



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

RECYKLACE ASFALTOVÝCH SMĚSÍ S VYŠŠÍM MNOŽSTVÍM R-MATERIÁLU

RECYCLING OF ASPHALT MIXTURES WITH HIGHER AMOUNT OF RAP

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Matěj Klimek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Dr. Ing. MICHAL VARAUS

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

**RECYKLACE ASFALTOVÝCH SMĚSÍ S VYŠŠÍM
MNOŽSTVÍM R-MATERIÁLU**

RECYCLING OF ASPHALT MIXTURES WITH HIGHER AMOUNT OF RAP

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Matěj Klimek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Dr. Ing. MICHAL VARAUS

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	NPC-SIK Stavební inženýrství – konstrukce a dopravní stavby
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Specializace	bez specializace
Pracoviště	Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Matěj Klimek
Název	Recyklace asfaltových směsí s vyšším množstvím R-materiálu
Vedoucí práce	doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Datum zadání	31. 3. 2021
Datum odevzdání	14. 1. 2022

V Brně dne 31. 3. 2021

doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Specifikační normy pro asfaltové směsi řady ČSN EN 13108.

Zkušební normy pro asfaltové směsi řady ČSN EN 12697.

Publikace: Technologie stavby vozovek - Jan Zajíček a kol.

Internetové zdroje.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

1. Základní zkoušky vstupních materiálů - kameniva, asfaltového pojiva a R-materiálu.
2. Provedení návrhu vybraných směsí s R-materiálem + rejuvenátorem
3. Provedení vybraných empirických a funkčních laboratorních zkoušek
4. Sumarizace výsledků, závěr

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Teoretická část diplomové práce rekapituluje stávající literaturu z oblasti problematiky recyklace asfaltových směsí s vyšším obsahem R-materiálu.

Praktická část diplomové práce zkoumá změny vlastností asfaltových směsí s vyšším obsahem R-materiálu, vlivem změny míchacího času. Pro potřeby tohoto výzkumu bylo navrženo pět směsí. Jedná se asfaltové směsi určené pro obrusnou vrstvu vozovky (ACO 11+). Referenční směs „A“ bez R-materiálu, se standardním časem míchaní 25 sekund. Směs „B“ se 40 % R-materiálu, bez rejuvenátu, s prodlouženým časem míchaní 40 sekund. Směs „C“ se 40 % R-materiálu, s rejuvenátorem a standardním časem míchaní. Směs „D“ se 40 % R-materiálu s rejuvenátorem a prodlouženým časem míchaní 40 sekund. Směs „E“ se 40 % R-materiálu, s rejuvenátorem a prodlouženým časem míchaní 55 sekund.

KLÍČOVÁ SLOVA

Asfaltová směs, obrusná vrstva, čas míchaní, R-materiál, asfalt, rejuvenátor

ABSTRACT

The theoretical part of the diploma thesis recapitulates the existing literature in the field of recycling asphalt mixtures with a higher content of RAP (Reclaimed asphalt pavement).

The practical part of the diploma thesis examines changes in the properties of asphalt mixtures with a higher content of RAP, due to changes in mixing time. Five mixtures have been proposed for this research. It is an asphalt mixture intended for the road abrasive layer (ACO 11+). Reference mixture "A" without RAP, with a standard mixing time of 25 seconds. Mixture "B" with 40% RAP, without rejuvenator, with an extended mixing time of 40 seconds. Mixture "C" with 40% RAP, with rejuvenator and standard mixing time. Mixture "D" with 40% RAP with rejuvenator and extended mixing time of 40 seconds. Mixture "E" with 40% RAP, with rejuvenator and extended mixing time of 55 seconds.

KEYWORDS

Asphalt mixture, abrasive layer, mixing time, reclaimed asphalt pavement, RAP, asphalt, rejuvenator

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Matěj Klimek *Recyklace asfaltových směsí s vyšším množstvím R-materiálu*.
Brno, 2021. 72 s., 23 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně,
Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce doc. Dr. Ing.
Michal Varaus

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Recyklace asphaltových směsí s vyšším množstvím R-materiálu* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 13. 01. 2022

Bc. Matěj Klimek
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Recyklace asphaltových směsí s vyšším množstvím R-materiálu* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 13. 01. 2022

Bc. Matěj Klimek
autor práce

Obsah

1. Úvod	11
2. Cíle práce.....	13
3. Teoretická část.....	14
4. Druhy recyklace	15
4.1 Recyklace v mísícím centru za horka.....	16
4.1.1 Dávkování R-materiálu přímo do míchačky šaržové obalovny..	16
4.1.2 Předehřátí R-materiálu v paralelním bubnu.....	17
4.1.3 Kontinuální obalovny metody „Drum Mix“	17
4.1.4 Šaržové obalovny s dvoupášťovým bubnem.....	20
4.2 Recyklace v mísícím centru za studena.....	21
4.3 Recyklace na místě za horka	22
4.3.1 Reshape – technologie úpravy příčného profilu vozovky.....	22
4.3.2 Repave – technologie úpravy příčného profilu vozovky v položení nové asfaltové vrstvy	23
4.3.3 Regrip – technologie pro zlepšení protismykových vlastností vozovky.....	23
4.3.4 Remix – technologie recyklace asfaltové vrstvy za horka na místě 24	
4.3.5 Remix Plus – technologie recyklace stávající asfaltové obrusné vrstvy za horka na místě se současnou pokládkou nové obrusné vrstvy. 24	
4.4 Recyklace na místě za studena	26
4.4.1 Celková recyklace	27
4.4.2 Částečná recyklace	27
5. Metodika postupné extrakce asfaltové směsi.....	29
5.1 Laboratorní provedení postupné extrakce	29
5.2 Postupná extrakce asfaltu a odstranění nerozpustného materiálu	30
5.3 Destilace asfaltového pojiva dle ČSN EN 12697-3	31
5.4 Ověřovací zkoušky	31
5.5 Výsledky ověřovacích zkoušek	32
5.6 Penetrace jehlou	33
5.7 Bod měknutí	34
5.8 Zhodnocení metodiky	36

6.	Praktická část.....	37
7.	První etapa.....	38
7.1	Suroviny pro výrobu směsí	38
7.1.1	Kamenivo	38
7.1.2	Asfaltové pojivo	41
7.1.3	R-materiál.....	42
7.2	Návrh směsí.....	43
7.3	Zkoušky vlastností asfaltových směsí	46
7.3.1	Objemová hmotnost směsi	46
7.3.2	Maximální objemová hmotnost směsi.....	46
7.3.3	Mezerovitost směsi	47
7.3.4	Míra zhutnění.....	47
7.4	Vlastnosti asfaltových směsí	48
7.5	Funkční zkoušky asfaltových směsí.....	49
7.5.1	Moduly tuhosti směsi.....	49
7.5.2	Odolnost směsi vůči trvalým deformacím	50
7.6	Vyhodnocení funkčních zkoušek asfaltových směsí.....	52
7.6.1	Moduly tuhosti směsí.....	52
7.6.2	Odolnost směsi vůči trvalým deformacím	53
7.7	Závěr první etapy praktické části.....	54
8.	Druhá etapa.....	55
8.1	Návrhy směsí	55
8.2	Výroba směsí	57
8.3	Zkoušky vlastností asfaltových směsí	58
8.4	Zkušební tělesa	59
8.5	Funkční zkoušky asfaltových směsí.....	60
8.5.1	Moduly tuhosti směsi.....	60
8.5.2	Odolnost směsi vůči trvalým deformacím	62
8.5.3	Odolnost zkušebního tělesa proti vodě – zkouška ITSr.....	64
8.6	Zkoušky pojiv	66
8.7	Vyhodnocení druhé etapy	67
9.	Závěr.....	68
10.	Seznam použité literatury	73

11. Seznam obrázků	76
12. Seznam tabulek	78
13. Seznam příloh	79

1. Úvod

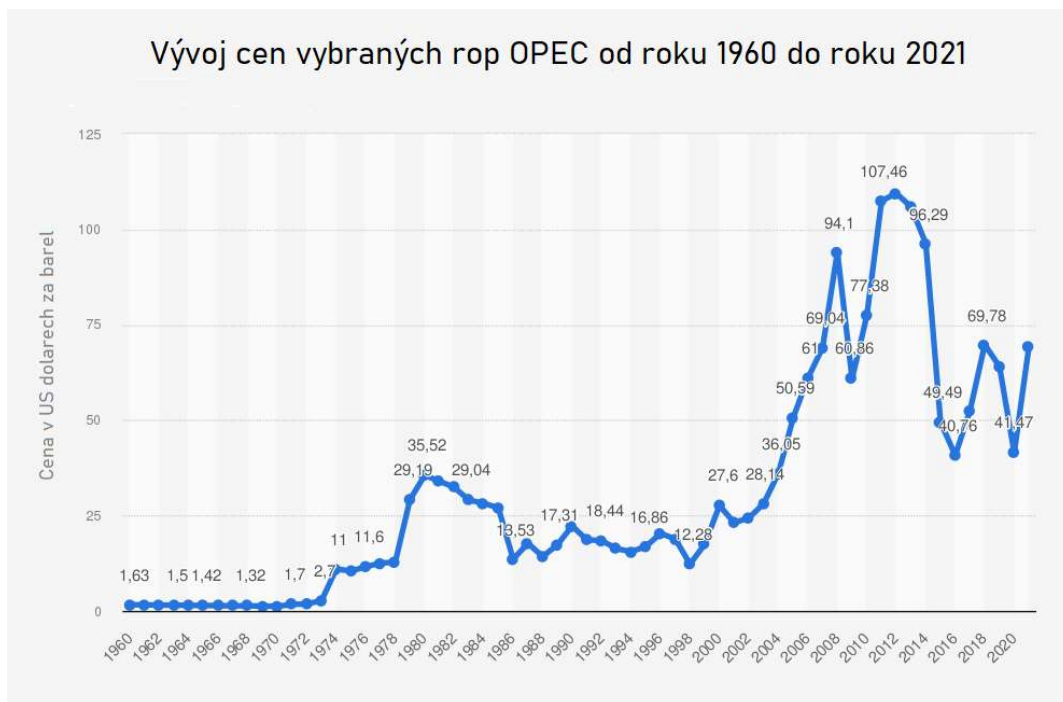
Recyklace stavebních materiálů je v dnešní nejisté době, kdy jsme zaznamenali skokový nárůst cen veškerých surovin až v řádu desítek procent, velice důležitá. Také je to jeden z nástrojů pro zachování ekonomického růstu a snížení dopadu stavební činnosti na okolní prostředí.

Recyklace asfaltových vozovek přispívá ke snížení celkových nákladů na výstavbu, zároveň snižuje spotřebu neobnovitelných přírodních zdrojů, protože část z potřebného kameniva a asfaltového pojiva je nahrazena recyklátem. Možnosti využití části recyklovaného materiálu z porušených konstrukcí vozovek snižuje objemy odpadu ukládaného na skládkách, zároveň snižuje spotřebu pohonných hmot při výstavbě vozovek.

Hlavním cílem recyklací vozovek je přeměna degradované konstrukce vozovky, přeměna nehomogenních fyzikálně mechanických vlastností vrstev původní konstrukce vozovky. Zvýšení celkové únosnosti a prodloužení živostnosti konstrukce, zajištění reprofilace s vyrovnaním nerovností, zvýšení odolnosti proti mechanickému opotřebení obrusné vrstvy, zajištění potřebných protismykových vlastností na povrchu krytu vozovky. Recyklace za studena je jedna z mála variant, jak ekologicky upravit vozovku, v jejíž konstrukci byla použita dehtová pojiva, dnes již zakázána kvůli svým karcinogenním účinkům. [1]

Ke snahám o recyklaci vozovek vede i fakt, že cena ropy, jako základní suroviny pro výrobu asfaltových pojiv, má i přes mírné výkyvy, nejčastěji spojené s geopolitickým rozpořením světa, rostoucí tendenci.

Podrobný vývoj ceny ropy za posledních 60 let, můžeme vidět na obrázku 1.



Obrázek 1 Vývoj cen vybraných rop OPEC od roku 1960 do roku 2021 [2]

Současně zavedeným trendem je snaha zvyšovat podíl R-materiálu v jednotlivých vrstvách z asfaltového betonu. Přesnější možnosti přidání R-materiálu dle druhu směsi a použití v konstrukční vrstvě vozovky, pro směsi typu asfaltový beton (AC), specifikuje současná norma ČSN 73 6121 Stavba vozovek – Hutněné asfaltové vrstvy – Provádění a kontrola shody [3]. V současnosti je tato norma revidována a snahou je dosáhnout dávkování 30-35 %, pro obrusné vrstvy až po 70 %, pro podkladní vrstvy. Návrh dávkování R-materiálu pro jednotlivé směsi nalezneme v tabulce 1.

Tabulka 1 Návrh množství přidávání R-materiálu do směsí ACO a VMT

Obrusné vrstvy		Ložní vrstvy		Podkladní vrstvy	
Druh směsi	R-materiál %	Druh směsi	R-materiál %	Druh směsi	R-materiál %
ACO 8	35	ACL 16 S	40	ACP 16 S	60
ACO 8 CH	35	ACL 16 +	50	ACP 16 +	70
ACO 11 +	30	ACL 16	50	ACP 22 S	60
ACO 11	35	ACL 22 S	40	ACP 22 +	70
ACO 16 +	30	ACL 22 +	50	VMT 16	30
ACO 16	35	ACL 22	50	VMT 22	30
		VMT 16	25 (15)		
		VMT 22	25 (15)		

1) R-materiál za studena lze přidávat bez jeho další úpravy do směsi se silničním asfaltem, v množství max. 15 %. Při vyšších množstvích dávkování R-materiálu jak 15 % (obrusné, ložní, podkladní vrstvy) je nutno vypočítat potřebné množství dávkování asfaltu měkčí gradace nebo rejuvenátoru tak, aby bylo dosaženo výsledné deklarované gradace pojiva podle tabulky 4.1 v normě [3]. Množství a druh dávkovaného rejuvenátoru se uvádí ve zkoušce typu (ITT). Objednatel má za povinnost se přesvědčit přímo na obalovně o druhu a dávkování rejuvenátorů do asfaltových směsí. Přidávání R-materiálu metodou po částech za studena (použití variátoru) lze za výše uvedených podmínek použít pouze pro výrobu asfaltových směsí do podkladní vrstvy.

2) Do směsí pro ložní, podkladní a vyrovnávací vrstvy, do kterých se přidává modifikované asfaltové pojivo, lze přidávat max. 15 % R-materiálu. Pokud se vyrábí asfaltová směs pro obrusné vrstvy, do které se přidává modifikovaný asfalt, není možné do směsi přidávat R-materiál se silničním asfaltem (v případě modifikovaných pojiv v R-materiálu platí omezené dávkování na max. 15 %). [3] [4]

2. Cíle práce

Cílem mé diplomové práce je prozkoumat vliv míchacího času na výsledné vlastnosti asfaltových směsí s vyšším obsahem R – materiálu. Degradované pojivo obsažené v R – materiálu výrazně zvyšuje tuhost, čímž se negativně ovlivňují nízkoteplotní vlastnosti směsi. Výsledkem praktické části bude porovnání parametrů směsí s různými obsahy R – materiálu a různými časy míchaní. Z porovnání výsledků bude patrné, jak míchací čas ovlivňuje odolnost proti tvorbě trvalých deformací a tuhost směsí s vyšším obsahem R – materiálu.

Teoretická část diplomové práce obsahuje shrnutí stávající literatury, na téma recyklace asfaltových vozovek a možnosti přidání R – materiálu do směsí typu asfaltový beton.

3. Teoretická část

V této části diplomové práce budou shrnuty možnosti recyklace netuhých vozovek, dále jsou zde uvedeny možnosti získávání zpracování a znovu použití R – materiálu. Dále je zde popsána metodika výroby asfaltových směsí s nadlimitním množstvím R-materiálu na obalovnách s dvouplášťovým bubnem.

4. Druhy recyklace

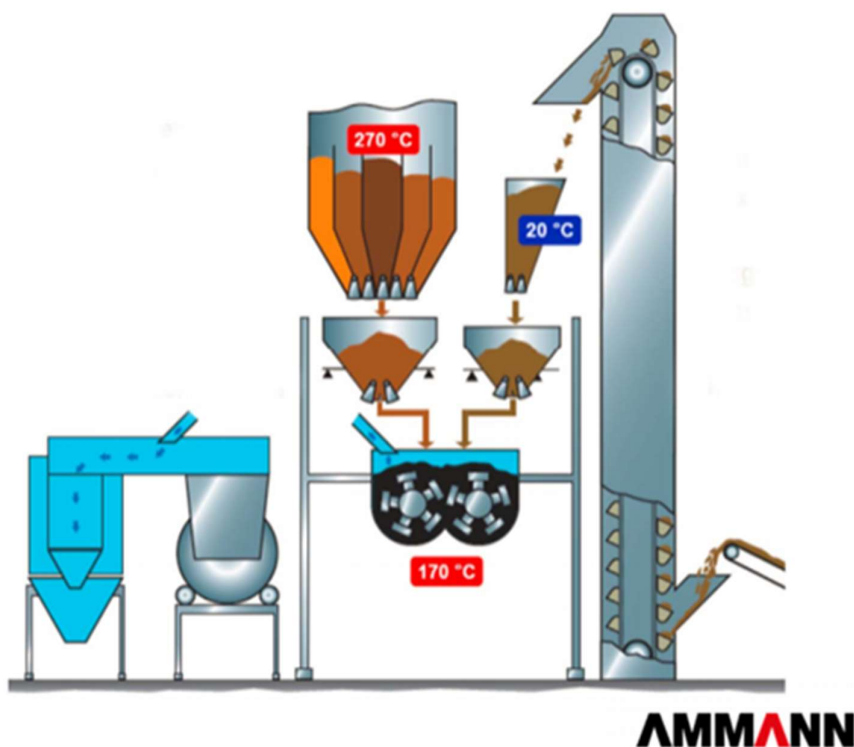
Způsob recyklace lze rozdělit dle místa provádění na recyklaci v míchacím centru, na obalovně nebo pomocí mobilní jednotky. Z hlediska teploty při recyklaci rozdělujeme na recyklaci za horka či studena. Kombinaci těchto dvou podmínek rozlišujeme 4 základní druhy recyklace

- V míchacím centru za horka
 - Dávkování R-materiálu přímo do míchačky šaržové obalovny
 - Předehřátí R-materiálu v paralelním bubnu
 - Kontinuální obalovny „Metody Drum mix“
 - Šaržové obalovny s dvouplášťovým bubnem
- V míchacím centru za studena
 - Stacionární obalovny
 - Semi-mobilní obalovny
 - Mobilní obalovny
- Na místě za horka
 - Reshape – technologie úpravy příčného profilu vozovky
 - Repave – technologie úpravy příčného profilu vozovky s položením nové asfaltové vrstvy
 - Regrip – technologie pro zlepšení protismykových vlastností vozovky
 - Remix – technologie recyklace stávající asfaltové ohrusné vrstvy za horka na místě
 - Remix Plus – technologie recyklace stávající asfaltové ohrusné vrstvy za horka na místě se současnou pokládkou nové ohrusné vrstvy
- Na místě za studena
 - Celková recyklace
 - Částečná recyklace

4.1 Recyklace v mísícím centru za horka

4.1.1 Dávkování R-materiálu přímo do míchačky šaržové obalovny

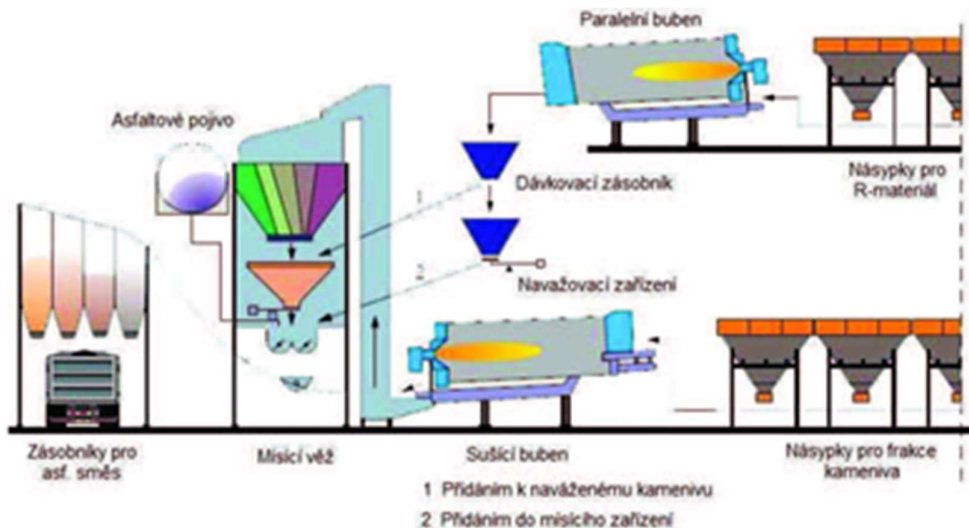
Nejdříve je nutno R-materiál předtřit a roztřídit na frakce, nejčastěji na hrubou 0/16 a jemnou 0/8. Dle receptury a uložení směsi v konstrukci se volí dávkování hrubší či jemnější frakce R-materiálu. V tomto technologickém procesu se R-materiál přidává bez předehtání přímo do míchačky, proto je nutné výrazně nahřát kamenivo, taky aby po promísení se studeným R-materiálem, teplota byla dostatečná pro zamíchání směsi. Maximální množství R-materiálu přidáno touto metodou je do 25 %, při dávkování nad 15 % se doporučuje provést výpočet gradace přidávaného pojiva. Nevýhodou tohoto způsobu dávkování je přítomnost vlhkosti v R-materiálu, proto je nutné zařadit do výrobního cyklu odvětrávání [5].



Obrázek 2 Šaržová obalovna s přímým dávkováním R-materiálu [5]

4.1.2 Předehřátí R-materiálu v paralelním bubnu

Tento způsob dávkování zajišťuje nahřátí R-materiálu na potřebnou teplotu, což umožňuje výrazně zvýšit dávkování R-materiálu až na 70 % pro podkladní vrstvy. Při takto výrazném navýšení jsou potřeba provést opatření pro zajištění homogenních vlastností R-materiálu, zastřešení skládek periodické zkoušky pojiva obsaženého v R-materiálu [6]



Obrázek 3 Šaržová obalovna s paralelním bubnem [6]

R-materiál je skladován v násypkách, ze kterých je dopravován do paralelního sušícího bubnu, ve kterém je ohřát na požadovanou teplotu pro mísení směsi. Mísení směsí probíhá v mísicí věži, kde se přidávají zbylé frakce kameniva a dodává se pojivo pro dosažení výsledných vlastností směsi [6]

4.1.3 Kontinuální obalovny metody „Drum Mix“

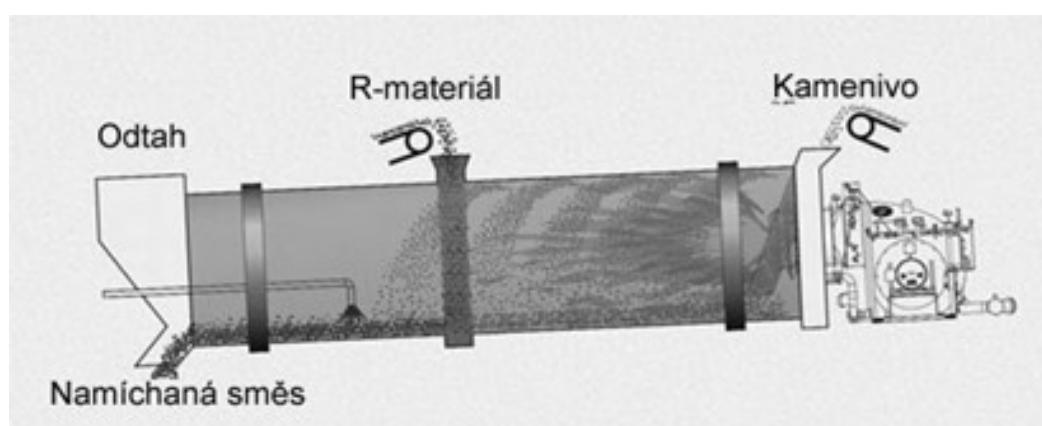
Jedná se o technologické řešení s centrálním středovým dávkováním R-materiálu (Center Entry Method) do bubnu kontinuální obalovny.

