, a proto by měla být věnována větší pozornost příčinám jejich vzniku;
- ➔ při aplikaci v podkladních vrstvách omezený význam, přesto se pohybujeme v regionu s významnějšími teplotními gradienty;
- ➔ směsi využívají asfaltová pojiva či je kombinují s hydraulickými => riziko vzniku mrazových trhlin není nulové.



Chování směsí recyklace za studena v oboru nízkých teplot

JAK LZE ZKOUŠET?

- ➔ zkouška šíření trhliny SCB a aplikace teorie lomové mechaniky;
- ➔ zkouška pevnosti v tahu za ohybu (tříbodová destruktivní zkouška);
- ➔ tříbodová relaxační zkouška??
- ➔ TSRST nebo UTST??



Chování směsí recyklace za studena v oboru nízkých teplot

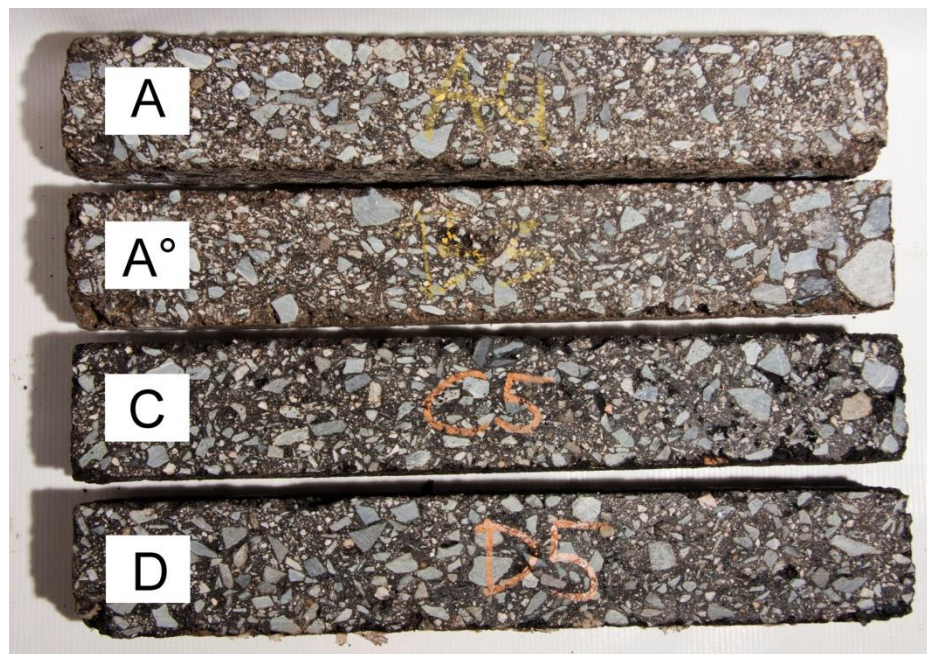
Složka	Označení směsi							
	A	A°	C	D	E	S	K	R7
R-materiál 0/22	91,0	90,0	94,0	93,5	93,0	94,5	95,5	91,7
Cement CEM II 32,5	3,0	3,0			1,0	1,0		3,5
Asfaltová emulze C60B7	3,5	4,5	3,5		3,5			
Zpěňný asfalt (70/100)				4,5		2,0	2,5	2,3
Voda	2,5	2,5	2,5	2,0	2,5	2,5	2,0	2,5

Složka	Označení směsi							
	O3	O5	PA	PC	DA	DB	DE	DO
R-materiál 0/22	89,5	87,5	68,25	70,5				
Betonový recyklát 0/32					44,75	68,625	45,75	43,75
Štěrkopísek (D1)			22,75	23,5	44,75	22,875	45,75	43,75
Cement CEM II 32,5			3,0		3,0	1,0	1,0	
Mikromletý beton	3,0	5,0						5,0
Asfaltová emulze C60B7	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Voda	4,0	4,0	2,5	2,5	4,0	4,0	4,0	4,0

Chování směsí recyklace za studena v oboru nízkých teplot

ÚSKALÍ PROVEDENÍ ZKOUŠEK:

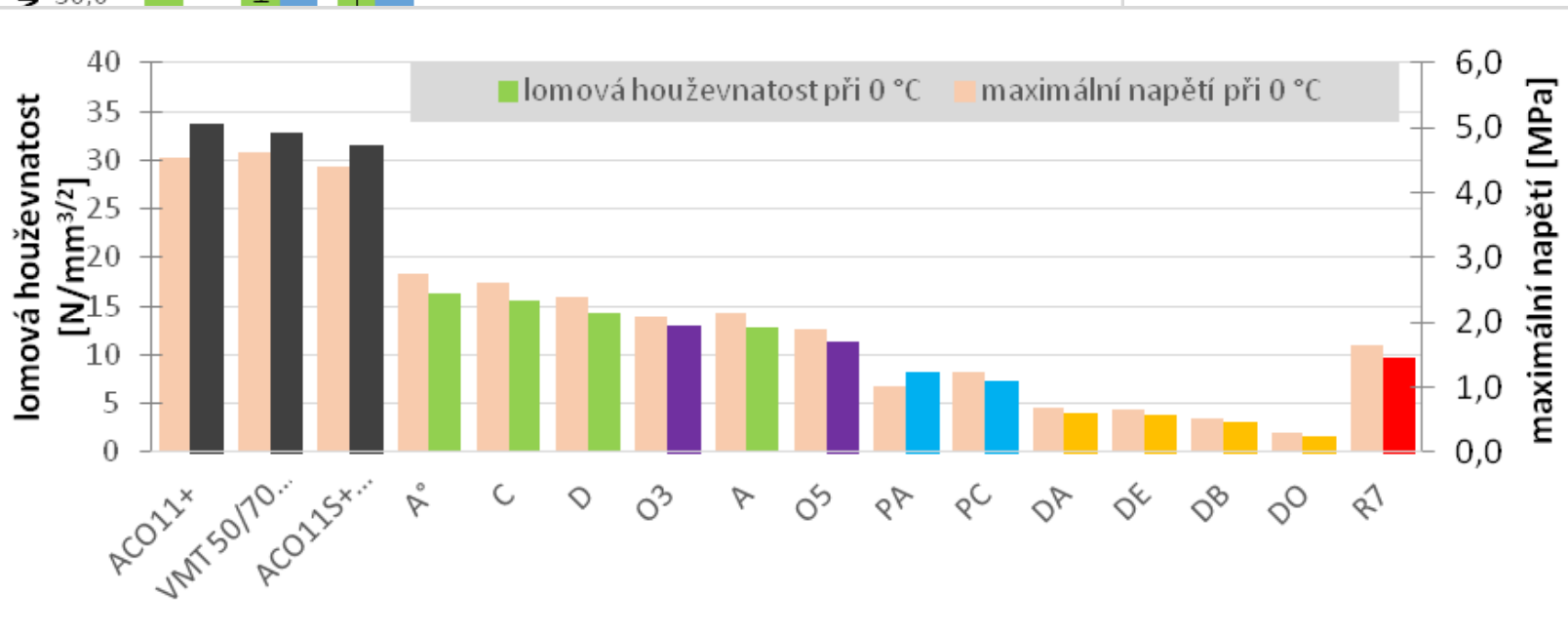
- ➔ výroba a příprava zkušebních těles;
- ➔ jaké volit zrní?



Chování směsí recyklace za studena v oboru nízkých teplot

VÝSLEDKY SCB ZKOUŠKY:

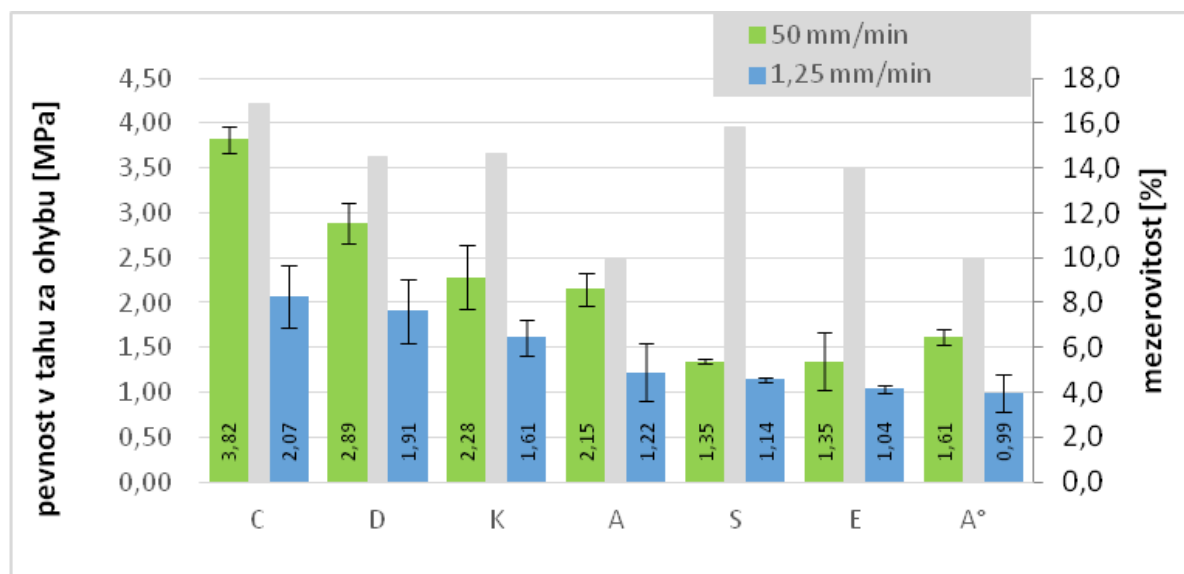
➔ stanoveno po 14 dnech a po 28 dnech při dvou teplotách.



Chování směsí recyklace za studena v oboru nízkých teplot

VÝSLEDKY TŘÍBODOVÉ ZKOUŠKY:

➔ stanoveno po 28 dnech při teplotě -5°C .



Využití recyklátů ve směsích stmelených hydraulickými pojivy

PRAKTICKÁ VÝCHODISKA:

- ➔ zaměřeno na neasfaltové recykláty (beton apod.);
- ➔ posouzení potenciálu z hlediska moderních řešení hydraulicky stmelených materiálů a jejich uplatnění v podkladních vrstvách;
- ➔ eliminace problematiky bottom-up trhlin;
- ➔ dle norem jsou využitelné i recykláty klasifikované jako štěrk s významným podílem písčitých (20-40 %) případně jemných částic (5-20 %).

Využití recyklátů ve směsích stmelených hydraulickými pojivy

ROZSAH DLOUHODOBÉHO PROJEKTU:

- ➔ návrh 17 různých CBGM směsí, výběr 6 preferovaných;
- ➔ použití betonového recyklátu 0/32 a asfaltového recyklátu 0/22;
- ➔ použití cementu a hydraulického silničního pojiva (3-7 %);
- ➔ provádění standardních zkoušek (Proctor, pevnost v tlaku, pevnost v příčném tahu) a zkoušek funkčních charakteristik (cyklická triaxiální zkouška se stanovením modulu E po 28 dnech);
- ➔ souběžně stanovení modulu pružnosti dle ČSN EN 13286-7;
- ➔ zkušební úsek se shodným krytem (40 mm ACO a 40 mm ACP) s pravidelným sledováním.