Metody se liší způsobem dávkování R-materiálu

- Dávkování po proud horkého vzduchu (Parallel flow drum)
- Dávkování proti proudu horkého vzduchu (Counter-flow drum)
- Separovaný ohřev R-materiálu a míchání v bubnu
- Separovaný ohřev R-materiálu a míchání v míchačce

Dávkování po proudu horkého vzduchu

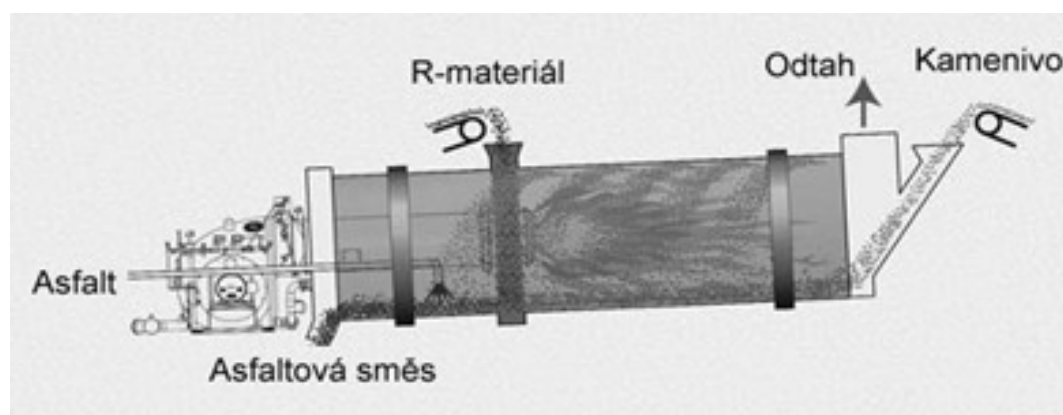
Pomocí této metody se R-materiál dostane do středu bubnu, kde se setkává s novým předeřhřátým kamenivem, které zahřeje R-materiál. Tímto způsobem je R-materiál chráněn před přímým plamenem hořáku. Při dávkování přílišného množství R-materiálu a jeho styku s plamenem by mohlo dojít k nežádoucímu efektu přehřátí R-materiálu a vzniku modrého dýmu. Jedná se o nežádoucí efekt přímého dotyku R-materiálu s plamenem hořáku [7]



Obrázek 4 Dávkování po proudu horkého vzduchu [6]

Dávkování proti proudu horkého vzduchu

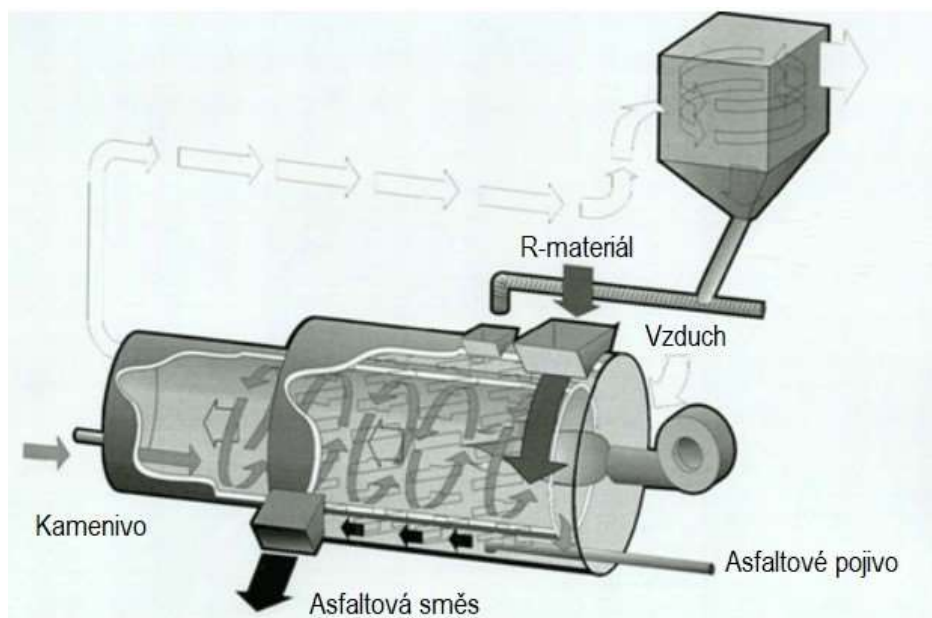
Nepřímý ohřev a dávkování R-materiálu za hořákem pomáhá v ochraně R-materiálu a omezuje vliv nežádoucích efektů. Kamenivo se dávkuje proti proudu hořáku [7].



Obrázek 5 Dávkování proti proudu horkého vzduchu [6]

Separovaný ohřev R-materiálu a míchaní v bubnu

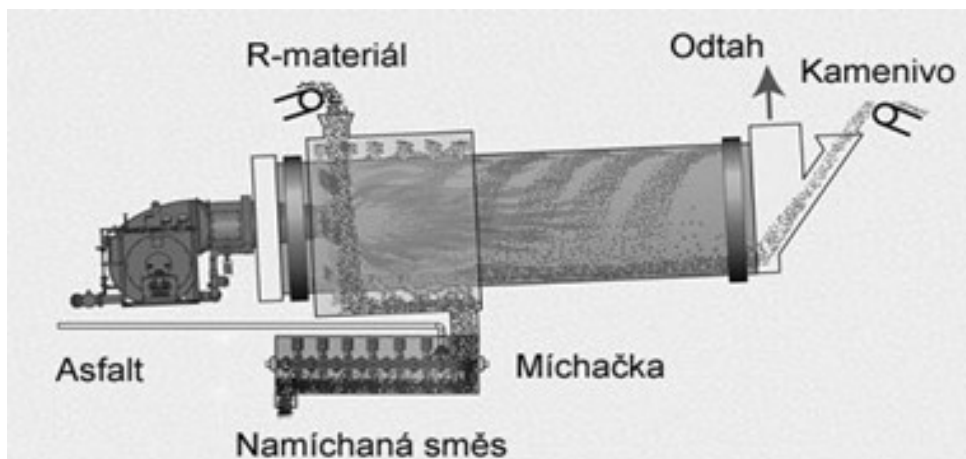
Při použití separovaného ohřevu dochází k zahřátí dávkovaného R-materiálu v separovaném plášti sušícího bubnu při nižší teplotě, než je použita na ohřev kameniva ve vnitřním bubnu. K míchaní dochází v uvnitř bubnu [7]



Obrázek 6 Separovaný ohřev R-materiálu a míchaní v bubnu [7]

Separovaný ohřev R-materiálu a míchaní v míchačce

Při použití této metody je hlavní dvouplášťový buben pouze sušící, k míchaní a přidání asfaltového pojiva dochází v odděleném prostoru, v samostatné míchačce [6].



Obrázek 7 Separovaný ohřev R-materiálu a míchaní v míchačce [6]

4.1.4 Šaržové obalovny s dvouplášťovým bubnem

Další možností, která představuje hybridní technologii je šaržová obalovna s dvouplášťovým bubnem. Jedná se v podstatě o klasickou šaržovou obalovnu, do které se dávkuje v druhé části sušícího bubnu R-materiál, který se ohřívá předeřátým kamenivem z první části bubnu. Takto ohřátá směs se dostává korečkovým výtahem do místa horkého třídění. Směs kameniva a R-materiálu však není dále prosáta vibračními sítí, protože by došlo k jejich ucpaní. Směs jde tzv. bypassem do míchačky obalovny, kde je přidáváno čerstvé asfaltové pojivo. V podstatě se jedná o jistý druh výroby jako na kontinuální obalovně, kde již nelze směs přetřídít na horkém třídění. Tento druh výroby vyžaduje velice přesné třídění vstupních materiálu v uvedeném poměru dle výrobního předpisu [8].



Obrázek 8 Šaržová obalovna s dvouplášťovým bubnem [8]

Výrobu asfaltových směsí lze provádět pro maximální množství R-materiálu 40 % hmotnosti. Nad toto množství R-materiálu již nelze bezpečně R-materiál ohřívát předeřátým kamenivem, protože může dojít k tepelnému poškození zestárlého pojiva [8].

4.2 Recyklace v mísicím centru za studena

Vybouraný nebo odfrézovaný materiál se převezí na skládku obalovny, které se nachází v blízkosti staveniště. Důležitá je správná zrnitost materiálu, lze upravit drcením materiálu. Recyklát se nejčastěji míchá s asfaltovou emulzí či pěnoasfaltem. Kromě emulze se přidává nové kamenivo, dále cement nebo vápenný hydrát v množství 1-2 % [9].

Podle umístění mísicí jednotky rozlišujeme

- Stacionární obalovny
- Semi mobilní obalovny
- Mobilní obalovny

Pokládka namíchané směsi se provádí finišery, hutnění probíhá těžkými běhounovými nebo pneumatikovými válci. Vibrační hutnění není tak účinné, preferujeme statické. Dosahovaná mezerovitost směsi se pohybuje v rozmezí 8–12 % [9].



Obrázek 9 Míchání a transport směsi [9]

4.3 Recyklace na místě za horka

Recyklace za horka na místě je metoda opravy asfaltových vozovek obrusné, ložní nebo podkladní asfaltové vrstvy, která spočívá v ohřátí asfaltové směsi vrstvy určené k recyklaci, jejím rozpojení, promíchání s přidávanými materiály změkčující přísady, asfaltové pojivo, kamenivo nebo asfaltová směs, zpětném položení a zhutnění [10]. Technické podmínky TP 209 stanovují požadavky na provádění a kontrolu asfaltových vrstev komunikací a jiných dopravních ploch upravených technologií recyklace na místě za horka [10].

Rozeznáváme pět kategorií recyklace na místě za horka:

4.3.1 Reshape – technologie úpravy příčného profilu vozovky

Technologie se skládá z následujících kroků:

- Rozehřátí asfaltové směsi pomocí infrazářičů
- Rozpojení a nakypření asfaltové směsi určené k recyklaci
- Urovnání rozpojené nakypřené asfaltové směsi v příčném a podélném směru
- Zhutnění urovnané asfaltové směsi



Obrázek 10 Rozehřátí pomocí infrazářičů [11]

4.3.2 Repave – technologie úpravy příčného profilu vozovky v položení nové asfaltové vrstvy

Technologický postup se skládá z následujících kroků:

- Rozehřátí asfaltové směsi pomocí infrazářičů
- Rozpojení a nakypření asfaltové směsi určené k recyklaci
- Urovnání rozpojené nakypřené asfaltové směsi v příčném a podélném směru
- Položení nové asfaltové vrstvy na urovnanou vrstvu bez vzájemného promísení směsi
- Zhutnění obou vrstev současně



Obrázek 11 Pokládka vrstvy recyklované za horka Repave [11]

4.3.3 Regrip – technologie pro zlepšení protismykových vlastností vozovky

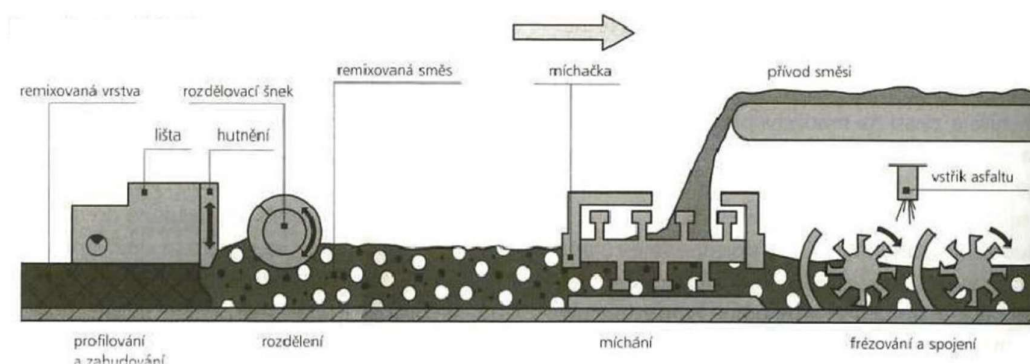
Technologie se skládá z následujících kroků:

- Nahřátí stávajícího povrchu
- Podrcení kamenivem úzké frakce
- Zaválcování kamení do povrchu

4.3.4 Remix – technologie recyklace asfaltové vrstvy za horka na místě

Technologie se skládá z následujících kroků:

- Rozprostření přidávaného kameniva na povrch vozovky, v případě přidávání pouze kameniva
- Ohřátí asfaltové směsi vrstvy určené k recyklaci
- Rozpojení ohřáté asfaltové směsi
- Přidání potřebných materiálů jako změkčující přísady, silniční asfalt nebo předobalená směs kameniva
- Promíchání ohřáté asfaltové směsi s přidanými materiály
- Zpětné položení upravené asfaltové směsi
- Zhutnění upravené asfaltové směsi



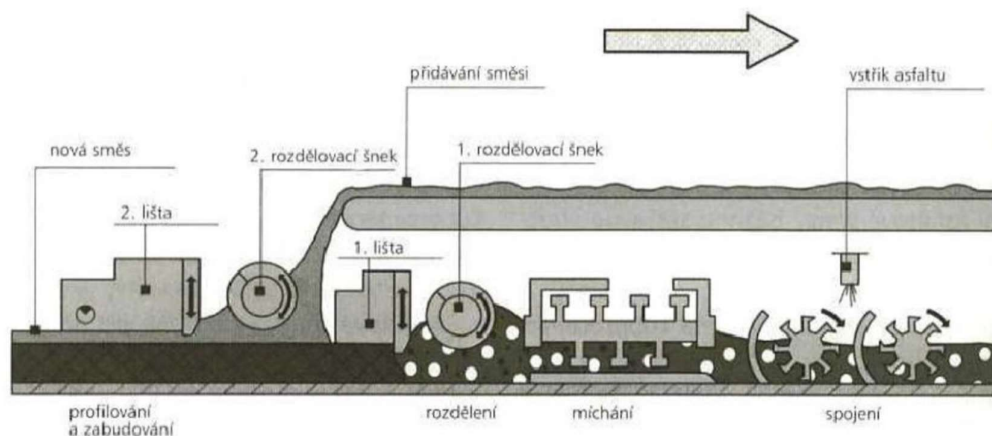
Obrázek 12 Pracovní postup technologie Remix [12]

4.3.5 Remix Plus – technologie recyklace stávající asfaltové obrusné vrstvy za horka na místě se současnou pokládkou nové obrusné vrstvy.

Technologie se skládá z následujících kroků:

- Rozprostření přidávaného kameniva pro úpravu zrnitosti recyklované směsi
- Ohřátí asfaltové směsi určené k recyklaci
- Rozpojení ohřáté asfaltové směsi
- Přidání změkčovacích přísad, silničního asfaltu nebo asfaltové směsi
- Promíchání ohřáté asfaltové směsi s přidanými materiály
- Zpětné položení upravené asfaltové směsi

- Položení nové asfaltové směsi obrusné vrstvy (vtlačovaná vrstva) systémem horké na horké
- Zhutnění asfaltového souvrství



Obrázek 13 Pracovní postup technologie Remix Plus [12]

Technologické procesy umožňují efektivní recyklaci stávajících asfaltových vrstev do hloubky až 55 mm, zvýšit kvalitu vrstvy přidáním změkčovačů, kameniva, asfaltového pojiva nebo asfaltové směsi. Dále umožňuje zvýšit kvalitu asfaltové směsi krytu vozovky (obrusné a ložní vrstvy) a současně vozovku zesílit pokládkou nové obrusné vrstvy tloušťky až 50 mm – Remix Plus [10].

Výhodami technologií recyklace za horka na místě jsou zvýšení pohodlí jízdy a bezpečnosti účastníků silničního provozu, prodloužení životnosti asfaltového krytu potažmo konstrukce vozovky, nízká ekonomická a časová náročnost opravy. Technologie jsou velice vhodné z hlediska ochrany životního prostředí, šetří neobnovitelné přírodní zdroje zároveň je energeticky výhodnější než kompletní rekonstrukce [10].

4.4 Recyklace na místě za studena

Touto technologií se recyklují nestmelené vrstvy, značně nehomogenní vrstvy, částečně stmelené vrstvy a asfaltové kryty. Recyklaci na místě za studena lze provádět s přidáním pojiva nebo bez pojiva. Bližší specifikaci technologie nalezneme v technickém předpisu TP 208 [9].

Tabulka 2 Technologie studené recyklace pro vrstvy vozovek [9]

Rozdělení podle druhu pojiva	Technologie studené recyklace pro vrstvy vozovek	
	Recyklace na místě	Recyklace v centru
Bez pojiva	Reprofilace a homogenizace nestmelené vrstvy s možností přidání dalšího materiálu za účelem zlepšení zrnitosti Původní předpis: TP 111	Použití recyklovaného materiálu pro nestmelené vrstvy Původní předpis: TP 111
Cement	Recyklace vrstev, které neobsahují asfaltové pojivo	Použití recyklovaného materiálu, který neobsahuje asfaltové pojivo
Jiné hydraulické pojivo		
Asf. emulze a cement	Společná recyklace vrstev, které obsahují asfaltové pojivo a vrstev bez asfaltového pojiva Původní předpis: TP 162	Použití směsi recyklovaného kameniva a R-materiálu ¹⁾ Původní předpis: TP 134
Zpěněný asfalt a cement		
Asf. emulze	Recyklace vrstev asfaltového krytu	Použití R-materiálu pro vrstvy asfaltového krytu Původní předpis: TP 126
Zpěněný asfalt		

¹⁾ Existuje též alternativa ohřevu směsi parou, která se provádí dle postupu vypracovaného zhotovitelem. Viz též návrh TP Konstrukční vrstvy vozovek s použitím R-materiálu ohřátého propařováním a obalovaného asfaltovou emulzí (resp. pěnou) a cementem (IMOS Brno, a.s.)

Recyklací bez pojiva se převážně provádějí podkladní vrstvy málokdy i ochranné vrstvy. Výsledné vrstvy mají srovnatelné vlastnosti jako šterkodrtě či mechanicky zpevněné kamenivo, výsledné vrstvy se chovají jako vrstvy z drceného kameniva. Při tomto využití se jedná nejčastěji o reprofilaci a homogenizaci nestmelené vrstvy nebo vrstvy z betonového recyklovaného kameniva (např. z betonového recyklátu 0/32) [9]

Při použití technologie s přidáním pojiva, je snaha zhodnotit stávající materiál a dosáhnout vyšší únosnosti celé konstrukce vozovky. Dosáhnutím vyšší pevnosti lze uspořít na tloušťkách následně kladených konstrukčních vrstev [9].

Dle hloubky provádění lze recyklace dělit na:

4.4.1 Celková recyklace

Recyklace podkladních vrstev nebo společná recyklace krytu, nebo jeho části a podkladních vrstev do hloubky obvykle 120 mm až 250 mm. Jako pojivo se používá cement nebo kombinace cementu a asfaltové emulze či zpeňného asfaltu [9].

Recyklace se používá tam, kde je únosnost vozovky vyčerpaná a vozovka je natolik porušená, že je nezbytná rekonstrukce více vrstev. Příznakem je výskyt síťových trhlin, často doprovázených četnými výtluky a plošnými deformacemi zejména ve stopách vozidel nebo při okrajích [9].

Touto metodou se často recyklují vozovky s konstrukcí z penetračního makadamu. Pokud recyklovaný materiál obsahuje dehet, při recyklaci na místě s použitím pojiva je možné jeho použití bez zvláštních opatření. Konkrétní podmínky zpracování směsi obsahující dehet jsou uvedeny v TP 150 [9].

4.4.2 Částečná recyklace

Recyklace asfaltových vrstev v krytu na místě do hloubky 120 mm. Jako hlavní složka pojiva se používá asfaltová emulze [9].

Částečná recyklace je vhodná v případě potřeby regenerace asfaltových vrstev. Příznakem je hloubková koroze povrchu, výtluky, mozaikové trhliny, trhliny na pracovních spárách, podélné a příčné trhliny nebo částečné vysprávký [9].

Technologický postup pro částečnou recyklaci asfaltových vrstev

- Frézování asfaltových vrstev vozovky silniční frézou
- Třídění a předrcení materiálu
- Dávkování pojiv k R-materiálu
- Míchání směsi
- Sběr recyklované směsi z podélné hrázky do násypky finišeru pomocí elevátoru
- Pokládka recyklované vrstvy finišerem
- Hutnění a případné ošetření nové vrstvy
- Uzavření povrchu nátěrem s podrcením nebo položením dalších asfaltových vrstev po vyžrání vrstvy



Obrázek 14 Schéma sestavy strojů pro recyklaci za studena [13]

5. Metodika postupné extrakce asfaltové směsi

Cílem výroby asfaltových směsí s R-materiálem je úspora finančních prostředků, převážně za nově dávkované asfaltové pojivo a kamenivo, tím se zvýší konkurenceschopnost výrobce. Úspěchem celého výrobního procesu je dodržení technologických podmínek tak, aby se vyráběná směs svou kvalitou a životností blížila co nejvíce asfaltové směsi vyrobené z nových materiálů. Jedou z klíčových podmínek pro udržení dlouhodobé trvanlivosti je promíchání zestárnutého pojiva z R-materiálu s čerstvě přidaným pojivem měkčí gradace, nebo použití rejuvenátorů, které mají pojivo dlouhodobě oživit [8].

Předpokladem difúze pojiv je tedy:

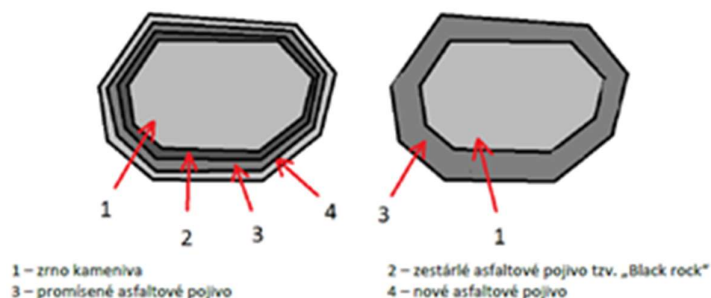
- Použití adekvátní gradace pojiva nebo kvalitního rejuvenátoru
- Dostatečná doba míchání všech komponentů na obalovně

5.1 Laboratorní provedení postupné extrakce

Lze předpokládat, že pojivo obsažené v R-materiálu je obvykle výrazně zestárlé s vyšší tuhostí oproti nově použitému pojivu. Vlastnosti pojivové složky se projevují na konečných funkčních vlastnostech asfaltové směsi. Výsledná směs má tedy vyšší tuhost, čímž pozitivně ovlivňuje odolnost směsi proti deformacím. Asfaltová směs však může být náchylnější ke vzniku trhlin. Z těchto důvodů je potřeba k návrhu asfaltových směsí s R-materiálem přistupovat zodpovědně a vlastnosti R-materiálu využívat správně [8].