Směs č.	Popis	Zrnitost ČSN EN 933- 2	W_{opt} ; $\rho_{d,max}$ ČSN EN 13286-2	IBI ČSN EN 13286-47	R_c ČSN EN 13286- 41	R_{it} ČSN EN 13286- 42	R_{cf} ČSN EN 14227- 1NA	E_r ČSN EN 13286- 7
1	SC 0/32 C _{5/6} 7% CEM II/R 32,5	G _A f=16,7%	14,0% 1945 kg/m ³	min.135%	6,7 MPa	1,3 MPa	6,0 MPa	1080 MPa
2	SC 0/32 C _{3/4} 5% Doroport TB25		13,1% 1926 kg/m ³		5,3 MPa	1,1 MPa	3,1 MPa	700 MPa
3	SC 0/32 C _{3/4} 5% CEM II/R 32,5		12,5% 1955 kg/m ³		5,8 MPa	1,2 MPa	5,1 MPa	950 MPa
4	SC 0/32 C _{1,5/2} 3% CEM II/R 32,5		11,4% 1959 kg/m ³		4,7 MPa	1,0 MPa	3,8 MPa	750 MPa
5	SC 0/32 C _{1,5/2} 5% CEM II/R 32,5		12,5% 1955 kg/m ³		5,7 MPa	1,1 MPa	4,9 MPa	930 MPa
6	SC 0/32 C _{1,5/2} 4% CEM II/R 32,5		11,5% 1957 kg/m ³		5,8 MPa	1,1 MPa	5,1 MPa	950 MPa

Pozn.

R_{cf} pevnost v prostém tlaku po 28 dnech zrání a 10 mrazových cyklech při teplotě -15°C

E_r průměrná hodnota modulů pružnosti pro komorový tlak 70 kPa, což modeluje vodorovný tlak na úrovni podkladní vrstvy běžné vozovky v ČR, informativní hodnota

Využití recyklátů ve směsích stmelených hydraulickými pojivy

POZNATKY:

- ➔ zkoušky prováděné se štíhlostním poměrem 1:1;
- ➔ pevnosti stanoveny po 28 dnech zrání;
- ➔ ověřované poměry Ra a Rc = 1:1 a 1:3;
- ➔ odolnost vůči vodě a mrazu 89-93%;
- ➔ neoptimálnější směsí s využitím recyklátů je varianta s Rc a s 5 %-hm. cementu;
- ➔ zajímavá je směs kombinující Ra a Rc v poměru 1:3 (typ polotuhé směsi), která ve vrstvě za příznivých klima podmínek vykazuje vysoké moduly pružnosti.

Využití recyklátů ve směsích stmelených hydraulickými pojivy

ZJIŠTĚNÉ ZÁVISLOSTI:

- ověřování závislostí mezi pevnostními charakteristikami a modulem pružnosti E (vztahy mezi modulem pružnosti E z CTP a zkouškami pevností v tlaku, příčném tahu a pevností v tlaku po mrazových cyklech):

$$E = 107 R_c^{1,22}$$

$$E = 1075 R_{it} - 325$$

$$E_f = 425 e^{0,1569 R_{cf}}$$

(E_f ... modul pružnosti po mrazových cyklech podle zkoušení R_{cf})

ZÚ 1 0,000-0,020 km	ZÚ 2 0,020-0,040 km	ZÚ 3* 0,040-0,060 km	ZÚ 4 0,110- 0,130 km	ZÚ 5 0,130-0,150 km	ZÚ 6 0,150- 0,170 km	ZÚ 7 0,170- 0,190 km
ACO 11 40 mm	ACO 11 40 mm	ACO 11 40 mm	ACO 11 40 mm	ACO 11 40 mm	ACO 11 40 mm	ACO 11 40 mm
ACP 16 40 mm	ACP 16 40 mm	ACP 16 40 mm	ACP 16 40 mm	ACP 16 40 mm	ACP 16 40 mm	ACP 16 40 mm
ŠD-R 0/32 150 mm	SC 0/32 C _{5/6} 7% cem.; 150 mm	SC 0/32 C _{3/4} 5% dor.; 150 mm*	Ra 0/16; 50 mm	Ra 0/16 + Rc 0/32 (30:70); 150 mm	Ra 0/16; 150 mm	Ra 0/16 100 mm
			SC 0/32 C _{3/4} 5% cem.; 150 mm			
ŠD 0/32 150 mm	ŠD _A Rc 0/32 150 mm	ŠD _B Rc 0/32 150 mm	SC 0/32; C _{1,5/2} 3% CEM; 150 mm	SC 0/32 C _{1,5/2} 5% cem.; 150 mm	SC 0/32 C _{1,5/2} 4% cem.; 150 mm	ŠCM 32/63 200 mm
* na tomto zkušebním úseku a podkladní vrstvě je instalován snímač tlaku GK 3500-3 a tenzometry GK 3900						