Metoda postupné extrakce je inovativní metoda, která rozšiřuje standardní extrakci pojiva. Ideálním stavem výroby asfaltové směsi obsahující R-materiál je docílení maximálního smísení nově přidaného pojiva s pojivem obsaženým v R-materiálu (viz. Obrázek 15- pravá část) Docílením tohoto stavu je však poměrně obtížné a ve směsi často vzniká efekt tzv. „double coatingu“ (viz. Obrázek 15 - levá část). Nově přidané pojivo se s pojivem v R- materiálu smísí jen částečně a vytvoří tak mezivrstvu oddělující zestárlé pojivo osahující

samotné zrno kameniva od měkkého pojiva na povrchu této struktury. Postupnou extrakcí a následnou destilací tedy získáme pojivo ze všech zón a porovnáním jejich empirických a reologických vlastností jsme schopni detekovat přítomnost R-materiálu a míru výskytu „double coatingu“. Na základě těchto výsledků jsme schopni stanovit optimální podmínky míchaní asfaltové směsi, které se budou pro každý typ směsi lišit [8].



Obrázek 15 Vrstevnatá struktura pojiva ve směsi s R-materiálem (vlevo) a bez R-materiálu (vpravo) [8]

5.2 Postupná extrakce asfaltu a odstranění nerozpustného materiálu

Vzorek asfaltové směsi o hmotnosti (1500 ± 50) g se rozdrolí tak, aby se zamezilo shlukování zrn a tím se usnadnilo rozpouštění asfaltového pojiva. Směs se následně vsype do síťovaného koše a ten se postupně vkládá do tří předem připravených nádob s rozpouštědlem. Jako rozpouštědlo je použit tetrachlorethylen. Vždy je nutné dbát na to, aby byla veškerá asfaltová směs zcela ponořená v rozpouštědle. V první nádobě se pojivo extrahuje po dobu 1 minuty. Druhá extrakce trvá 2 minuty a konečná extrakce probíhá 45 minut, přičemž dochází k téměř úplnému smytí asfaltového pojiva z povrchu kameniva. Na povrchu některých zrn kameniva pak zůstává už jen tzv. „black rock“, což jsou nerozpustné zbytky pojiva na kamenivu. Asfaltový roztok ze všech tří nádob se nechá nejméně 10 minut stát a poté se proleje přes síto 0,063 mm do laboratorní odstředivky. Zde dochází po dobu (25 ± 5) minut k odstranění veškerých nerozpustných částic [8].

5.3 Destilace asfaltového pojiva dle ČSN EN 12697-3

Roztok extrahovaného pojiva a rozpouštědla se nasaje do destilační baňky, která je ponořená v olejové lázni a rotuje rychlostí (75 ± 5) otáček za minutu. Destilace probíhá ve třech fázích. V první fázi je teplota olejové lázně $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ a tlak v destilační baňce 40 kPa . V druhé fázi se teplota zvýší na $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ a tlak sníží na 2 kPa . V poslední fázi se teplota zvýší na $180\text{ }^{\circ}\text{C}$, přičemž destilace končí, jakmile je tato teplota dosažena. Tlak v destilační baňce se pomalu zvýší až na tlak atmosférický. Vydestilované pojivo se přelije z destilační baňky do vhodné nádoby a připraví se zkušební vzorky pro následné zkoušky asfaltových pojiv zkouškou penetrace, bodu měknutí, popř. zkoušek na DSR (dynamickém smykovém reometru) [8].

5.4 Ověřovací zkoušky

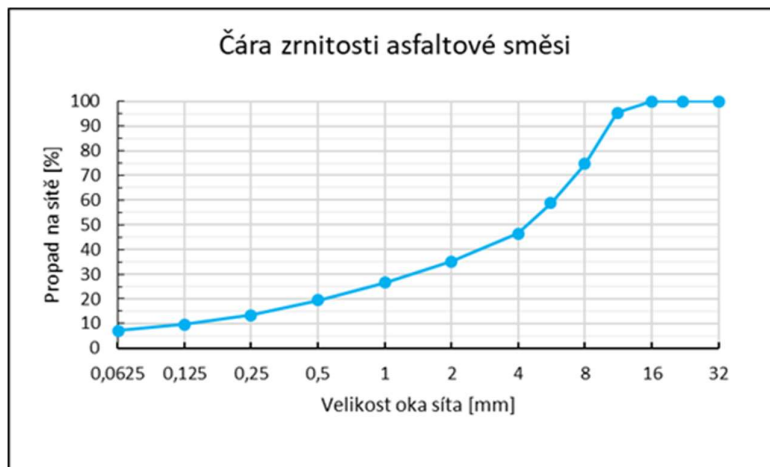
V rámci validace metody postupné extrakce bylo provedeno ověření na směsi ACO 11 S obsahující R materiál v množství 0% , 15% , 30% a 50% . Jako přidávané pojivo byl použit modifikovaný asfalt PMB 45/80-65. Celkový obsah pojiva srovnávaných asfaltových směsí byl $(5,5 \pm 0,5)\%$.

Je nutno uvést, že do asfaltových směsí nebyla pro účely tohoto ověřovacího experimentu záměrně dávkována oživovací přísada.

Na extrahovaném kamenivu byl proveden síťový rozbor (viz. Tabulka 3) a rovněž byla stanovena čára zrnitosti kameniva asfaltové směsi (viz Obrázek 16) [8].

Tabulka 3 Sítový rozbor [8]

Síto [mm]	Propad [%]
32	100,0
22	100,0
16	100,0
11	95,4
8	74,7
5	58,9
4	46,4
2	35,1
1	26,5
0,5	19,4
0,25	13,4
0,125	9,6
0,063	7,2



Obrázek 16 Čára zrnitosti asfaltové směsi ACO 11 S [8]

5.5 Výsledky ověřovací zkoušky

Z asfaltových směsí odebraných na obalovně bylo ve třech krocích extrahováno asfaltové pojivo. Doba namáčení vzorku asfaltové směsi v rozpouštědle byla prováděná s cílem získat přibližně 1/3 asfaltového pojiva z každé jednotlivé extrakce. Na základě optimalizace této metody prováděné na asfaltové směsi obsahující 15 % R materiálu, byly délky namáčení stanoveny následovně: 1 minuta pro 1. stupeň postupné extrakce, 2 minuty pro 2. stupeň postupné extrakce a 45 minut pro závěrečný 3. stupeň postupné extrakce. Ukázalo se však, že s rostoucím podílem R-materiálu obsaženého v asfaltové směsi, dochází ke snížení množství asfaltového pojiva získaného z 2. extrakce, a naopak zvýšení množství asfaltového pojiva získaného z 3. extrakce. Množství asfaltového pojiva získaného z 1. extrakce bylo neměnné. Zmíněný jev byl zřetelný především u asfaltových směsí obsahujících 30 % a 50 % R-materiálu. Tento poznatek tedy může sloužit jako jeden z možných způsobů k detekování relativní přítomnosti R-materiálu v asfaltové směsi [8].

Je však nutno počítat s tím, že intenzita tohoto jevu bude pravděpodobně pro různé typy asfaltových směsí odlišná [8].

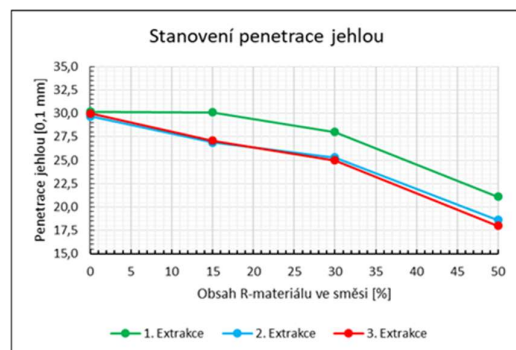
Všechna extrahovaná pojiva byla dále podrobena empirickým zkouškám asfaltových pojiv a jejich výsledky jsou prezentovány dále v textu [8].

5.6 Penetrace jehlou

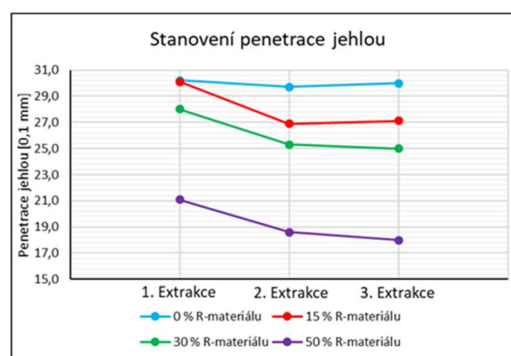
Penetrace jehlou jednotlivých asfaltových pojiv, získaných postupnou extrakcí, byla stanovena na základě tří vpichů jehly do vzorku asfaltového pojiva. Následně se z těchto tří naměřených hodnot stanovily průměry, které jsou uvedené v tabulce 4 [8].

Tabulka 4 Průměrné hodnoty penetrace jehlou [8]

Penetrace jehlou [0,1 mm]	Množství R-materiálu ve směsi			
	0 %	15 %	30 %	50 %
1. extrakce	30,2	30,1	28,0	21,1
2. extrakce	29,7	26,9	25,3	18,6
3. extrakce	30,0	27,1	25,0	18,0



Obrázek 18 Závislost penetrace jehlou na množství R-materiálu obsaženém v asfaltové směsi [8]



Obrázek 17 Závislost penetrace jehlou na fázi postupné extrakce [8]

Z obrázku 17 a 18 lze pozorovat, že s rostoucím podílem R-materiálu obsaženého v asfaltové směsi klesá penetrace asfaltového pojiva – pojivo je tedy „tvrdší“. To je způsobeno tím, že asfaltová směs obsahuje více zestárlého asfaltového pojiva. Tomuto degradačnímu procesu se nedá zabránit, pouze je možné omezit jeho projevy, například použitím rejuvenátoru [8].

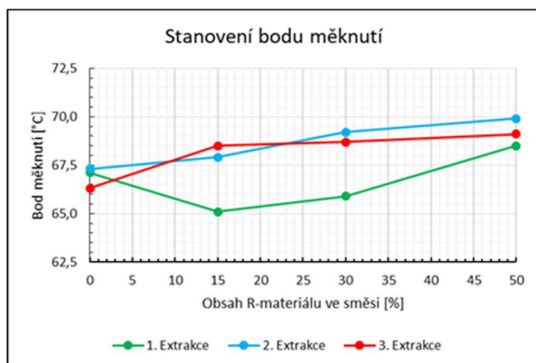
Na obrázku 17 je jasně vidět, že penetrace asfaltových pojiv s obsahem 0 % R-materiálu je ve všech třech fázích postupné extrakce takřka neměnná. To znamená, že se v asfaltové směsi nevyskytuje R-materiál a zrna kameniva jsou obalena pouze novým asfaltovým pojivem. Naopak u asfaltových pojiv extrahovaných ze směsí obsahujících R-materiál je zřetelný pokles penetrace mezi 1. a 2. extrakcí. To je způsobeno tím, že v průběhu 1. extrakce dochází k rozpouštění převážně nezestárlého asfaltového pojiva, obalujícího nově přidaná zrna kameniva. Během 2. extrakce se pak rozpouští také zestárlé asfaltové pojivo, obalující zrna R-materiálu (zestárlé asfaltové pojivo je tvrdší a rozpouští se tedy pomaleji). Při poslední 3. extrakci dochází k rozpouštění zbytku asfaltového pojiva. Na povrchu zrn R-materiálu mohou zůstat nerozpustné zbytky asfaltového pojiva, které slouží jako spolehlivá a jednoduchá detekce přítomnosti R-materiálu v asfaltové směsi [8].

5.7 Bod měknutí

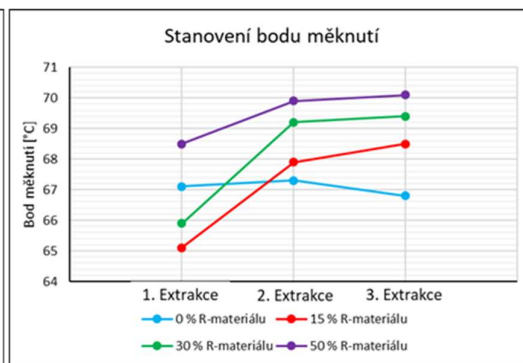
Druhou prováděnou empirickou zkouškou extrahovaných asfaltových pojiv byl bod měknutí. Bod měknutí byl stanoven vždy na základě čtyř prováděných měření, ze kterých byly následně stanoveny průměry uvedené v tabulce 5 [8].

Tabulka 5 Průměrné hodnoty bodu měknutí [8]

Bod měknutí [°C]	Množství R-materiálu ve směsi			
	0 %	15 %	30 %	50 %
1. extrakce	67,1	65,1	65,9	68,5
2. extrakce	67,3	67,9	69,2	69,9
3. extrakce	66,3	68,5	68,7	69,1



Obrázek 20 Závislost bodu měknutí na množství R materiálu obsaženém v asfaltové směsi [8]



Obrázek 19 Závislost bodu měknutí na množství R materiálu obsaženém v asfaltové směsi [8]

Z obrázku 19 a 20 je zřetelné, že se zvyšujícím se podílem R-materiálu, obsaženého v asfaltové směsi, se zvyšuje „tvrdost“ asfaltového pojiva – teplota bodu měknutí má rostoucí tendenci [8].

Na rozdíl od penetrace jehlou, kde na obrázku 17 jsou křivky 2. a 3. extrakce téměř totožné, dochází na obrázku 20 ke zvětšení rozdílů mezi 2. a 3. extrakcí. Na obrázku 19 je zřetelný rozdíl ve tvaru křivek pro asfaltová pojiva vyextrahovaná ze směsí obsahujících R-materiál od směsi bez R-materiálu. Mezi asfaltovým pojivem z 1. a 2. extrakce dochází ke znatelnému nárůstu teploty bodu měknutí – tedy k nárůstu tvrdosti asfaltového pojiva. Tato metoda může (stejně jako penetrace jehlou) sloužit k detekci R-materiálu v asfaltové směsi. Je však zapotřebí zohlednit, že každá asfaltová směs se může chovat jinak. Křivka zobrazující výsledky zkoušek pojiva z jednotlivých extrakcí běžného silničního asfaltového pojiva nemusí být totožná s křivkou polymerem či pryží modifikovaného asfaltového pojiva [8].

Z obrázku 19 je v neposlední řadě patrné, že rozdíl bodu měknutí mezi 2. a 3. extrakcí je pro všechna pojiva téměř zanedbatelný [8].

5.8 Zhodnocení metodiky

Z výsledků prováděných empirických zkoušek asfaltových pojiv lze usoudit, že metodika postupné extrakce je vhodná pro detekci přítomnosti R- materiálu v asfaltové směsi [8].

Takto odzkoušená metodika je připravena pro optimalizaci délky míchání asfaltové směsi, která je v současnosti zkušebně vyráběna na obalovně EUROVIA CS a.s. Na základě různých délek míchání všech komponentů asfaltové směsi včetně R-materiálu bude touto metodou vyhodnocena míra promíchání pojiva z R-materiálu a čerstvě dávkovaného pojiva v závislosti na čase míchání. Tímto způsobem bude vyhodnocena optimální délka míchání, která zohlední míru promíchání obou pojiv a na druhé straně maximální možnou dobu míchání s ohledem na ekonomickou únosnost a výkon obalovny [8].

Pro přesné určení rozdílu mezi novým a zestárlym asfaltovým pojivem se jeví jako vhodné využití moderních zařízení jako jsou dynamický smykový reometr DSR, nebo FTIR spektrometr s jehož pomocí se stanoví karbonylový index ICO [8].

6. Praktická část

Praktická část diplomové práce se zabývá optimalizací délky míchání asfaltové směsi s vyšším obsahem R-materiálu. Na základě různých délek míchání všech komponent včetně R-materiálu, bude pomocí výše uvedené metodiky, vyhodnocena míra promíchání čerstvého asfaltového pojiva s pojivem obsaženým v R-materiálu, v závislosti na čase míchání. Tímto způsobem bude možno vyhodnotit optimální dobu míchání, která zohlední míru promíchání pojiv, zároveň stanoví maximální možnou dobu míchání pro zachování ekonomické únosnosti a výkonnosti obalovny.

Před samotnou optimalizací byl proveden návrh směsí, u jedné jsme ověřili účinnost rejuvenátoru, u druhé směsi bylo zvoleno záměrně měkkčí pojivo, jako kompenzace zvýšené tuhosti degradovaného pojiva obsaženého v R-materiálu.



7. První etapa

V první etapě praktické části diplomové práce byl proveden návrh dvou směsí ACO 11 + s obsahem 40 % R-materiálu. Přidání R-materiálu v takovém rozsahu již výrazně zvýší tuhost směsi, což vede ke zhoršení nízkoteplotních vlastností směsi.

V návrhu první směsi se zvýšená tuhost eliminovala přidáním rejuvenátoru Anova, při návrhu druhé směsi byla snaha eliminovat zvýšenou tuhost přidáním měkčího penetrace 70-100, místo pojiva 50-70 použito pro první směs.

7.1 Suroviny pro výrobu směsí

V následujících podkapitolách budou popsány suroviny použité při výrobě směsí v první etapě.

7.1.1 Kamenivo

Kamenivo je klíčová složka pro hutněné asfaltové směsi, převážně pro směsi typu asfaltový beton (AC), kde tvoří nosnou kostru. Z hlediska návrhu asfaltových směsí je důležité stanovit zrnitost jednotlivých frakcí kameniva, zároveň je potřeba dbát na dobré vlastnosti kameniva jako odolnost proti drcení a proti ohlazování.

Kamenivo použité pro výrobu směsí bylo získáno z lomu Mokrá. Při návrhu byly použity 3 frakce drceného kameniva HDK 8/11, HDK 4/8 a SK 0/4. Vápenná moučka (filler) byla použita z lomu Velké Hydčice.

7.1.1.1 Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor

Zkouška zrnitosti kameniva spočívá v roztřídění různých frakcí kameniva pomocí sady sít 0,063-0,125-0,25-0,5-1-2-4-5,6-8-11-16-22-32-45 mm.

Zkouška byla provedena dle ČSN EN 933-1[14].

Tabulka 6 Sítové rozборы použitého kameniva

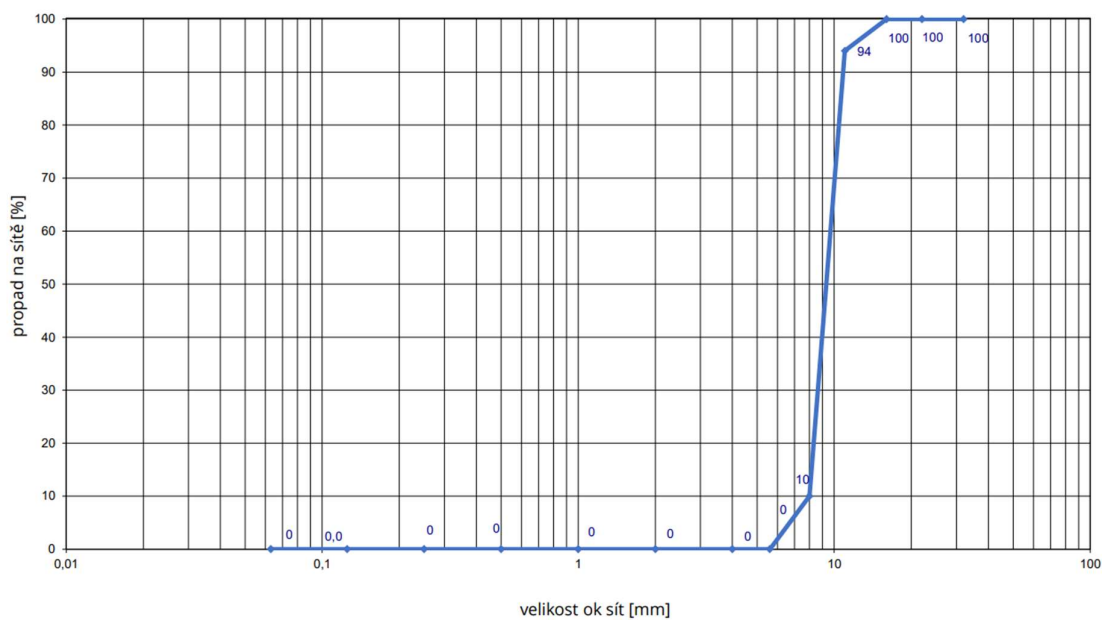
DRUH / FR. LOKALITA	HDK 8/11 Mokrý	HDK 4/8 Mokrý	SK 0/4 Mokrý					JMV V. Hydčice
SÍTO 45	100	100	100					100
32	100	100	100					100
22	100	100	100					100
16	100	100	100					100
11	94	100	100					100
8	10	95	100					100
5,6	0	44	100					100
4	0	10	99					100
2	0	2	73					100
1	0	2	50					100
0,5	0	2	30					99
0,25	0	1	15					96
0,125	0	1	8					88
0,063	0,0	1,0	4,6					74,1
OH [Mg/m ³]	3,028	3,022	3,028					2,760
Nadsitné [%]	6,2	5,1	0,5					---
Podsité [%]	10,4	10,3	---					---
Jemné č. [%]	0,0	1,0	3,2					74,1
Tvar. index [%]	22	25	---					---
Otluk ²⁾ [%]	11	11	---					---
MB _r [g/kg]	---	---	1,7					1,7
PSV ²⁾	53	---	---					---
Asf. v R-mat. [%]								
Přilnavost	výborná ¹⁾	---	---					---

¹⁾ asfalt Litvinov 50/70, zkoušeno na frakci 8/11

²⁾ Hodnota PSV a otluku převzata z ročních zkoušek kameniva 2019

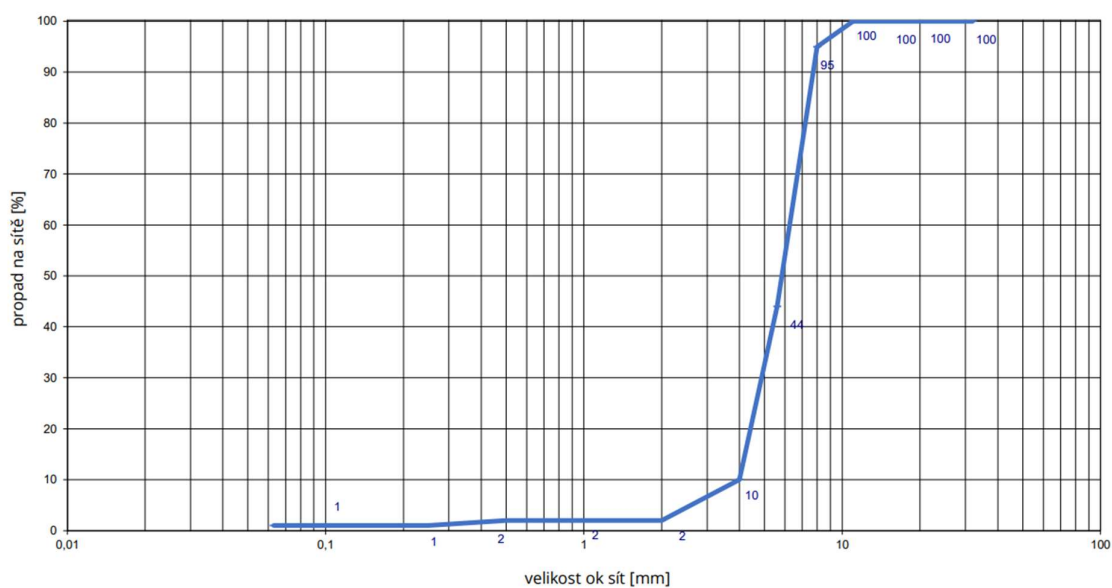
Výsledné čáry zrnitosti jednotlivých frakcí kameniva