Český nástroj pro výpočet uhlíkové stopy recyklačních technologií vozovek

CO JE OPTIREC:

- ➔ výpočet tradiční uhlíkové stopy, emisí skleníkových plynů a kvantifikace vlivu na celkové náklady životního cyklu
- ➔ nástroj využívá stochastické metody pro výpočty celkového CO₂ a emisí zčešťujících ovzduší
- ➔ volba vhodné technologie recyklace
- ➔ široká databáze strojů:
 - **vlastní databáze**
 - **recykléry, válce, gradery, cisterny, ostatní stavební technika**
- ➔ uživatelská příručka
- ➔ katalog strojů & katalog materiálů
- ➔ praktický příklad
- ➔ zatím založeno na aplikaci v MS Excel

Základní specifika software



OptiRec



BASIC SPECIFICATION OF THE ROAD:

Road location:	Europe
Country:	Czech Republic
Road classification:	Expressway
Pavement structure type:	Asphalt pavement
Length [m]:	1200,00
Width avg. [m]:	4,75
Thickness of reconst. layers) [mm]:	150
Thickness of new wearing course [mm]:	50
Distance to mixing plant/center [km]:	50
Carriers emission category:	Euro 5

DETAIL SPECIFICATION OF MACHINE SET:

Operator gross salary [€/hr]	12,00
Worker gross salary [€/hr]	10,00
Diesel fuel price [€/l]	1,28
Key machine occupancy (recycler) [%]	75
Staff occupancy [%]	100
Annual use of key machine [hrs]:	1 334

Technická specifikace a materiálové vstupy

REHABILITATION CHARACTER

Way of Rehabilitation

Cold Recycling - foamed bitumen

Stabilisers (pre spreaded or mixed-in)

Cement (pre-spreaded)

Overall Character of Machines in use*

ADMIXTURES

Foamed bitumen:

price [€/t]

410

Volume added [%]

2,50

Bitumen emulsion:

price [€/t]

393

Volume added [%]

2,50

Water:

price [€/m3]

1

Volume added [%]

1,00

Cement 32,5 R:

price [€/t]

72

Volume added [%]

0,50

Katalog strojů

1.1. WIRTGEN WR 200i

Obr. 1: Recyklér pro recyklaci za studena Wirtgen WR 200i



Zdroj: Archiv autora

Samohybný recyklér Wirtgen WR 200i slouží pro recyklaci živých vozových vrstev za studena. Lze jej využít i pro stabilizaci zemin.

Tento recyklér disponuje výkonnou silniční frézou a mísícím zařízením s možností připojení zásobníku či cisterny s asfaltovou emulzí či ~~pěnoasfaltem~~. Tyto stroje se pomocí soustavy hadic spojují s ~~recyklérem~~ do sestavy a zajišťují mu kontinuální dodávku pojiva, které je vstřikováváno přímo k mísicímu válci. V případě využití technologie recyklace s předem rozprostřeným cementem se k recykléru ještě připojuje zásobník či cisterna s vodou. Za ~~recyklérem~~ zůstává nově homogenizovaná asfaltová vrstva.

Díky kompaktním rozměrům není recyklér třeba přepravovat jako nadměrný náklad a je tedy vhodný i k použití pro krátkodobé práce.

Obsah

Obr. 1: WR 200i v ostavě



Zdroj: Archiv autora

Obr. 3: Rozvadecí drážky



Zdroj: Archiv autora

Obr. 4: Rozpěstření a míšení bahen



Zdroj: Archiv autora

Obr. 5: Pracovní drážka



Zdroj: Archiv autora

Obr. 6: Pracovní drážka



Zdroj: Archiv autora

Obr. 7: WR 200i na podstavci



Zdroj: Archiv autora

Základní parametry:

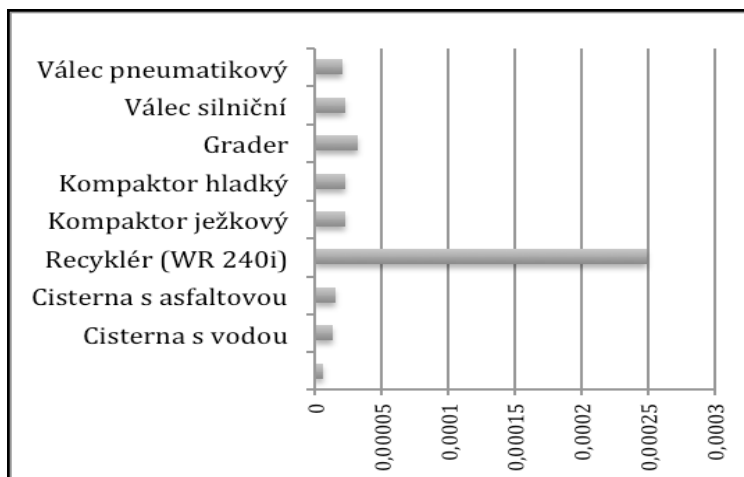
Wirtgen WR 200i

Pracovní šířka:	2000mm	Spotřeba na stavbě:	-
Tloušťka recyklovací vrstvy:	100 - 150 mm	Hmotnost:	23 900 kg
Pracovní výkon:	až 800 m ² /hod	Výkon motoru:	320 kW
Pracovní rychlost (Ø):	10 m/min	Emisní norma:	EURO 4

Volba sestavy strojů

Průměrná spotřeba strojů na ukázkovém projektu

Stavební stroj	Palivo	Spotřeba (l/m ²)	CO ₂ (t/m ²)*
Zařízení na rozprostření cementu	nafta	0,0022	6,502E-06
Cisterna s vodou	nafta	0,0046	1,356E-05
Cisterna s asfaltovým pojivem	nafta	0,0052	1,520E-05
Recykler (WR 240i)	nafta	0,0788	2,302E-04
Válec ježkový	nafta	0,0077	2,276E-05
Válec hladký	nafta	0,0077	2,276E-05
Grader	nafta	0,0109	3,204E-05
Silniční válec	nafta	0,0077	2,276E-05
Válec s pogumovanými běhouny	nafta	0,0070	2,071E-05



➔ průměrná produkce CO₂ stavebních strojů

Časový snímek

Čas (minuta)	Zkratka	Popis	Doba (min)
DEN 1	-	Začátek 1. pracovního dne	-
0-34	TP1	Technická přestávka 1	34
35-120	R1	Recyklace – pruh 1 – I část	86
121-137	TP2	Technická přestávka 2	17
138-223	R2	Recyklace – pruh 1 – II část	86
224-241	TP3	Technická přestávka 3	17
242-327	R3	Recyklace – pruh 2 – I část	86
328-344	TP4	Technická přestávka 4	17
345-431	R4	Recyklace – pruh 2 – II část	86
432-465	TP4	Technická přestávka 5	34
-	-	Konec 1. pracovního dne	465 (7,75h)

DETAIL

	DEN 1	DEN 1	DEN 2	DEN 2
1200 m	R1 = 86 min Vlastní recyklace 	TP3 = 17 min Zběžná kontrola stavu stroje a tekutin, krátký odpočinek personálu R = 86 min Vlastní recyklace 		
	TP2 = 17 min Zběžná kontrola stavu stroje a tekutin, krátký odpočinek personálu	TP4 = 17 min Zběžná kontrola stavu stroje a tekutin, krátký odpočinek personálu		
600 m	R1 = 86 min Vlastní recyklace 	R4 = 86 min Vlastní recyklace 		
	TP1 = 34 min Zahřívání stroje, doplňování paliva, maziva, vody a pojiv do nádrží, kontrola filtrů a technického stavu, vyparkování stroje, zapojení do sestavy	TP5 = 34 min Odpojení ze sestavy strojů, ochlazení, čištění stroje .zběžná kontrola technického stavu, parkování a zajištění stroje		
0 m				
	2,4 m	2,4 m	2,4m	2,4m

Příklad výsledku