Čára zrnitosti HDK 8/11 Mokrý



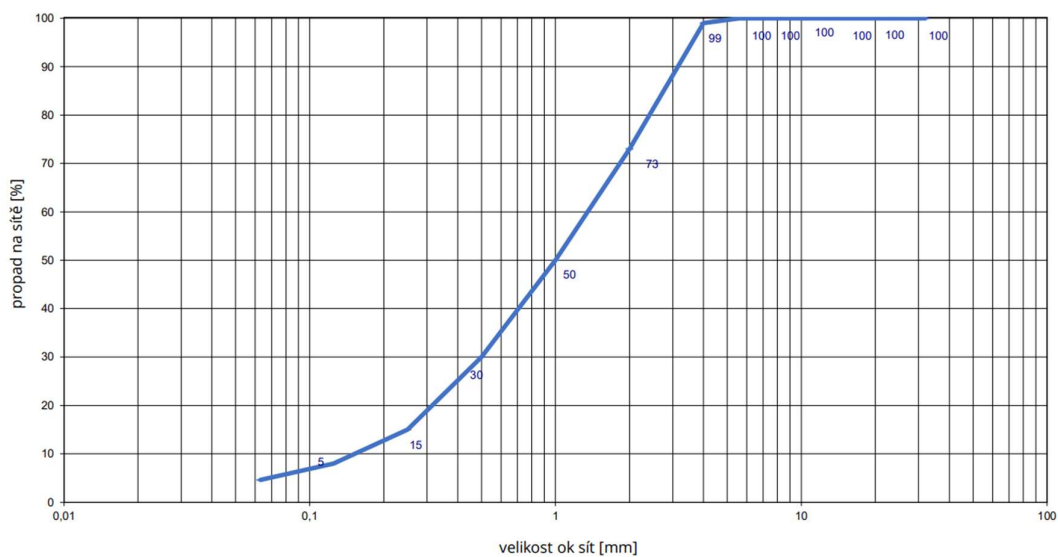
Obrázek 21 Křivka zrnitosti HDK 8/11 Mokrý

Čára zrnitosti HDK 4/8 Mokrá

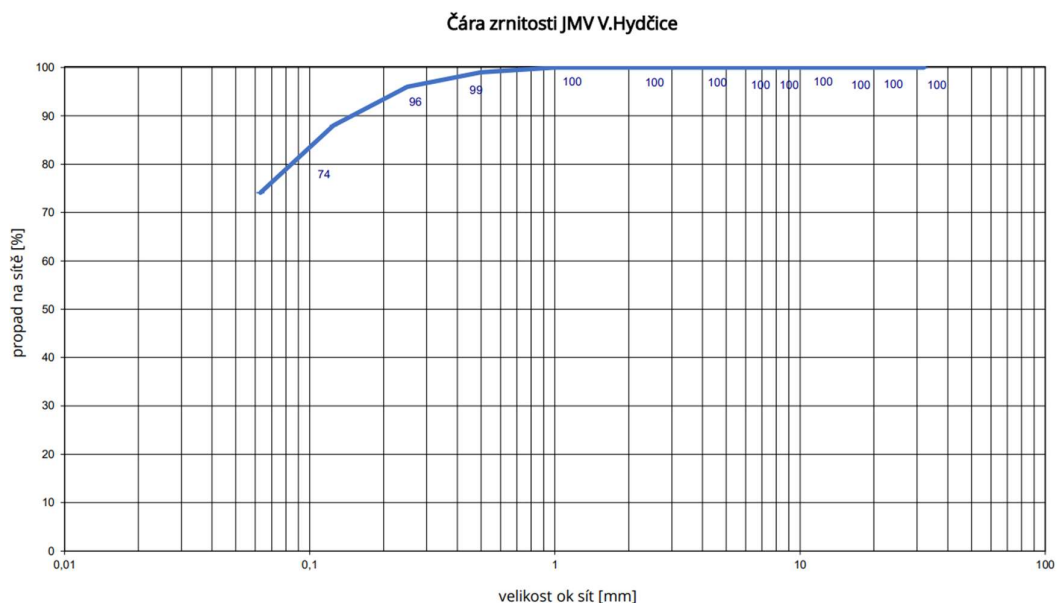


Obrázek 22 Čára zrnitosti HDK 4/8 Mokrá

Čára zrnitosti HDK 0/4 Mokrá



Obrázek 23 Čára zrnitosti HDK 0/4 Mokrá



Obrázek 24 Čára zrnitosti JMV V. Hydčice

7.1.2 Asfaltové pojivo

Pro navržené směsi byla použita pojiva kategorie 50/70 a 70/100. Obě pojiva byla dodána z rafinérie Schwedt (Německo). Výsledky empirických zkoušek pojiva byly převážný z rafinérie Schwedt a jsou popsány v tabulce 7.

7.1.2.1 Tvrdost asfaltového pojiva – Stanovení penetrace jehlou

Stanovení penetrace jehlou je základní empirická zkouška asfaltových pojiv, je založena na měření hloubky, kterou pronikne jehla penetrometru do zkušebního vzorku pojiva, temperovaného na teplotu $(25 \pm 0,1) ^\circ\text{C}$. Na jehlu působí zatížení 100 gramů po dobu 5 sekund. Zkouška byla provedena v souladu s ČSN EN 1426 [15]

7.1.2.2 Bod měknutí asfaltového pojiva – Zkouška kroužek kulička

Zkouška kroužek kulička je druhá základní empirická zkouška asfaltových pojiv. Zkouška ukazuje vlastnosti pojiva při vyšších teplotách. Mosazné kuličky o předepsaných parametrech jsou umístěny na kroužek obsahující vzorek asfaltového pojiva. Kroužky se vzorky jsou vloženy do stojanu ve vodní lázni, které se zahřívá rychlostí $(5 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$. Zkouška končí odečtením teploty při protažení asfaltového pojiva o 25 cm. Provedena dle ČSN EN 1427 [16].

Tabulka 7 Výsledy empirických zkoušek vstupních pojiv z rafinérie Schwedt

Pojivo	Penetrace	Bod měknutí
	[0,1mm]	[°C]
50-70 Schwedt	49	50,7
70-100 Schwedt	76	46,9

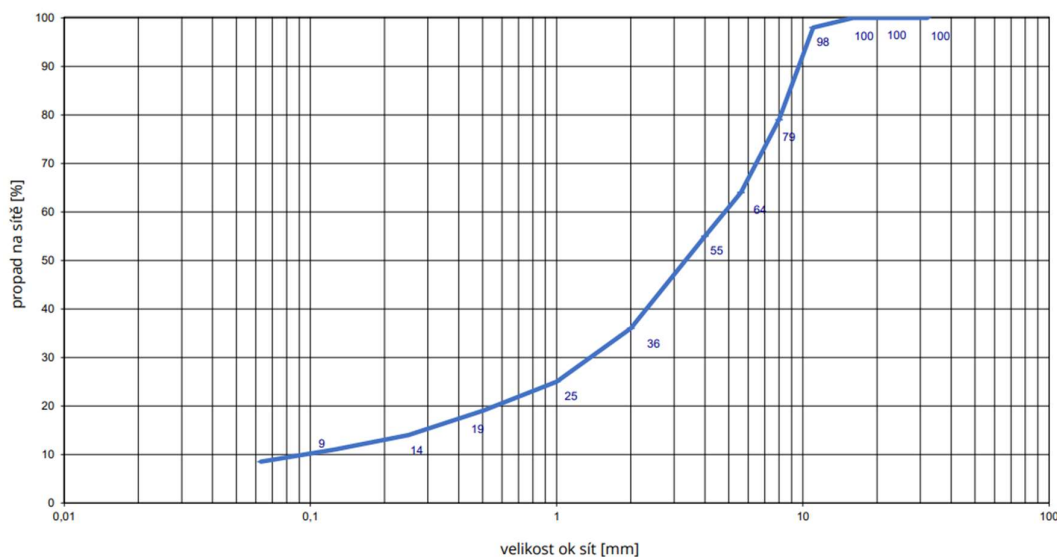
7.1.3 R-materiál

Použitý R-materiál pro výrobu směsí byl odebrán na skládce obalovny Dalovice. Odebraný R-materiál byl frakce 22 RA 0/16. Na použitém R-materiálu byla provedená extrakce pojiva, pomocí které oddělíme pojivo v R-materiálu od kameniva. Na získaném pojivu, po provedení extrakce, byly provedeny empirické zkoušky viz kapitola Tvrdost asfaltového pojiva – Stanovení penetrace jehlou a Bod měknutí asfaltového pojiva – Zkouška kroužek kulička. Na získaném kamenivu byla provedena zkouška Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor.

Tabulka 8 Výsledy empirických zkoušek extrahovaného pojiva z R-materiálu

Pojivo	Penetrace	Bod měknutí
	[0,1mm]	[°C]
R-mat 0/16	21	65,2

Čára zrnitosti R-materiál 0/16



Obrázek 25 Čára zrnitosti R-materiál 0/16

7.2 Návrh směsí

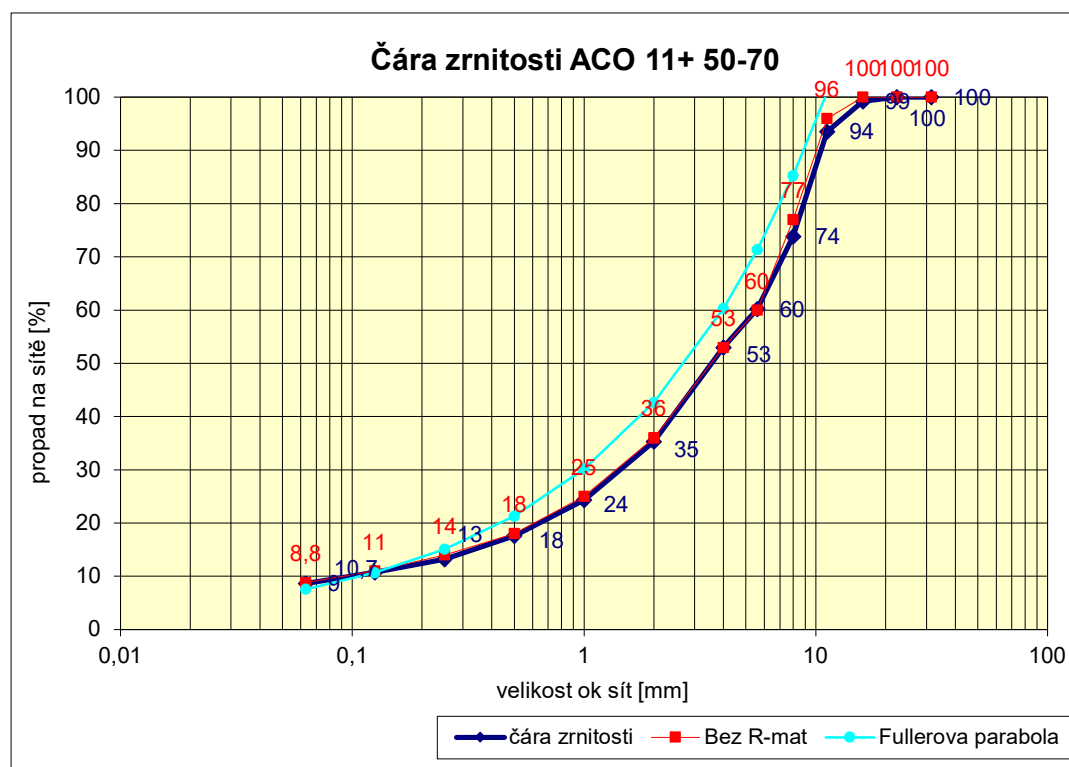
Cílem provedených návrhů bylo prokázat do jaké míry se liší výsledné parametry směsi, pokud je navržena asfaltová směs se 40 % R-materiálu s asfaltovým pojivem 50/70 a rejuvenátorem Anova v dávce 6 % ve srovnání se směsí, do které byl navrženo 40 % R-materiálu s pojivem vyšší gradace 70/100. Pojivo vyšší gradace 70/100 by mělo nahradit účinek rejuvenátoru a eliminovat zvýšenou tvrdost degradovaného pojiva v R-materiálu.

U navržených směsí byla dodržena přibližně stejná čára zrnitosti a obsah celkové pojiva, návrhy byly cíleny na mezerovitost v rozmezí 3,0 – 4,0 %.

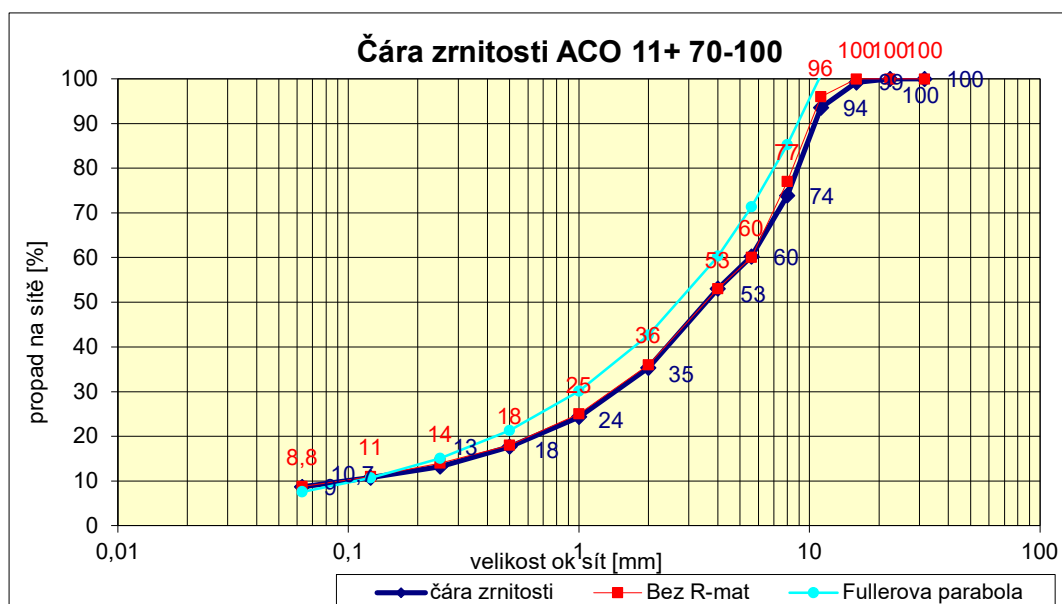
R-materiál byl v obou případech dávkován za studena.

Tabulka 9 Přehledný návrh směsí první etapa

Návrh	R-mat	Pojivo	Propady na sítích						Přidávané pojivo	Celkové pojivo
			0,063	2	4	8	11	16		
1	0/16	50/70	6,7	35	53	74	94	99	3,9 %	5,4 %
2	0/16	70/-- 100	8,7	35	53	74	94	99	3,9 %	5,4 %



Obrázek 26 Čára zrnitosti ACO 11+ 50-70



Obrázek 27 Čára zrnitosti ACO 11+ 70-100

Na navržených směsích byly zjištěny následující vlastnosti: objemová hmotnost směsi, maximální objemová hmotnost směsi, mezerovitosti směsi a míra zhutnění těles. Dále byly provedeny zkoušky trvalých deformací směsi a modulu tuhostí směsi.

Směsi byly namíchány dle protokolu o návrhu směsi, který je součástí přílohy 1, pomocí laboratorní míchačky. Pomocí rázového zhutňovače byly vyrobeny 3 kusy Marshallových těles, na kterých byly zjištěna objemová hmotnost směsi.



Obrázek 28 Marshallovo těleso

Dále byly na segmentovém hutniči zhutněny 3 kusy deskových těles o rozměru 260 x 320 x 50 mm. Z jednoho deskového tělesa byly vyřezány tělesa tvaru trapezoidů, na kterých se zkouší moduly tuhosti směsi. Zbylá 2 desková tělesa byla použita při zkoušce trvalých deformací směsi.



Obrázek 30 Zhutněná deska



Obrázek 29 Trapezoid připravený ke zkoušení

7.3 Zkoušky vlastností asfaltových směsí

7.3.1 Objemová hmotnost směsi

Princip zkoušky spočívá ve stanovení 3 hmotností každého zkušebního tělesa. Zvážíme suché těleso m_1 , těleso ponoříme do vodní lázně s konstantní teplotou a necháme nasáknout po dobu 30 minut. Poté těleso zvážíme pod vodou, získáme hmotnost m_2 . Nakonec těleso vytáhneme z vodní lázně a povrchově osušíme a zvážíme pro určení poslední hmotnosti m_3 . Výslednou objemovou hmotnost ρ_{bssd} získáme dosazením do vzorce [17]

$$\rho_{bssd} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} * \rho_w$$

Kde, m_1 hmotnost suchého vzorku v gramech
 m_2 hmotnost vzorku pod vodou v gramech
 m_3 hmotnost osušeného vzorku v gramech
 ρ_w objemová hmotnost vody závislá na teplotě v kg/m^3

7.3.2 Maximální objemová hmotnost směsi

Princip zkoušky spočívá v určení 3 různých hmotností pro daný pyknometr a vzorek směsi. Zvážením prázdného pyknometru získáme hmotnost m_1 . Pyknometr naplníme vzorkem směsi a zvážíme pro získání druhé hmotnosti m_2 . Nakonec pyknometr naplníme vhodným rozpouštědlem v našem případě byl použit tetrachlorethylen. Vložíme pyknometry do temperační komory a necháme temperovat 60 minut na požadovanou teplotu. Po uplynutí času pyknometr vyjmeme z lázně, povrchově osušíme a zvážíme pro získání hmotnosti m_3 . Maximální objemovou hmotnost získáme dosazením do vzorce [18]

$$\rho_{mv} = \frac{m_2 - m_1}{1000 * (V_p - \frac{m_3 - m_2}{\rho_w})}$$

Kde, m_1 hmotnost pyknometru, nástavce a pružiny v gramech
 m_2 hmotnost pyknometru, nástavce, vzorku a pružiny v gramech
 m_3 hmotnost pyknometru, nástavce, vzorku a pružiny v gramech

- m_3 hmotnost pyknometru, nástavce, vzorku, pružiny a rozpouštědla v gramech
- V_p objem pyknometru při naplnění po referenční značce nástavce v metrech krychlových
- ρ_w hustota rozpouštědla při zkušební teplotě v kg/m^3 s přesností $0,1 \text{ kg/m}^3$

7.3.3 Mezerovitost směsi

Mezerovitost směsi určuje procentuální obsah vzduchových mezer ve zhutněné směsi. Vypočítá se pomocí z hodnot objemové hmotnosti a maximální objemové hmotnosti stanovených v předchozích zkouškách. Mezerovitost byla vypočtena dle vztahu z normy ČSN EN 12697-8 [19]

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} * 100\%$$

- Kde,
- ρ_m maximální objemové hmotnost směsi v kg/m^3
- ρ_b objemová hmotnost zhutněného tělesa v kg/m^3
- V_m mezerovitost směsi v procentech

7.3.4 Míra zhutnění

Míra zhutnění udává poměr mezi objemovou hmotností tělesa s referenční objemovou hmotností. V našem případě byla porovnávána objemová hmotnost deskových těles s objemovou hmotností Marshallových těles. Míra zhutnění je důležitý parametr kontrolovaný při výstavbě vrstev asfaltové vozovky, pro námi navrhované směsi je požadována míra zhutnění 99–101 %. Míra zhutnění se určí dle následujícího vztahu [20]

$$M_z = \frac{\rho_d}{\rho_r} * 100$$

- Kde,
- ρ_d objemová hmotnost tělesa v kg/m^3
- ρ_r objemová hmotnost referenčního tělesa v kg/m^3
- M_z míra zhutnění tělesa v procentech

7.4 Vlastnosti asfaltových směsí

V následující kapitole budou přehledně uvedeny výsledky výše uvedených zkoušek. Dále budou ověřeny předpoklady návrhu asfaltových směsí. Podrobné protokoly o provedených zkouškách jsou součástí přílohy 1.

Tabulka 10 Přehled vlastností asfaltových směsí

Směs	Pojivo	Objemová hmotnost	Maximální objemová hmotnost	Mezerovitost
		[kg/m ³]	[kg/m ³]	[%]
1	50/70	2661	2764	3,6
2	70/100	2677	2776	3,6

Tabulka 11 Míry zhutnění deskových těles

Směs	Deska	Objemová hmotnost desky	Objemová hmotnost směsi	Míra zhutnění
		[kg/m ³]	[kg/m ³]	[%]
1	1 A	2672	2661	100,4
	1 B	2656		99,4
	1 C	2665		100,2
2	2 A	2685	2677	100,3
	2 B	2683		100,2
	2 C	2674		99,8

Dle zjištěné hodnoty mezerovitosti 3,6 % lze usoudit, že se návrh povedl. Hodnota je v předpokládaném rozmezí požadavků. Míra zhutnění desek rovněž splňuje podmínky dané normou pro naše směsi, lze je tedy použít pro následující funkční zkoušky asfaltových směsí.

7.5 Funkční zkoušky asfaltových směsí

7.5.1 Moduly tuhosti směsi

Z deskových těles byly pomocí kotoučové pily vyřezány tělesa tvaru trapezoidu (komolého klínu). Trapezoidy byly přilepeny, pomocí epoxydové pryskyřice, vápenné moučky a tvrdila, do ocelových podložek.

Princip zkoušky spočívá v dvoubodovém cyklickém ohybu, při daných frekvencích, jednostranně pevně uchycených těles. Pomocí měření amplitudy napětí a poměrného přetvoření spolu s fázovým úhlem mezi napětím a poměrným přetvořením lze vypočítat modul tuhosti.

Vyhodnocení bylo provedeno pomocí softwaru, který zaznamenával hodnoty jednotlivých měření. Výsledný modul tuhosti byl stanoven podle vzorce [21]:

$$S = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} = |E^*| = \sqrt{E_1^2 - E_2^2}$$

Kde S je modul tuhosti v MPa

σ_0 amplituda maximálního napětí v tělese

ε_0 amplituda maximálního přetvoření v tělese

E^* komplexní modul v MPa

E_1 reálná složka komplexního modulu

E_2 imaginární složka komplexního modulu

Složky komplexního modulu E_1 a E_2 , jeho absolutní hodnota S a úhel φ se vypočítají za podmínek vynuceného harmonického kmitání dle uvedených vzorců [21]:

$$E_1 = \gamma * \left(\frac{F}{Z} * \cos(\varphi) + \frac{\mu}{10^3} * \omega^2 \right); E_2 = \gamma * \left(\frac{F}{Z} * \sin(\varphi) \right),$$

$$\varphi = \arctg \frac{E_2}{E_1}$$

kde, E_1 reálná složka modulu tuhosti [Pa],

E_2 imaginární složka modulu tuhosti [Pa],

γ faktor tvaru [-],

μ faktor hmotnosti [-],

F	vyvozená síla [N],
z	posun [mm],
φ	fázový úhel [°],
ω	úhlové frekvence [s^{-1}].

Výsledné hodnoty modulů tuhosti pro jednotlivé frekvence byly softwarem stanoveny jako aritmetický průměr deseti měření.

7.5.2 Odolnost směsi vůči trvalým deformacím

Odolnost směsi vůči trvalým deformacím se zjišťuje pomocí zkoušky pojíždění kolem, která se provádí dle ČSN EN 12697-22+A1 [22]. Desková tělesa byla upevněna do ocelových forem, poté byla umístěna do měřicího zařízení a temperována na teplotu 50 °C po dobu 24 hodin. Po uplynulé době temperace bylo přiloženo zkušební kolo na povrch zkušební tělesa, po kterém pojíždělo celkem 10 000 cykly. Výsledkem zkoušky je hloubka vyjeté koleje v povrchu asfaltové směsi po uplynutí 10 000 cyklů, ze které se určí charakteristiky směsi WTS_{AIR} a PRD_{AIR} , hodnoty se vypočtou dle následujících vzorců [22]:

$$WTS_{AIR} = \frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$$

kde	WTS_{AIR}	je průměrný přírůstek koleje na vzduchu v mm
	$d_{10\,000}$	označuje hloubku vyjeté koleje po 10 000 cyklech
	$d_{5\,000}$	označuje hloubku vyjeté koleje po 5 000 cyklech

$$PRD_{AIR} = \frac{Y_{s,10\,000}}{t} * 100$$

Kde	PRD_{AIR}	je poměrná hloubka vyjeté koleje v asfaltové směsi na vzduchu po 10 000 cyklech uváděna v %
-----	-------------	---

	$Y_{s,10\,000}$	je průměrná hloubka koleje z obou desek po 10 000 cyklech uváděna v mm
--	-----------------	--

	t	je průměrná tloušťka zkušebních těles
--	---	---------------------------------------



Obrázek 32 Zařízení prováděcí zkoušku poježdění kolem

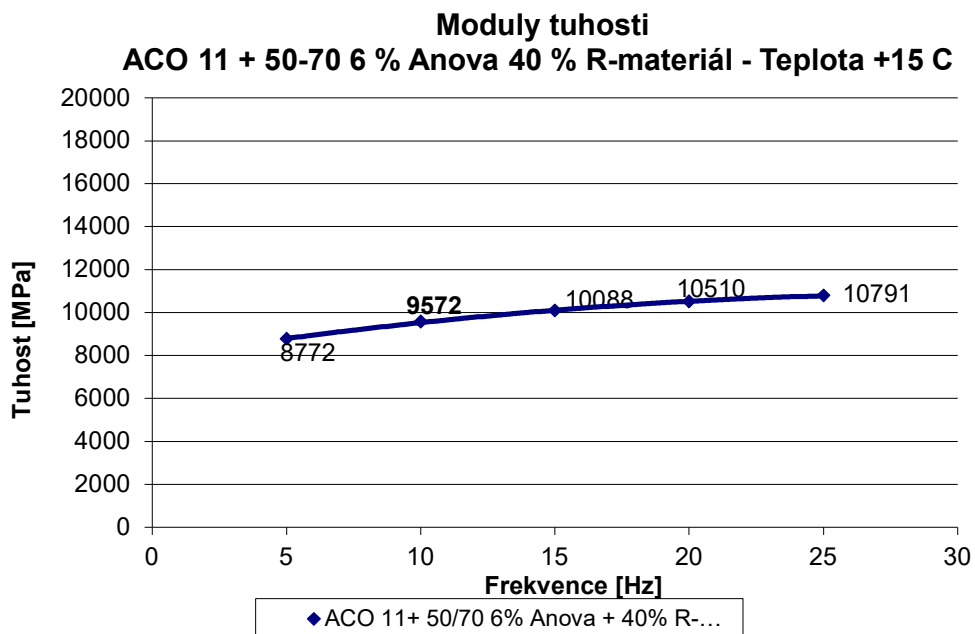


Obrázek 31 Deska po provedení zkoušky

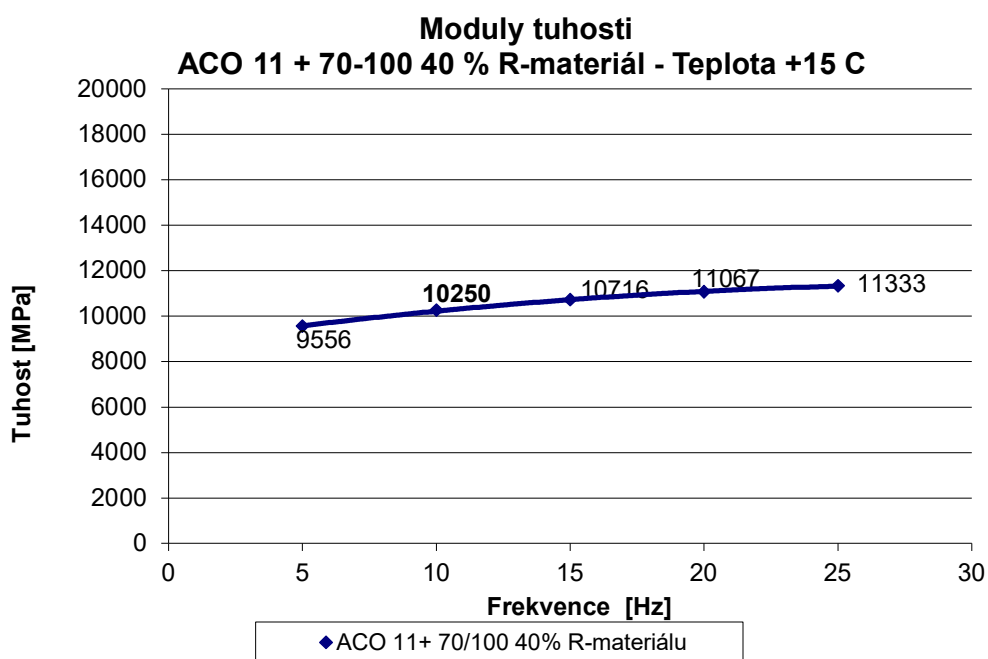
7.6 Vyhodnocení funkčních zkoušek asfaltových směsí

V následující kapitole budou vyhodnoceny výše uvedené funkční zkoušky provedené na obou navržených směsích.

7.6.1 Moduly tuhosti směsí



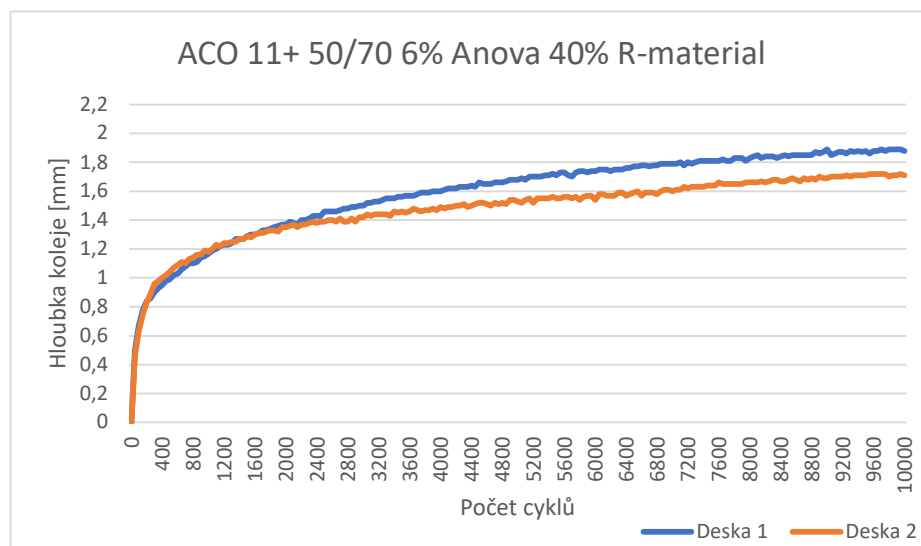
Obrázek 34 Moduly tuhosti první směsi



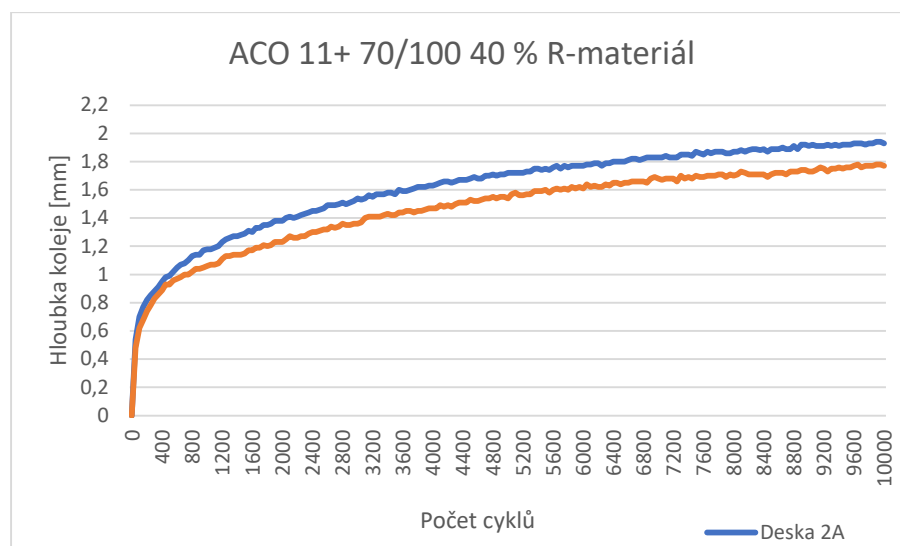
Obrázek 33 Moduly tuhosti druhé směsi

Při vyhodnocení se posuzuje hodnota modulu tuhosti směsí při teplotě 15 C a frekvenci 10 Hz

7.6.2 Odolnost směsi vůči trvalým deformacím



Obrázek 35 Závislost hloubky vyjeté koleje na počtu cyklů, první směs



Obrázek 36 Závislost hloubky koleje na počtu cyklů druhá směs

Tabulka 12 Výsledky odolnosti směsí vůči trvalým deformacím

Směs	Deska	WTS _{AIR}	PRD _{AIR}
ACO 11+ 50-70 6 % Anova 40 % R-materiál	A1	0,040	4,40
	A2	0,036	4,37
ACO 11+ 70-100 40 % R- materiál	B1	0,042	4,50
	B2	0,046	4,45

ČSN EN 13108-1 [3], pro směsi ACO 11+ stanovuje mezní hodnoty WTS = max. 0,08 a PRD = 6 %. Obě navržené směsi tedy splňují požadavky.

7.7 Závěr první etapy praktické části

Z výsledků empirických zkoušek navržených směsí lze říct, že směsi byly navrženy v pořádku a splňují předpoklady nastavené při návrhu. Hodnota mezerovitosti 3,6 % byla dosažena u obou směsí.

Z výsledků modulů tuhosti směsí lze pozorovat, že použitím pojiva nižší gradace dokážeme do jisté míry eliminovat zvýšenou tuhost vzniklou přidáním 40 % R-materiálu bez použití rejuvenátoru.

Odolnost vůči trvalým deformacím vychází mírně vyšší u směsi bez rejuvenátoru, obě směsi splňují požadavky dle ČSN EN 13108-1 [3] na směsi typu ACO 11 +.

8. Druhá etapa

Druhá etapa diplomové práce se zaměřuje na vliv míchacího času jako proměnné při výrobě asfaltových směsí. Tento výzkum byl prováděn ve spolupráci s obalovnou Dalovice patřící společnosti Eurovia CS a.s.

V rámci druhé etapy bylo navrženo 5 směsí typu ACO 11+, jedna referenční bez R-materiálu se standardním časem míchaní, zbylé směsi obsahují 40 % R-materiálu dávkovaného za studena.

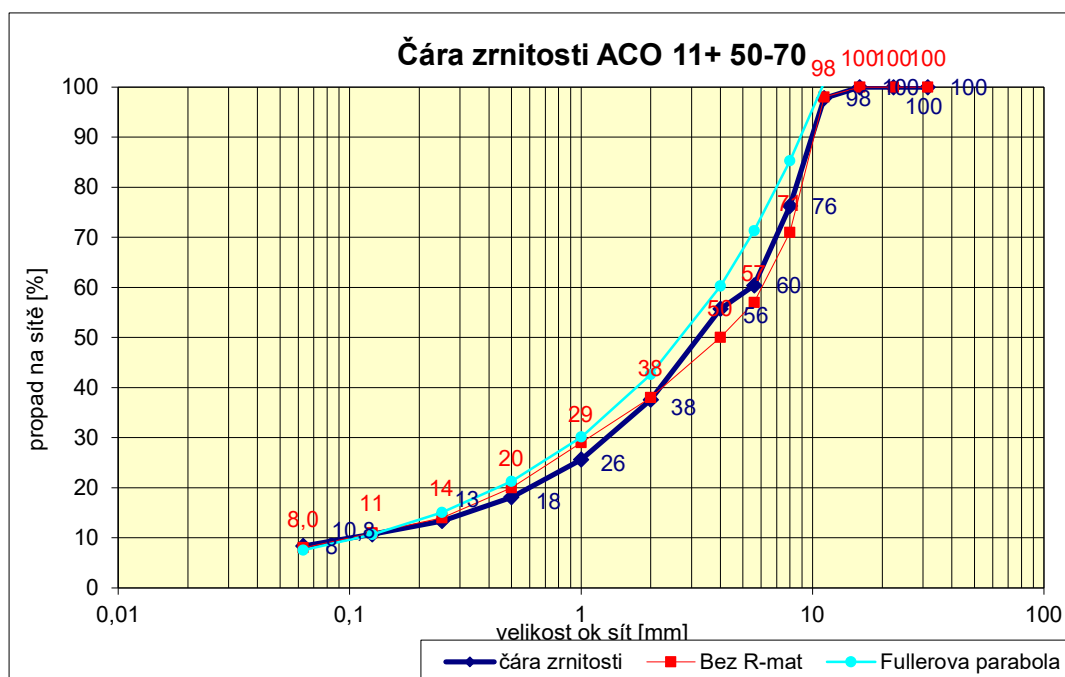
Tabulka 13 Přehled navržených směsí v druhé etapě

Označení směsi	R-materiál [%]	Rejuvenátor Anova [%]	Čas míchaní [sec]
1 ACO 11+	-	-	25
2 ACO 11+	40	-	40
3 ACO 11+	40	7,6	25
4 ACO 11+	40	7,6	40
5 ACO 11+	40	7,6	55

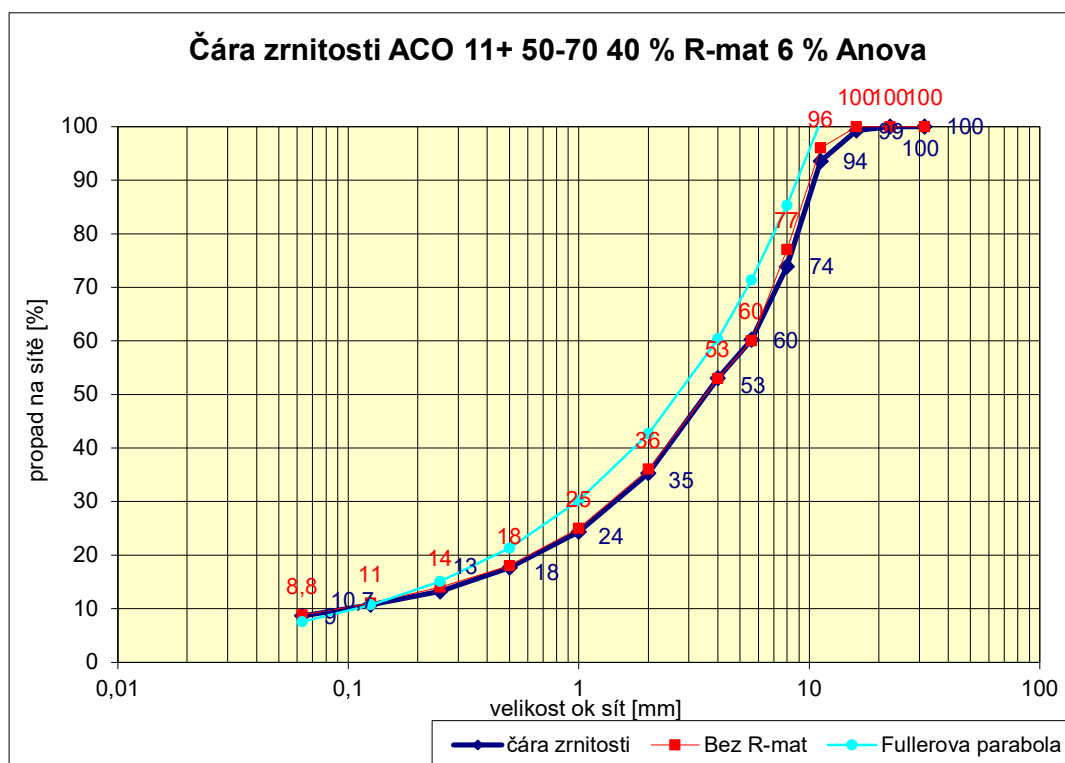
8.1 Návrhy směsí

Návrhy směsí jsou velice blízké první směsi vyzkoušené během první fáze.

Pro výrobu směsí byly použité stejné frakce kameniva od stejného dodavatele, navržené čáry zrnitosti jsou tedy téměř totožné s první směsí vyzkoušené během první fáze.



Obrázek 37 Čára zrnitosti referenční směsi



Obrázek 38 Čára zrnitosti směsí s R-materiálem

8.2 Výroba směsí

Směsí byly namíchány v obalovně Dalovice Eurovia CS, a.s. během výroby bylo použito pojivo Litvínov 50-70, místo plánovaného pojiva Schwedt 50-70. Pojivo splňuje požadavky ČSN 65 7204 [23]. Při zkouškách pojiva, provedených v laboratořích obalovny, se ukázalo že pojivo pravděpodobně obsahuje vysoké množství visbreakingových zbytků. Toto způsobilo značené změny BM po stárnutí RTFOT+PAV a zároveň velmi špatné výsledky BBR. Při porovnání stárnutí RTFOT a stárnutí pojiva na obalovně se ukázalo, že během zkoušky RTFOT došlo k vyššímu nárůstu BM než při výrobě (o 2,2 °C), hodnoty penetrace byly srovnatelné.

Namíchané směsi byly dopraveny do laboratoře pro další zpracování a zkoušení.

8.3 Zkoušky vlastností asfaltových směsí

Jedná se o základní zkoušky popsané v předchozích kapitolách. Stanovení objemové hmotnosti směsi, stanovení maximální objemové hmotnosti směsi a mezerovitosti směsi. Tyto zkoušky byly provedeny laboratoří obalovny Eurovia CS a.s.

Tabulka 14 Objemové hmotnosti směsí

Směs	Zhutněná objemová hmotnost / teplota směsí						Max. Objemová hmotnost
	160	150	140	130	120	110	
1	2596	2597	2589	2570	-	-	2718
2	-	2605	-	-	-	-	2711
3	-	2643	2631	2625		-	2733
4	-	2654	2656	2634	2615	-	2706
5	-	2663	2662	2652	2641	2623	2718

Tabulka 15 Mezerovitosti směsí

Směs	Teplota hutnění / mezerovitost směsi					
	160	150	140	130	120	110
1	4,5	4,5	4,6	5,3	-	-
2	-	3,9	-	-	-	-
3	-	3,3	3,7	3,9		-
4	-	1,9	1,9	2,7	3,4	-
5	-	2,0	2,0	2,4	2,8	3,5

Z tabulek 14 a 15 lze pozorovat významný vliv oživovací přísady na zhutnitelnost směsi pomocí Marshallova pěchu. Dalo by se tedy uvažovat použití přísady jako nízkoteplotní, což by vedlo ke snížení požadovaných teplot hutnění směsi na stavbě.

Zvýrazněné hodnoty zhutněných objemových hmotností mezerovitostí směsí při daných teplotách byly použity při výpočtu navážky asfaltových směsí při tvorbě deskových těles pro potřeby funkčních zkoušek směsí.

8.4 Zkušební tělesa

Z každé směsi dovezené do laboratoře bylo zhutněno jedno deskové těleso o rozměrech 260 x 320 x 50 mm. Hutnění probíhalo na segmentovém zhutňovači, teploty hutnění byly uvažovány dle zvýrazněných hodnot v tabulkách 14 a 15.

Na každém deskovém tělese byla zjištěna objemová hmotnost a míra zhutnění. Popis zkoušek je uveden v předchozích kapitolách.

Směs	Deska	Objemová hmotnost desky	Objemová hmotnost směsi	Míra zhutnění
1	A	2622	2597	100,96
2	E	2602	2605	99,89
3	B	2617	2625	99,69
4	C	2637	2615	100,86
5	D	2641	2623	100,68

Míra zhutnění odpovídá požadavků pro směsi ACO 11+, což je 99–101 %.

Deska A svou mírou zhutnění míří k horní hranici limitu, toto může ovlivnit výsledky funkčních zkoušek pro tuto směs.

Desky byly déle rozřezány kotoučovou pilou na tělesa tvaru trapezoidu, která byla přilepena do ocelových podložek.

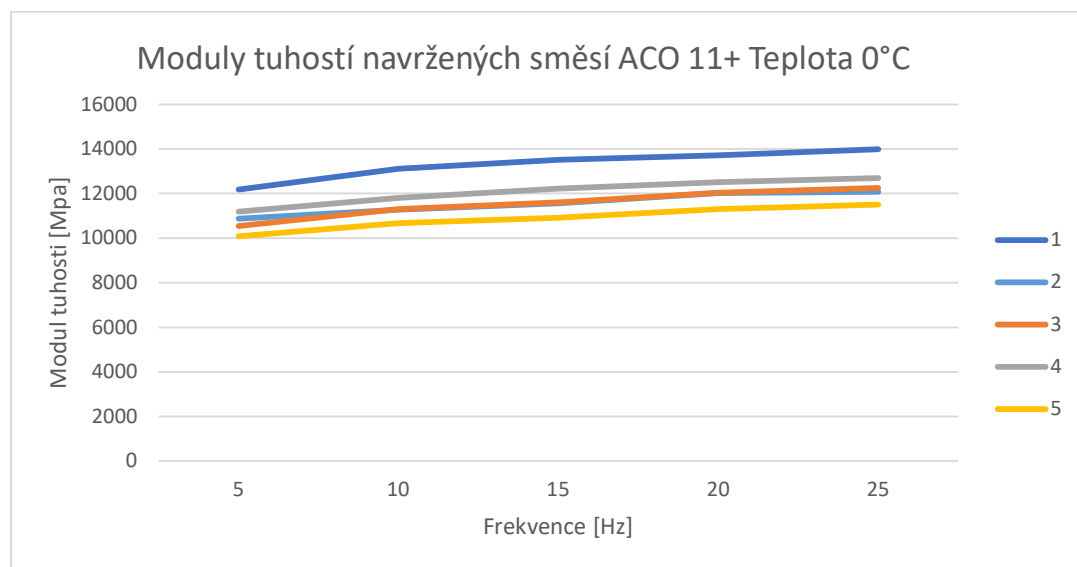


Obrázek 39 Trapezoidy připravené ke zkoušení

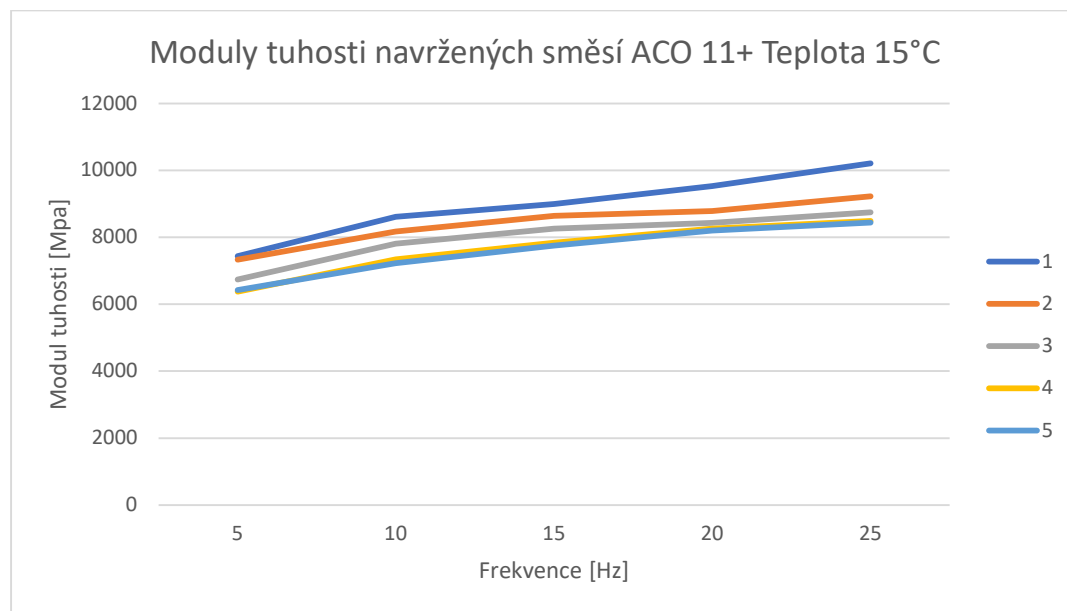
8.5 Funkční zkoušky asfaltových směsí

8.5.1 Moduly tuhosti směsí

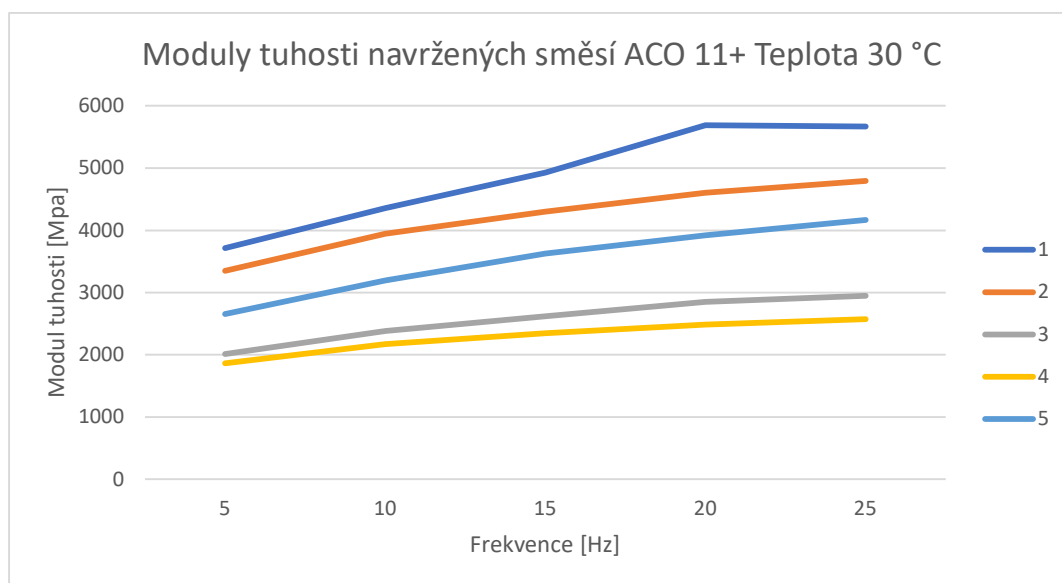
Měření modulů tuhosti navržených směsí bylo provedeno na pěti tělesech trapezoidů z každé směsi. Výsledný modul směsi byl určen jako aritmetický průměr všech vzorků. Měření probíhalo při třech různých teplotách 5, 15 a 30 °C. Kompletní vyhodnocení modulů tuhosti, včetně tabulky s parametry těles je součástí přílohy 2.



Obrázek 40 Moduly tuhostí navržených směsí při teplotě 0 °C



Obrázek 41 Moduly tuhosti navržených směsí při teplotě 15 °C



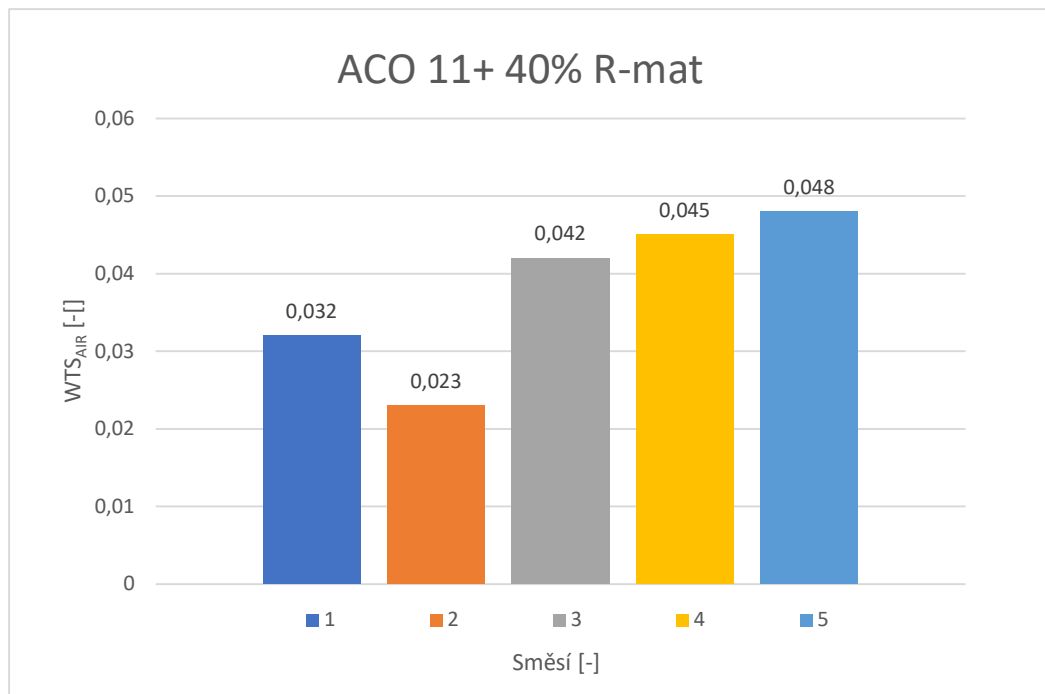
Obrázek 42 Moduly tuhosti navržených směsí při teplotě 30 °C

Z obrázků 40, 41 a 42 je vidět, že směs číslo 1 má výrazně vyšší hodnoty modulů tuhosti oproti ostatním směsím. Směs číslo 1 je referenční směs, u které jsme předpokládali nižší tuhost. Tato anomálie může být způsobena hraniční mírou zhutnění desky A, ze které byly tělesa této směsi

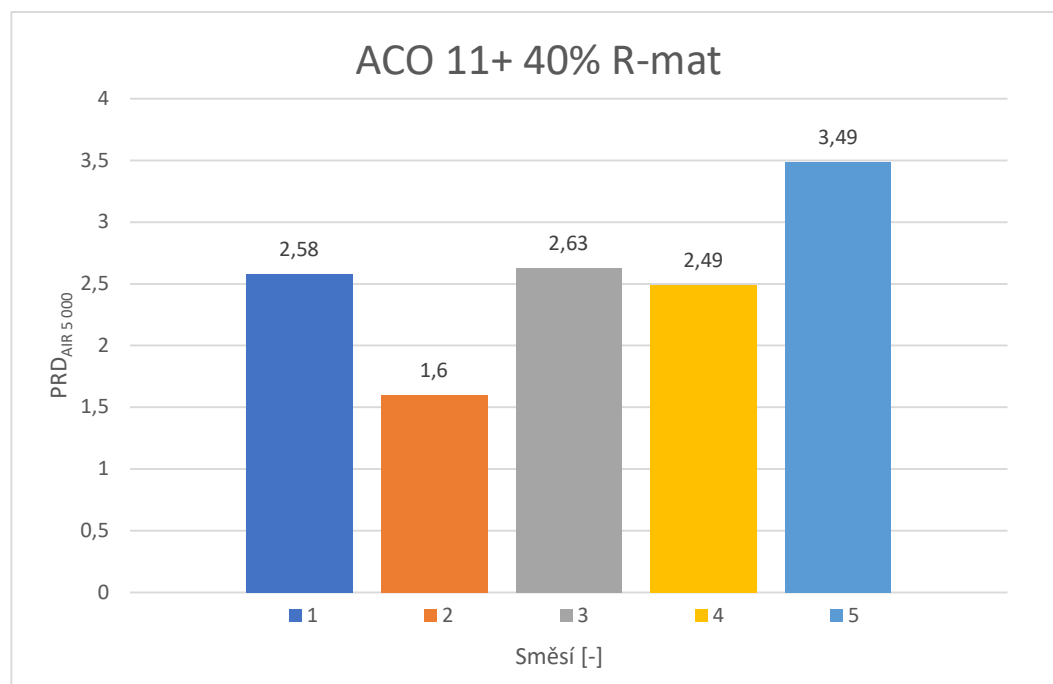
Dále lze vidět snížení modulů tuhosti směsí s rejuvenátorem, tedy směsí 3, 4 a 5. Zároveň můžeme vidět vliv prodloužení času míchaní, směsí 4 a 5 mají nižší moduly tuhosti oproti směsi 3.

8.5.2 Odolnost směsí vůči trvalým deformacím

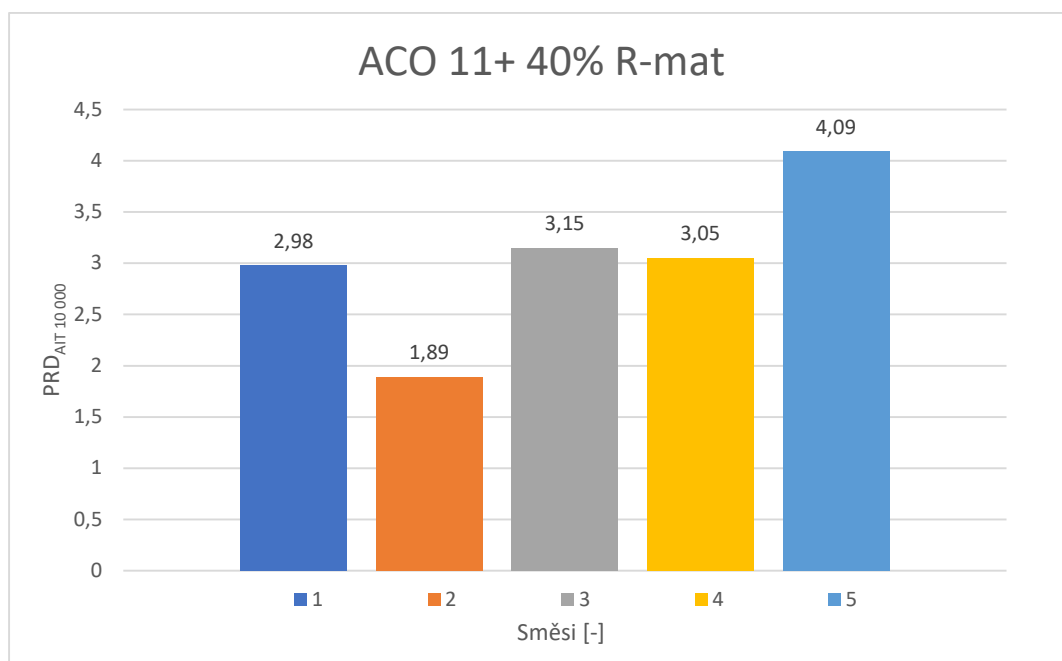
Odolnost navržených směsí vůči trvalým deformacím bylo provedeno laboratoří obalovny Dalovice Eurovia CS a.s. Princip zkoušky byl vysvětlen v přechozích kapitolách.



Obrázek 44 Vyhodnocení parametru WTS_{AIR} navržených směsí



Obrázek 43 Vyhodnocení parametru PRD_{AIR 5 000} navržených směsí



Obrázek 45 Vyhodnocení parametru $PRD_{AIR\ 10\ 000}$ navržených směsí

Z obrázků 43 44 a 45 lze pozorovat lehké zhoršení odolnosti proti trvalým deformacím u směsí s rejuvenátorem, tedy směsi 3, 4 a 5. Nejhoršího výsledku dosáhla směs s nejdelším časem míchaní směs 5. I přes lehké zhoršení u směsí s rejuvenátorem, všechny směsi vyhověly požadavkům na směsi typu ACO 11+ dle ČSN 73 6121 [3].

8.5.3 Odolnost zkušebního tělesa proti vodě – zkouška ITS_R

Pro každou směs byla vyrobena sada Marshallových těles, rozdělena do dvou skupin. Jedna skupina se udržovala na suchu při laboratorní teplotě, druhá skupina byla položena ve vodní lázni na temperovaná při vyšší teplotě. Po temperování byla na jednotlivých tělesech stanovena pevnost v příčném tahu. Výsledkem zkoušky je poměr pevnosti v tahu stanovené na skupině těles temperovaných ve vodní lázni k pevnosti stanovené na skupině těles udržovaných na vzduchu. Poměr těchto pevností je procentuálně uváděn jako ITS_R [24]

$$ITS_{w(d)} = \frac{2F}{\pi dh}$$

Kde $ITS_{w(d)}$ je pevnost v příčném tahu (kPa) stanovená na mokrých (suchých) tělesech

F maximální zatížení (N)

d průměr zkušebního tělesa (mm)

H výška zkušebního tělesa (mm)

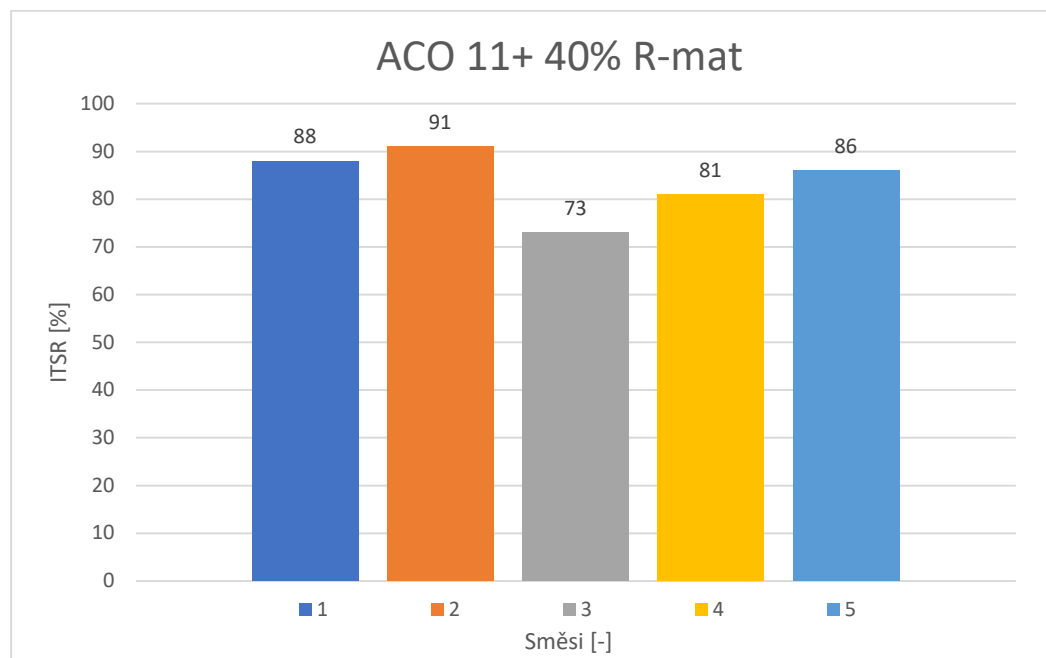
$$ITS_R = 100 \times \frac{ITS_w}{ITS_d}$$

Kde ITS_R je poměr pevnosti v příčném tahu (%)

ITS_w průměrná pevnost v příčném tahu skupiny mokrých zkušebních těles (kPa)

ITS_d průměrná pevnost v příčném tahu skupiny suchých zkušebních těles (kPa)

Zkoušku ITSR pro navržené směsi prováděla laboratoř obalovny Dalovice Eurovia CS a.s. Výsledky zkoušek jsou na obrázku 46.



Obrázek 46 Výsledky zkoušky ITSR navržených směsí

Všechny navržené směsi splnily minimální požadavek na poměr pevnosti v příčném tahu pro směsi typu ACO 11+ rovnající se 70 %.

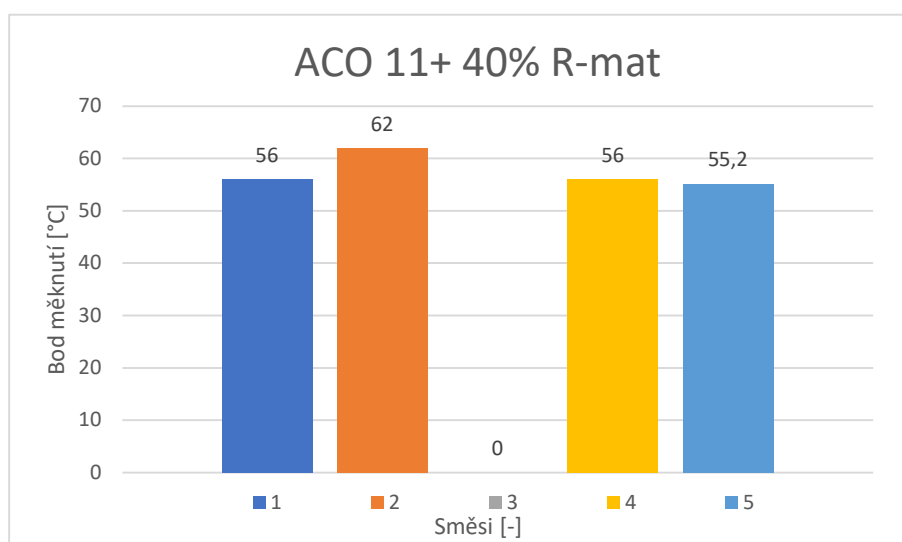
Lze pozorovat horší výsledky poměru ITSR u směsí s rejuvenátorem, tedy směsí 3,4 a 5. Zároveň je vidět pozitivní vliv délky míchaní na tento parametr u směsí s rejuvenátorem. Při nejdelší době míchaní (55 sekund) bylo dosaženo ekvivalentního výsledku k referenční směsi 1.

8.6 Zkoušky pojiv

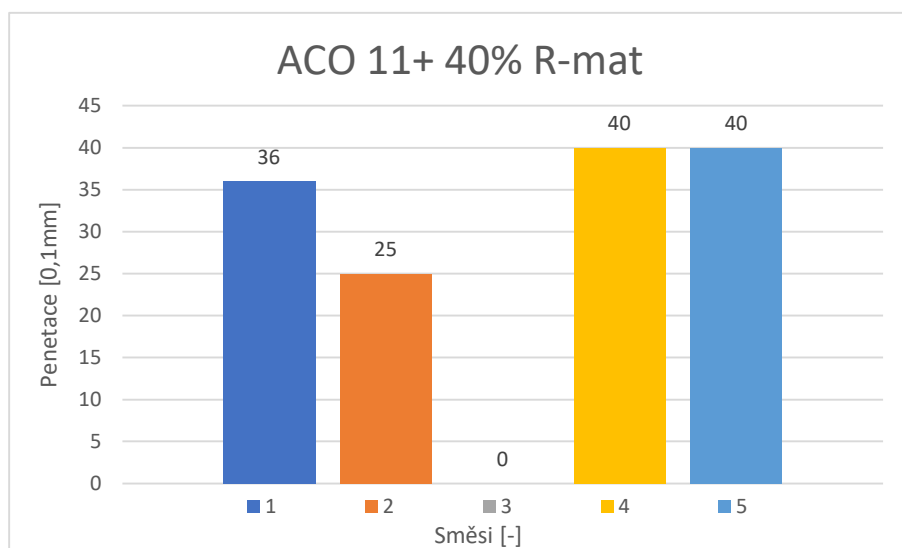
Na navržených směsích byla provedena zpětná extrakce pojiva. Extrahované pojivo bylo podrobeno zkouškám bodu měknutí pojiva a gradace pojiva.

Zkoušky byly provedeny laboratoří obalovny Dalovice Eurovia CS a.s.

Z výsledků pojiv bylo zjištěno, že vlastnosti pojiv u referenční směsi a směsí



Obrázek 48 Bod měknutí pojiv navržených směsí



Obrázek 47 Penetrace pojiv navržených směsí

s rejuvenátorem, tedy směsi 3, 4 a 5, jsou srovnatelné. Byl tedy správně proveden návrh množství rejuvenátoru.

Dále se ukázalo že, délka doby míchaní nemá výrazný vliv na vlastnosti pojiva, tedy směsi 4 a 5 měly stejné vlastnosti pojiva. Prodloužení času míchaní tedy nezpůsobilo nadměrné stárnutí pojiva nebo nezpůsobí degradaci účinků rejuvenátoru.

8.7 Vyhodnocení druhé etapy

Oživující přísada neboli rejuvenátor má výrazný vliv na zhutnitelnosti směsí, dalo by se tedy uvažovat její použití zároveň jako nízkoteplotní přísada, čímž by šlo snížit požadované teploty hutnění na stavbě.

Směsi s obsahem rejuvenátoru, směsi 3, 4 a 5, dosahovaly nižších modulů tuhostí, vůči směsí bez rejuvenátoru směsi 2. Prodloužení času míchaní u směsí rovněž vedlo ke snížení modulů tuhosti směsí.

Odolnost vůči trvalým deformacím se zhoršila u směsí s rejuvenátorem, nejhorších výsledků dosáhla směs s nejdelším časem míchaní. Navzdory zhoršení oproti referenční směsi, všechny navržené směsi vyhověly požadavkům dle ČSN 73 6121 [3] na směsí typu ACO 11+

Z výsledků zkoušek ITSr lze konstatovat, že směsi s rejuvenátorem dosáhly horších výsledků oproti referenční směsi i směsi bez rejuvenátoru. Zároveň byl patrný pozitivní vliv délky míchaní na tento parametr. Směs s nejdelším časem míchaní dosáhla ekvivalentních výsledků referenční směsi.

Z výsledků zkoušek pojiv extrahovaných z navržených směsí, bylo zjištěno, že pojivo ze směsí s rejuvenátorem dosahují srovnatelných výsledků s pojivem z referenční směsi. Dále se ukázalo že, délka doby míchaní nemá výrazný vliv na vlastnosti pojiva a nezpůsobí degradaci účinků rejuvenátoru.

9. Závěr

Z textu uvedeného v teoretické části je patrné, že opětovné použití asfaltového recyklátu do konstrukce vozovky je velice vhodné, a to jak z ekonomického, tak i ekologického hlediska.

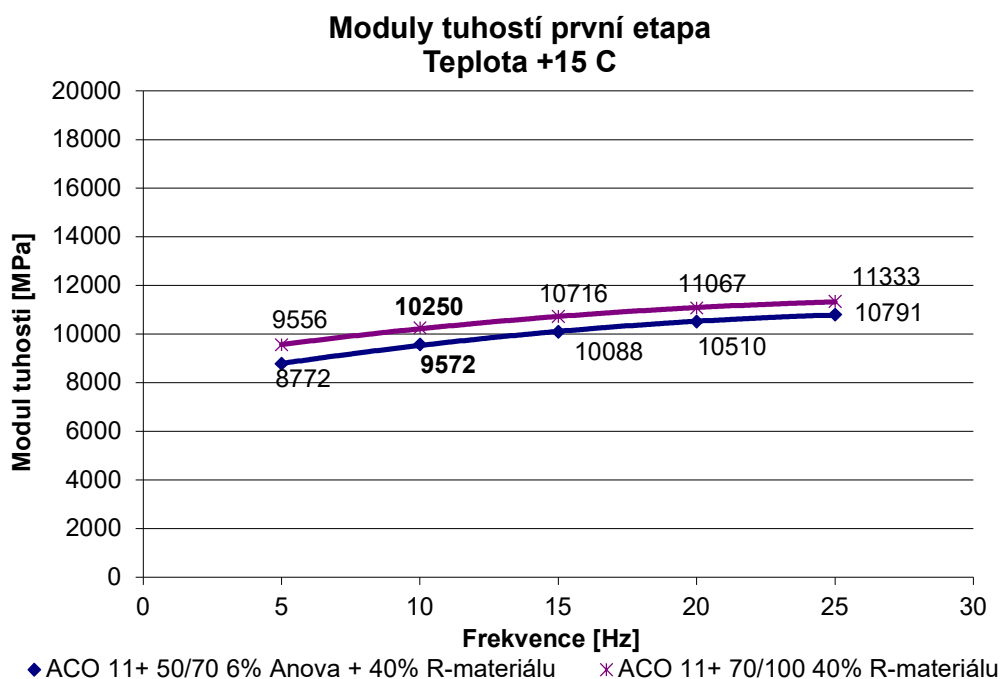
V současné době se R-materiál uplatňuje převážně při výrobě podkladních, ložních i obrusných vrstev vozovky. Dávkování R-materiálu závisí na typu navržené směsi, hlavně pak na možnostech obalovny a způsobu dávkování R-materiálu při výrobě směsi. Nejméně vhodná, ale zároveň nejrozšířenější metoda v České republice, je dávkování R-materiálu za studna do bubnu míchačky šaržové obalovny. Jako velice vhodná metoda se jeví dávkování R-materiálu do paralelního bubnu do míchačky šaržové obalovny.

Praktická část diplomové práce se zabývala návrhy a zkouška směsí s vyšším obsahem R-materiálu (40 %). Praktická část byla rozdělena na dvě etapy. Během první etapy praktické části byly navrženy dvě směsi ACO 11+ s obsahem 40 % R-materiálu. Pro první směs bylo navrženo pojivo 50/70 a oživovací přísada Anova v množství 6 %. Pro druhou směs bylo navrženo pojivo nižší gradace 70/100, měkčí pojivo mělo kompenzovat absenci oživovací přísady. Vlastnosti navržených směsí splňují požadavky dle ČSN 73 6121 [3], viz Tabulka 16.

Tabulka 16 Vlastnosti směsí první etapa

Směs	Pojivo	Objemová hmotnost	Maximální objemová hmotnost	Mezerovitost	Mezerovitost předpoklad
		[kg/m ³]	[kg/m ³]		
1	50-70	2661	2764	3,6	3,0 – 4,0
2	70-100	2677	2776	3,6	3,0 – 4,0

Na navržených směsích byly provedeny zkoušky modulů tuhosti asfaltových směsí a zkouška poježdění kolem, která reprezentuje odolnost směsí vůči únavě.



Obrázek 49 Moduly tuhosti první etapa

Pojivo nižší gradace dokázalo z části kompenzovat absenci oživovací přísady, tohoto poznatku lze využít pro další výzkum, například pro směs s obsahem 35 % R-materialu, by kompenzace měkčím pojivem mohla být dostatečná.

Výší odolnosti směsi vůči trvalým deformacím, bylo dosaženo u směsi bez oživovací přísady. Obě dvě směsi splňují požadavky dle ČSN 73 6121 [3], na směsi typu ACO 11 + dokonce i ACO 11 S.

Tabulka 17 Odolnost směsí vůči trvalým deformacím první etapa

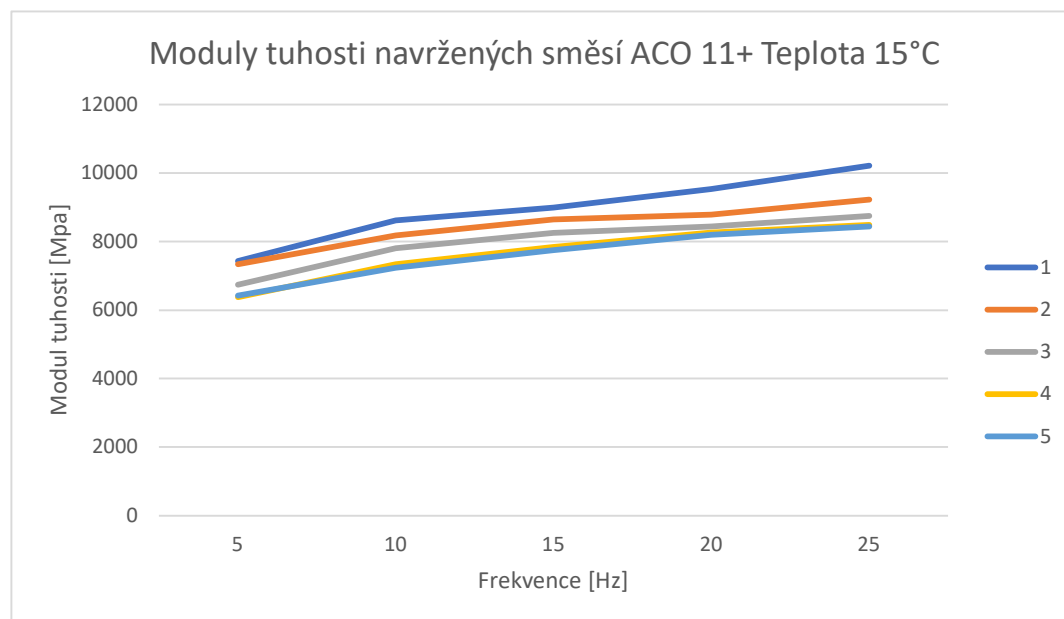
Směs	Deska	WTS _{AIR}	PRD _{AIR}
ACO 11+ 50-70 6 % Anova 40 % R-material	A1	0,040	4,40
	A2	0,036	4,37
ACO 11+ 70-100 40 % R- material	B1	0,042	4,50
	B2	0,046	4,45

Druhá etapa praktické části diplomové práce zkoumala vliv míchacího času na výsledné vlastnosti směsí s obsahem R-materiálu 40 % a oživovací přísady 7,6 %.

Tabulka 18 Navržené směsi v druhé etapě

Označení směsi	Pojivo	R-materiál [%]	Rejuvenátor Anova [%]	Čas míchaní [sec]
1 ACO 11+	50-70	-	-	25
2 ACO 11+	50-70	40	-	40
3 ACO 11+	50-70	40	7,6	25
4 ACO 11+	50-70	40	7,6	40
5 ACO 11+	50-70	40	7,6	55

Při zkouškách objemových hmotností směsí se ukázalo že, oživující přísada má velký vliv na zhutnitelnost směsí Marshallovým pěchem, lze tedy uvažovat použití přísady jako nízkoteplotní, pro snížení požadovaných hutnících teplot směsí na stavbě.



Obrázek 50 Moduly tuhosti navržených směsí v druhé etapě

Směsí s obsahem oživující přísady dosahovaly nižších modulů tuhosti než směs bez oživující přísady, zároveň prodloužený čas míchaní rovněž snižuje výsledné moduly tuhosti směsí.

Tabulka 19 Výsledky odolnosti vůči trvalým deformacím druhá etapa

Směs	WTS _{AIR} [%]	PRD _{AIR 5000} [%]	PRD _{AIR 10 000} [%]
1 ACO 11+	0,032	2,58	2,98
2 ACO 11+	0,023	1,60	1,89
3 ACO 11+	0,042	2,63	3,15
4 ACO 11+	0,045	2,49	3,05
5 ACO 11+	0,048	3,49	4,09

Odolnost směsí vůči trvalým deformacím se snížila u směsí s obsahem oživovací přísady, nejhorších hodnot dosáhla směs s nejdelším časem míchaní. I přes horší výsledky směsí, všechny splňují požadavky dle ČSN 73 6121 [3] na směsí typu ACO 11 + i ACO 11 S.

Tabulka 20 Výsledky zkoušky ITSR směsí v druhé etapě

Směs	ITSR [%]
1 ACO 11+	88
2 ACO 11+	91
3 ACO 11+	73
4 ACO 11+	81
5 ACO 11+	86

Výsledky zkoušek ITSR směsí navržených v druhé etapě ukázaly, že přítomnost oživující přísady zhoršuje výsledky zkoušky. Zároveň se ukázalo, že prodloužení času míchaní u směsí s oživující přísadou zlepšuje výsledky zkoušky. Směs, s nejdelším časem míchaní 55 sekund, dosahovala srovnatelných výsledků s referenční směsí.

Všechny směsi splnily požadavek dle ČSN 73 6121 [3], kde je pro směsí ACO 11+, minimální požadavek pro zkoušku ITSR 70 %.

Tabulka 21 Výsledky pojiv navržených směsí v druhé fázi

Směs	Bod měknutí [°C]	Penetrace [0,1mm]
1 ACO 11+	56,0	36
2 ACO 11+	62,0	25
3 ACO 11+	X	X
4 ACO 11+	56,0	40
5 ACO 11+	55,2	40

Výsledky zkoušek pojiv extrahovaných z namíchaných směsí bylo zjištěno, že pojivo ze směsí s rejuvenátorem dosahuje srovnatelných vlastností v porovnání s pojivem z referenční směsí. Bylo tedy správně navrženo množství oživující přísady.

Dále se ukázalo že prodloužení času míchání nemá výrazný vliv na vlastnosti pojiv ani nijak nedegraduje účinky oživovací přísady.

Myslím si že, když uvážíme výsledky empirických zkoušek, funkčních zkoušek a ekonomický aspekt prodlouženého času míchání nejlepší směsí je směs 4 ACO 11 + 50-70 7,6 % Anova 40 % R-mat. Potřeba nižší hutnicí teploty je benefit pro výstavbu během méně příznivého klimatického období.

Snížení modulů tuhosti s rostoucím časem míchání ukazuje na pozitivní jev, kterým je vyšší míra promíchání pojiva z R-materiálu a přidávaného pojiva, čímž se snižuje negativní efekt dvojího obalení tzv. double-coatingu.

10. Seznam použité literatury

- [1] VALENTIN, Jan. Recyklace asfaltových vozovek. Praha, 2011
- [2] Vývoj cen vybraných rop OPEC od roku 1960 do roku 2021.[Online] de.statista.com. [Citace: 13. 01 2022.] Dostupné z:
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/810/umfrage/rohoelpreisentwicklung-opec-seit-1960/>
- [3] ČSN EN 13108-1 ed. 2 (736140) Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 1: Asfaltový beton. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2008. 8596135021291.
- [4] Asfaltové směsi s vysokým obsahem R-materiálu – dosavadní zkušenosti. SILNICE MOSTY. [Online], PRAGOPROJEKT, a.s., 2016. [Citace: 13. 01 2022.] <https://www.silnice-mosty.cz/615-asfaltove-smesis-vysokym-obsahem-r-materialu-dosavadni-zkusenosti/>
- [5] Ammann group [Online] <https://www.ammann.com/cz-cz/> [Citace: 13. 01 2022.] Dostupné z:
<http://q-roads.com.qa/4W3-4March18/Session%203%20-%20Technical%20&%20Economic%20Aspects%20of%20Asphalt%20Recycling/02%20-%20ANMANN%20Group%20-%20Asphalt%20Plant%20Configuration%20for%20RAP%20Addition.pdf>
- [6] Doc. Dr. Ing. Michal Varaus Asfaltové směsi s vysokým obsahem R materiálu. Prezentace Školení o evropských a českých normách pro stavbu vozovek 2015.
- [7] Chapter 6. Hot-mix asphalt recycling - drum plant: Construction methods and equipment. Federal Highway Administration Research and Technology. [Online] U.S. Department of Transportation.
<https://www.fhwa.dot.gov/pavement/recycling/98042/06.cfm>
- [8] doc. Dr. Ing. Michal Varaus, doc. Ing. Petr Hýzl, PhD., Ing. Ondřej Dašek, PhD. (Vysoké učení technické v Brně), Ing. Petr Bureš, Ing. Tomáš

Koudelka, PhD., (EUROVIA CS a.s.) Metodika optimalizace výroby asfaltových směsí s nadlimitním množstvím R-materiálu na obalovnách s dvouplášťovým bubnem. Brno. 2021

[9] TP 208 Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena Ing. Jan Zajíček – APT SERVIS, IČ: 61980536, Martin Neuvirt, NIEVELT-Labor Praha, spol. s r.o., IČ: 60202564, Ministerstvo dopravy – OSI, 2009

[10] TP 209 Recyklace asfaltových vrstev netuhých vozovek na místě za horka NIEVELT-Labor Praha, spol. s r.o., IČ: 60202564 Ing. Václav Neuvirt, CSc., Martin Neuvirt, Ing. Jan Zajíček – APT SERVIS, IČ: 61980536, Ministerstvo dopravy – OSI, 2009

[11] Recyklace vozovek za horka, doc. Dr. Ing. Michal Varaus, [Online], [Citace: 13. 01 2022.]

[12] PAVLIČÍK, Petr. Návrhy asfaltových směsí s využitím vyššího obsahu R-materiálu. Brno, 2013. 97 s., 12 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Michal Varaus

[13] VARAUS, Michal. Recyklace netuhých vozovek [Online]. 2012, 61 s. [cit. 13.01.2022].

[14] ČSN EN 933-1. Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor. Praha: ČNI, 1998, 12 s.

[15] ČSN EN 1426 (657062). Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou. Praha: ČNI, 2016.

[16] ČSN EN 1427 (657060). Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička. Praha: ČNI, 2016.

[17] ČSN EN 12697-6 Asfaltové směsi-Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka-Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2012. 8590963916651.

- [18] ČSN EN 12697-5 Asfaltové směsi-Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka-Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2012. 8590963862187.
- [19] ČSN EN 12697-8 Asfaltové směsi-Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka-Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2004. 8590963695471.
- [20] ČSN 73 6121 Stavba vozovek – Hutněné asfaltové vrstvy – Provádění a kontrola shody. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2019. 8596135069347.
- [21] ČSN EN 12697-26 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 26: Tuhost. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2019. 8596135059713.
- [22] ČSN EN 12697-22+A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 22: Zkouška pojíždění kolem. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2008. 8590963801636.
- [23] ČSN 65 7204 (657204) Asfalty a asfaltová pojiva – Specifikace pro silniční asfalty. Praha: ÚNMZ, 2016, 28 s.
- [24] ČSN EN 12697-12 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 12: Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2019. 8596135059775.

11. Seznam obrázků

Obrázek 1 Vývoj cen vybraných rop OPEC od roku 1960 do roku 2021 [2]..	12
Obrázek 2 Šaržová obalovna s přímým dávkováním R-materiálu [5]	16
Obrázek 3 Šaržová obalovna s paralelním bubnem [6].....	17
Obrázek 4 Dávkování po proudu horkého vzduchu [6].....	18
Obrázek 5 Dávkování proti proudu horkého vzduchu [6]	18
Obrázek 6 Separovaný ohřev R-materiálu a míchaní v bubnu [7]	19
Obrázek 7 Separovaný ohřev R-materiálu a míchaní v míchačce [6]	19
Obrázek 8 Šaržová obalovna s dvouplášťovým bubnem [8]	20
Obrázek 9 Míchaní a transport směsi [9]	21
Obrázek 10 Rozehřátí pomocí infrazářičů [11]	22
Obrázek 11 Pokládka vrstvy recyklované za horka Repave [11]	23
Obrázek 12 Pracovní postup technologie Remix [12]	24
Obrázek 13 Pracovní postup technologie Remix Plus [12]	25
Obrázek 14 Schéma sestavy strojů pro recyklaci za studena [13]	28
Obrázek 15 Vrstevnatá struktura pojiva ve směsi s R-materiálem (vlevo) a bez R-materiálu (vpravo) [8]	30
Obrázek 16 Čára zrnitosti asfaltové směsi ACO 11 S [8]	32
Obrázek 17 Závislost penetrace jehlou na množství R-materiálu obsaženém v asfaltové směsi [8]	33
Obrázek 18 Závislost penetrace jehlou na fázi postupné extrakce [8]	33
Obrázek 19 Závislost bodu měknutí na množství R materiálu obsaženém v asfaltové směsi [8]	35
Obrázek 20 Závislost bodu měknutí na množství R materiálu obsaženém v asfaltové směsi [8]	35
Obrázek 21 Křivka zrnitosti HDK 8/11 Mokrý	39
Obrázek 22 Čára zrnitosti HDK 4/8 Mokrý	40
Obrázek 23 Čára zrnitosti HDK 0/4 Mokrý	40

Obrázek 24 Čára zrnitosti JMV V. Hydčice	41
Obrázek 25 Čára zrnitosti R-materiál 0/16	42
Obrázek 26 Čára zrnitosti ACO 11+ 50-70	43
Obrázek 27 Čára zrnitosti ACO 11+ 70-100	44
Obrázek 28 Marshallovo těleso	44
Obrázek 29 Trapezoid připravený ke zkoušení	45
Obrázek 30 Zhutněná deska	45
Obrázek 31 Deska po provedení zkoušky	51
Obrázek 32 Zařízení prováděcí zkoušku pojiždění kolem	51
Obrázek 33 Moduly tuhosti první směsi	52
Obrázek 34 Moduly tuhosti druhé směsi	52
Obrázek 35 Závislost hloubky vyjeté koleje na počtu cyklů, první směs	53
Obrázek 36 Závislost hloubky koleje na počtu cyklů druhá směs	53
Obrázek 37 Čára zrnitosti referenční směsi	56
Obrázek 38 Čára zrnitosti směsí s R-materiálem	56
Obrázek 39 Trapezoidy připravené ke zkoušení	59
Obrázek 40 Moduly tuhostí navržených směsí při teplotě 0 °C	60
Obrázek 41 Moduly tuhosti navržených směsí při teplotě 15 °C	60
Obrázek 42 Moduly tuhosti navržených směsí při teplotě 30 °C	61
Obrázek 43 Vyhodnocení parametru $PRD_{AIR\ 5\ 000}$ navržených směsí	62
Obrázek 44 Vyhodnocení parametru WTS_{AIR} navržených směsí	62
Obrázek 45 Vyhodnocení parametru $PRD_{AIR\ 10\ 000}$ navržených směsí	63
Obrázek 46 Výsledky zkoušky ITSR navržených směsí	65
Obrázek 47 Penetrace pojiv navržených směsí	66
Obrázek 48 Bod měknutí pojiv navržených směsí	66
Obrázek 49 Moduly tuhosti první etapa	69
Obrázek 50 Moduly tuhosti navržených směsí v druhé etapě	70

12. Seznam tabulek

Tabulka 1 Návrh množství přidávání R-materiálu do směsí ACO a VMT.....	13
Tabulka 2 Technologie studené recyklace pro vrstvy vozovek [9]	26
Tabulka 3 Sítový rozbor [8]	32
Tabulka 4 Průměrné hodnoty penetrace jehlou [8].....	33
Tabulka 5 Průměrné hodnoty bodu měknutí [8].....	34
Tabulka 6 Sítové rozborů použitého kameniva.....	39
Tabulka 7 Výsledky empirických zkoušek vstupních pojiv z rafinérie Schwedt	42
Tabulka 8 Výsledky empirických zkoušek extrahovaného pojiva z R-materiálu	42
Tabulka 9 Přehledný návrh směsí první etapa	43
Tabulka 10 Přehled vlastností asfaltových směsí	48
Tabulka 11 Míry zhutnění deskových těles	48
Tabulka 12 Výsledky odolnosti směsí vůči trvalým deformacím	53
Tabulka 13 Přehled navržených směsí v druhé etapě	55
Tabulka 14 Objemové hmotnosti směsí.....	58
Tabulka 15 Mezerovitosti směsí.....	58
Tabulka 16 Vlastnosti směsí první etapa.....	68
Tabulka 17 Odolnost směsí vůči trvalým deformacím první etapa	69
Tabulka 18 Navržené směsí v druhé etapě.....	70
Tabulka 19 Výsledky odolnosti vůči trvalým deformacím druhá etapa	71
Tabulka 20 Výsledky zkoušky ITSR směsí v druhé etapě	71
Tabulka 21 Výsledky pojiv navržených směsí v druhé fázi	72

13. Seznam příloh

Příloha 1 – Návrhy směsí, výsledky zkoušek směsí první etapy

Příloha 2 – Návrhy směsí, výsledky zkoušek směsí druhé etapy

Příloha 1

Obalovna: Dalovice
 Objednatel: EUROVIA a.s.
 Směs: ACO 11+ 40 % R 0/16 + 6 % Anova
 Návrh: 2a - Anova na studený R

Návrh asfaltové směsi: ACO 11+ 40 % R 0/16 + 6 % Anova Teplota míchání: 160 °C
 Druh asfaltu: 50/70 Teplota hutnění: 150 °C
 Hutnění: 2 x 50
 Obsah asfaltu v R-mat 3,7 %

Čára zrnitosti D_{max}= 11,0

Studené dávkování pro záměs :

	%	7000	
moučka	5,5	385,0	V. Hydčice
0/4	31,8	2226,0	Mokrý
4/8	6,0	420,0	Mokrý
8/11	18,2	1274,0	Mokrý
0/16 R	40,0	2800,0	
	0,0	0,0	
Suma	101,5	7105,0	

Síto:	Propad:	Fuller:	Rozdíl:
0,063	8,7	7,6	1,1
0,125	11	11	0
0,250	13	15	-2
0,5	18	21	-4
1	24	30	-6
2	35	43	-7
4	53	60	-7
5,6	60	71	-11
8	74	85	-11
11	94	100	-6
16	99	121	-21
22	100	141	-41

3 Marshallů dle EN Navážka na 1 Marshalla = 1290 g

2 malé pyknometry v rozpouštědle

		Celkem
Asfalt v R-materiálu	1,5	
Dávkovanýí asfalt (%):	3,9	5,4
Váha v gramech:	284	
Anova v gramech	6,3	

Obalovna: Dalovice
Objednatel: EUROVIA a.s.
Směs: ACO 11+ 40 % R 0/16
Návrh: 4a - studený R-materiál - správný filer

Návrh asfaltové směsi: ACO 11+ 40 % R 0/16
 Druh asfaltu: 70/100
 Hutnění: 2 x 50
 Obsah asfaltu v R-mat 3,7 %

Teplota míchání: 155 °C
 Teplota hutnění: 145 °C

Čára zrnitosti $D_{max} = 11,0$

Studené dávkování pro záměs :

	%	7000	
moučka	5,5	385,0	V. Hydčice
0/4	31,8	2226,0	Mokrý
4/8	6,0	420,0	Mokrý
8/11	18,2	1274,0	Mokrý
0/16 R	40,0	2800,0	
0	0,0	0,0	
Suma	101,5	7105,0	

Síto: Propad: Fuller: Rozdíl:

0,063	8,7	7,6	1,1
0,125	11	11	0
0,250	13	15	-2
0,5	18	21	-4
1	24	30	-6
2	35	43	-7
4	53	60	-7
5,6	60	71	-11
8	74	85	-11
11	94	100	-6
16	99	121	-21
22	100	141	-41

3 Marshally dle EN Navážka na 1 Marshalla = 1290 g

2 malé pyknometry v rozpouštědle

	Celkem	
Asfalt v R-materiálu	1,5	
Dávkovaný asfalt (%):	3,9	5,4
Váha v gramech:	284	
Annova	x	

ACO 11+ 70-100 +40 R-mat

Zkušební těleso (označení)	1	2	3	4	Průměr
1. Suché (g)	1289,5	1287,8	1285,6		
2. Pod vodou (g)	808,4	809,9	809,0		
3. Vlhké (g)	1291,1	1289,5	1287,4		
Obj. hmotnost $\rho_{(bssd)}$ (kg/m ³)	2 667	2 681	2 683		2 677
Mezerovitost (%)	3,9	3,4	3,3		3,6

Teplota vody 19 °C

Označení pyknometru	Stanovení I
Pyknometr prázdný m_1 (g)	687,7
Pyknometr+vzorek m_2 (g)	1809,0
Pyknometr+vzorek+voda (rozp.) m_3 (g)	3254,8
Objem pyknometru V_p (ml)	1298,6
Hustota vody (rozp.) ρ_w (kg/m ³)	1616,0
Teplota teploty (°C)	25,0
Navážka asf.směsi [ř.3 - ř.2] (g)	1121,3
Maximální objemová hmotnost ρ_{mv} (kg/m³)	2 776

ACO 11+ 50-70 6% Anova 40 % R-mat

Teplota vody 19 °C

Zkušební těleso (označení)	1	2	3	4	Průměr
Výška (mm)					
1. Suché (g)	1284,1	1283,9	1285,6		
2. Pod vodou (g)	803,9	803,0	804,2		
3. Vlhké (g)	1285,4	1284,9	1286,9		
Obj. hmotnost $\rho_{(bssd)}$ (kg/m ³)	2 663	2 660	2 659		2 661
Mezerovitost (%)	3,6	3,7	3,7		3,6

Označení pyknometru	Stanovení I	Stanovení II
Pyknometr prázdný m_1 (g)	692,9	687,7
Pyknometr+vzorek m_2 (g)	1759,8	1729,4
Pyknometr+vzorek+voda (rozp.) m_3 (g)	3275,4	3218,3
Objem pyknometru V_p (ml)	1323,408	1298,6
Hustota vody (rozp.) ρ_w (kg/m ³)	1616,0	1616,0
Teplota teploty (°C)	25,0	25,0
Navážka asf.směsi [ř.3 - ř.2] (g)	1066,9	1041,7
Maximální objemová hmotnost ρ_{mv} (kg/m³)	2 767	2 761

Vyhodnocení odolnosti vůči trvalým deformacím ACO 11+ 50/70 40% R-mat
6% Anova

Ro w	HOU R	MINU T	CYCLE S	TEMP(0,1* C)	L1(0,1m m)	L2(0,1m m)	DATU M	L1	L2
								Deska A	
0	7	45	0	441	1492	962	1506	0	0
1	7	47	50	483	1542	1008	1506	0,5	0,46
2	7	49	100	495	1559	1025	1506	0,67	0,63
3	7	51	150	495	1570	1037	1506	0,78	0,75
4	7	53	200	496	1576	1045	1506	0,84	0,83
5	7	55	250	496	1578	1051	1506	0,86	0,89
6	7	56	300	496	1582	1058	1506	0,9	0,96
7	7	58	350	497	1585	1060	1506	0,93	0,98
8	8	0	400	497	1587	1062	1506	0,95	1
9	8	2	450	497	1590	1064	1506	0,98	1,02
10	8	4	500	497	1591	1066	1506	0,99	1,04
11	8	6	550	498	1594	1069	1506	1,02	1,07
12	8	8	600	497	1595	1071	1506	1,03	1,09
13	8	10	650	498	1598	1073	1506	1,06	1,11
14	8	12	700	498	1600	1072	1506	1,08	1,1
15	8	14	750	498	1602	1075	1506	1,1	1,13
16	8	16	800	498	1602	1076	1506	1,1	1,14
17	8	18	850	498	1603	1078	1506	1,11	1,16
18	8	20	900	498	1606	1078	1506	1,14	1,16
19	8	22	950	498	1607	1081	1506	1,15	1,19
20	8	24	1000	498	1609	1080	1506	1,17	1,18
21	8	26	1050	498	1611	1082	1506	1,19	1,2
22	8	28	1100	498	1612	1085	1506	1,2	1,23
23	8	30	1150	498	1614	1084	1506	1,22	1,22
24	8	32	1200	498	1615	1086	1506	1,23	1,24
25	8	34	1250	498	1615	1086	1506	1,23	1,24
26	8	36	1300	498	1616	1087	1506	1,24	1,25
27	8	38	1350	498	1619	1087	1506	1,27	1,25
28	8	40	1400	498	1619	1089	1506	1,27	1,27
29	8	42	1450	499	1619	1089	1506	1,27	1,27
30	8	44	1500	498	1621	1091	1506	1,29	1,29
31	8	46	1550	498	1622	1090	1506	1,3	1,28
32	8	48	1600	499	1622	1092	1506	1,3	1,3
33	8	50	1650	499	1623	1093	1506	1,31	1,31
34	8	52	1700	499	1625	1093	1506	1,33	1,31
35	8	54	1750	499	1625	1094	1506	1,33	1,32
36	8	56	1800	498	1626	1095	1506	1,34	1,33
37	8	58	1850	499	1627	1095	1506	1,35	1,33
38	9	0	1900	499	1628	1094	1506	1,36	1,32
39	9	2	1950	499	1629	1097	1506	1,37	1,35
40	9	4	2000	499	1629	1097	1506	1,37	1,35
41	9	6	2050	500	1631	1098	1506	1,39	1,36
42	9	8	2100	499	1630	1099	1506	1,38	1,37

43	9	10	2150	499	1629	1097	1506	1,37	1,35
44	9	12	2200	499	1632	1099	1506	1,4	1,37
45	9	14	2250	499	1632	1099	1506	1,4	1,37
46	9	15	2300	500	1633	1100	1506	1,41	1,38
47	9	17	2350	499	1635	1101	1506	1,43	1,39
48	9	19	2400	499	1635	1100	1506	1,43	1,38
49	9	21	2450	499	1635	1101	1506	1,43	1,39
50	9	23	2500	499	1638	1101	1506	1,46	1,39
51	9	25	2550	499	1638	1102	1506	1,46	1,4
52	9	27	2600	499	1638	1102	1506	1,46	1,4
53	9	29	2650	499	1638	1101	1506	1,46	1,39
54	9	31	2700	500	1639	1103	1506	1,47	1,41
55	9	33	2750	500	1640	1101	1506	1,48	1,39
56	9	35	2800	499	1640	1101	1506	1,48	1,39
57	9	37	2850	499	1641	1103	1506	1,49	1,41
58	9	39	2900	500	1641	1101	1506	1,49	1,39
59	9	41	2950	500	1642	1104	1506	1,5	1,42
60	9	43	3000	500	1642	1104	1506	1,5	1,42
61	9	45	3050	500	1644	1106	1506	1,52	1,44
62	9	47	3100	499	1644	1105	1506	1,52	1,43
63	9	49	3150	500	1645	1106	1506	1,53	1,44
64	9	51	3200	500	1645	1106	1506	1,53	1,44
65	9	53	3250	500	1646	1106	1506	1,54	1,44
66	9	55	3300	500	1647	1106	1506	1,55	1,44
67	9	57	3350	500	1647	1105	1506	1,55	1,43
68	9	59	3400	500	1647	1108	1506	1,55	1,46
69	10	1	3450	500	1648	1107	1506	1,56	1,45
70	10	3	3500	500	1648	1108	1506	1,56	1,46
71	10	5	3550	500	1649	1107	1506	1,57	1,45
72	10	7	3600	500	1649	1108	1506	1,57	1,46
73	10	9	3650	500	1649	1110	1506	1,57	1,48
74	10	11	3700	500	1650	1109	1506	1,58	1,47
75	10	13	3750	500	1651	1108	1506	1,59	1,46
76	10	15	3800	500	1651	1109	1506	1,59	1,47
77	10	17	3850	501	1651	1109	1506	1,59	1,47
78	10	19	3900	500	1652	1110	1506	1,6	1,48
79	10	21	3950	500	1652	1109	1506	1,6	1,47
80	10	23	4000	500	1652	1111	1506	1,6	1,49
81	10	25	4050	500	1653	1110	1506	1,61	1,48
82	10	27	4100	500	1654	1111	1506	1,62	1,49
83	10	29	4150	500	1654	1111	1506	1,62	1,49
84	10	30	4200	501	1654	1112	1506	1,62	1,5
85	10	32	4250	501	1655	1112	1506	1,63	1,5
86	10	34	4300	500	1655	1113	1506	1,63	1,51
87	10	36	4350	500	1655	1111	1506	1,63	1,49
88	10	38	4400	500	1656	1112	1506	1,64	1,5
89	10	40	4450	500	1655	1113	1506	1,63	1,51
90	10	42	4500	500	1658	1114	1506	1,66	1,52

91	10	44	4550	501	1657	1114	1506	1,65	1,52
92	10	46	4600	501	1657	1113	1506	1,65	1,51
93	10	48	4650	500	1657	1112	1506	1,65	1,5
94	10	50	4700	500	1658	1114	1506	1,66	1,52
95	10	52	4750	500	1658	1113	1506	1,66	1,51
96	10	54	4800	500	1658	1114	1506	1,66	1,52
97	10	56	4850	500	1659	1113	1506	1,67	1,51
98	10	58	4900	500	1660	1116	1506	1,68	1,54
99	11	0	4950	500	1660	1116	1506	1,68	1,54
100	11	2	5000	500	1660	1115	1506	1,68	1,53
101	11	4	5050	500	1661	1114	1506	1,69	1,52
102	11	6	5100	500	1660	1116	1506	1,68	1,54
103	11	8	5150	500	1662	1117	1506	1,7	1,55
104	11	10	5200	501	1662	1114	1506	1,7	1,52
105	11	12	5250	501	1662	1117	1506	1,7	1,55
106	11	14	5300	500	1662	1117	1506	1,7	1,55
107	11	16	5350	501	1663	1117	1506	1,71	1,55
108	11	18	5400	500	1663	1117	1506	1,71	1,55
109	11	20	5450	500	1664	1118	1506	1,72	1,56
110	11	22	5500	500	1663	1117	1506	1,71	1,55
111	11	24	5550	501	1665	1117	1506	1,73	1,55
112	11	26	5600	501	1665	1118	1506	1,73	1,56
113	11	28	5650	501	1663	1118	1506	1,71	1,56
114	11	30	5700	501	1662	1117	1506	1,7	1,55
115	11	32	5750	501	1665	1118	1506	1,73	1,56
116	11	34	5800	501	1666	1116	1506	1,74	1,54
117	11	36	5850	500	1666	1118	1506	1,74	1,56
118	11	38	5900	501	1665	1119	1506	1,73	1,57
119	11	40	5950	500	1666	1119	1506	1,74	1,57
120	11	42	6000	501	1666	1116	1506	1,74	1,54
121	11	43	6050	501	1667	1120	1506	1,75	1,58
122	11	45	6100	500	1667	1120	1506	1,75	1,58
123	11	47	6150	501	1667	1119	1506	1,75	1,57
124	11	49	6200	501	1666	1119	1506	1,74	1,57
125	11	51	6250	500	1667	1119	1506	1,75	1,57
126	11	53	6300	501	1667	1121	1506	1,75	1,59
127	11	55	6350	501	1667	1121	1506	1,75	1,59
128	11	57	6400	500	1668	1119	1506	1,76	1,57
129	11	59	6450	500	1668	1120	1506	1,76	1,58
130	12	1	6500	501	1669	1121	1506	1,77	1,59
131	12	3	6550	500	1669	1122	1506	1,77	1,6
132	12	5	6600	501	1670	1119	1506	1,78	1,57
133	12	7	6650	501	1670	1121	1506	1,78	1,59
134	12	9	6700	501	1669	1121	1506	1,77	1,59
135	12	11	6750	501	1670	1121	1506	1,78	1,59
136	12	13	6800	501	1670	1120	1506	1,78	1,58
137	12	15	6850	501	1671	1122	1506	1,79	1,6
138	12	17	6900	500	1671	1123	1506	1,79	1,61

139	12	19	6950	501	1671	1123	1506	1,79	1,61
140	12	21	7000	500	1671	1122	1506	1,79	1,6
141	12	23	7050	501	1671	1123	1506	1,79	1,61
142	12	25	7100	501	1672	1123	1506	1,8	1,61
143	12	27	7150	501	1670	1125	1506	1,78	1,63
144	12	29	7200	501	1672	1124	1506	1,8	1,62
145	12	31	7250	501	1671	1125	1506	1,79	1,63
146	12	33	7300	501	1672	1125	1506	1,8	1,63
147	12	35	7350	500	1673	1125	1506	1,81	1,63
148	12	37	7400	501	1673	1125	1506	1,81	1,63
149	12	39	7450	500	1673	1126	1506	1,81	1,64
150	12	41	7500	501	1673	1126	1506	1,81	1,64
151	12	43	7550	501	1673	1126	1506	1,81	1,64
152	12	45	7600	501	1673	1128	1506	1,81	1,66
153	12	47	7650	501	1674	1127	1506	1,82	1,65
154	12	49	7700	501	1673	1127	1506	1,81	1,65
155	12	51	7750	500	1673	1127	1506	1,81	1,65
156	12	53	7800	501	1675	1127	1506	1,83	1,65
157	12	55	7850	500	1675	1127	1506	1,83	1,65
158	12	57	7900	501	1675	1127	1506	1,83	1,65
159	12	58	7950	500	1673	1128	1506	1,81	1,66
160	13	0	8000	501	1675	1128	1506	1,83	1,66
161	13	2	8050	501	1676	1128	1506	1,84	1,66
162	13	4	8100	500	1677	1128	1506	1,85	1,66
163	13	6	8150	500	1675	1129	1506	1,83	1,67
164	13	8	8200	500	1676	1128	1506	1,84	1,66
165	13	10	8250	500	1676	1129	1506	1,84	1,67
166	13	12	8300	501	1676	1130	1506	1,84	1,68
167	13	14	8350	501	1675	1130	1506	1,83	1,68
168	13	16	8400	501	1676	1129	1506	1,84	1,67
169	13	18	8450	501	1677	1129	1506	1,85	1,67
170	13	20	8500	500	1676	1130	1506	1,84	1,68
171	13	22	8550	500	1677	1131	1506	1,85	1,69
172	13	24	8600	500	1677	1130	1506	1,85	1,68
173	13	26	8650	500	1677	1129	1506	1,85	1,67
174	13	28	8700	501	1677	1131	1506	1,85	1,69
175	13	30	8750	501	1677	1130	1506	1,85	1,68
176	13	32	8800	501	1677	1131	1506	1,85	1,69
177	13	34	8850	501	1679	1130	1506	1,87	1,68
178	13	36	8900	500	1678	1132	1506	1,86	1,7
179	13	38	8950	501	1679	1131	1506	1,87	1,69
180	13	40	9000	501	1681	1131	1506	1,89	1,69
181	13	42	9050	500	1677	1132	1506	1,85	1,7
182	13	44	9100	501	1678	1132	1506	1,86	1,7
183	13	46	9150	501	1679	1132	1506	1,87	1,7
184	13	48	9200	501	1679	1132	1506	1,87	1,7
185	13	50	9250	500	1678	1133	1506	1,86	1,71
186	13	52	9300	501	1680	1132	1506	1,88	1,7

187	13	54	9350	500	1679	1133	1506	1,87	1,71
188	13	56	9400	501	1680	1133	1506	1,88	1,71
189	13	58	9450	501	1679	1133	1506	1,87	1,71
190	14	0	9500	501	1680	1133	1506	1,88	1,71
191	14	2	9550	501	1678	1134	1506	1,86	1,72
192	14	4	9600	501	1680	1134	1506	1,88	1,72
193	14	6	9650	501	1680	1134	1506	1,88	1,72
194	14	8	9700	501	1681	1134	1506	1,89	1,72
195	14	10	9750	501	1680	1134	1506	1,88	1,72
196	14	12	9800	501	1681	1132	1506	1,89	1,7
197	14	13	9850	501	1681	1133	1506	1,89	1,71
198	14	15	9900	501	1681	1133	1506	1,89	1,71
199	14	17	9950	501	1681	1134	1506	1,89	1,72
200	14	19	10000	500	1680	1133	1506	1,88	1,71

Vyhodnocení odolnosti vůči trvalým deformacím ACO 11+ 70-100 40 % R-mat

Row	HOUR	MINUT	CYCLES	TEMP(0,1*°C)	L1(0,1mm)	L2(0,1mm)	DATUM	L1	L2 Deska
								Deska B	C
0	8	2	0	425	1457	944	2406	0	0
1	8	4	50	466	1511	992	2406	0,54	0,48
2	8	6	100	492	1527	1006	2406	0,7	0,62
3	8	8	150	495	1534	1012	2406	0,77	0,68
4	8	10	200	495	1539	1018	2406	0,82	0,74
5	8	12	250	495	1542	1022	2406	0,85	0,78
6	8	14	300	496	1545	1027	2406	0,88	0,83
7	8	16	350	495	1548	1030	2406	0,91	0,86
8	8	18	400	497	1552	1033	2406	0,95	0,89
9	8	20	450	496	1555	1037	2406	0,98	0,93
10	8	22	500	496	1556	1037	2406	0,99	0,93
11	8	24	550	496	1559	1040	2406	1,02	0,96
12	8	26	600	497	1562	1041	2406	1,05	0,97
13	8	28	650	498	1564	1042	2406	1,07	0,98
14	8	30	700	498	1565	1044	2406	1,08	1
15	8	32	750	497	1567	1044	2406	1,1	1
16	8	34	800	498	1570	1046	2406	1,13	1,02
17	8	36	850	498	1571	1048	2406	1,14	1,04
18	8	38	900	498	1571	1048	2406	1,14	1,04
19	8	40	950	498	1574	1049	2406	1,17	1,05
20	8	42	1000	498	1575	1050	2406	1,18	1,06
21	8	44	1050	498	1575	1051	2406	1,18	1,07
22	8	46	1100	497	1576	1051	2406	1,19	1,07
23	8	48	1150	498	1577	1052	2406	1,2	1,08
24	8	50	1200	498	1580	1055	2406	1,23	1,11
25	8	52	1250	499	1582	1057	2406	1,25	1,13
26	8	54	1300	499	1583	1057	2406	1,26	1,13
27	8	56	1350	498	1584	1058	2406	1,27	1,14
28	8	58	1400	499	1584	1058	2406	1,27	1,14
29	9	0	1450	498	1585	1058	2406	1,28	1,14
30	9	2	1500	499	1586	1059	2406	1,29	1,15
31	9	4	1550	499	1588	1061	2406	1,31	1,17
32	9	6	1600	499	1587	1061	2406	1,3	1,17
33	9	8	1650	498	1590	1063	2406	1,33	1,19
34	9	9	1700	499	1590	1063	2406	1,33	1,19
35	9	11	1750	499	1592	1065	2406	1,35	1,21
36	9	13	1800	499	1592	1064	2406	1,35	1,2
37	9	15	1850	499	1593	1065	2406	1,36	1,21
38	9	17	1900	499	1595	1067	2406	1,38	1,23
39	9	19	1950	498	1595	1067	2406	1,38	1,23
40	9	21	2000	499	1595	1067	2406	1,38	1,23
41	9	23	2050	499	1597	1069	2406	1,4	1,25
42	9	25	2100	499	1598	1071	2406	1,41	1,27
43	9	27	2150	499	1597	1070	2406	1,4	1,26

44	9	29	2200	500	1598	1070	2406	1,41	1,26
45	9	31	2250	499	1599	1071	2406	1,42	1,27
46	9	33	2300	499	1600	1071	2406	1,43	1,27
47	9	35	2350	499	1601	1073	2406	1,44	1,29
48	9	37	2400	499	1602	1074	2406	1,45	1,3
49	9	39	2450	499	1602	1074	2406	1,45	1,3
50	9	41	2500	501	1603	1075	2406	1,46	1,31
51	9	43	2550	499	1604	1076	2406	1,47	1,32
52	9	45	2600	499	1606	1076	2406	1,49	1,32
53	9	47	2650	500	1606	1078	2406	1,49	1,34
54	9	49	2700	499	1606	1077	2406	1,49	1,33
55	9	51	2750	500	1607	1078	2406	1,5	1,34
56	9	53	2800	500	1608	1080	2406	1,51	1,36
57	9	55	2850	500	1607	1079	2406	1,5	1,35
58	9	57	2900	499	1608	1079	2406	1,51	1,35
59	9	59	2950	499	1609	1080	2406	1,52	1,36
60	10	1	3000	500	1611	1080	2406	1,54	1,36
61	10	3	3050	500	1610	1081	2406	1,53	1,37
62	10	5	3100	500	1611	1084	2406	1,54	1,4
63	10	7	3150	500	1613	1085	2406	1,56	1,41
64	10	9	3200	500	1612	1085	2406	1,55	1,41
65	10	11	3250	500	1614	1085	2406	1,57	1,41
66	10	13	3300	500	1614	1085	2406	1,57	1,41
67	10	15	3350	500	1614	1086	2406	1,57	1,42
68	10	17	3400	500	1615	1087	2406	1,58	1,43
69	10	19	3450	500	1615	1086	2406	1,58	1,42
70	10	21	3500	500	1614	1086	2406	1,57	1,42
71	10	23	3550	500	1617	1088	2406	1,6	1,44
72	10	24	3600	501	1616	1088	2406	1,59	1,44
73	10	26	3650	500	1616	1089	2406	1,59	1,45
74	10	28	3700	499	1617	1089	2406	1,6	1,45
75	10	30	3750	500	1618	1088	2406	1,61	1,44
76	10	32	3800	500	1619	1089	2406	1,62	1,45
77	10	34	3850	500	1619	1089	2406	1,62	1,45
78	10	36	3900	500	1619	1090	2406	1,62	1,46
79	10	38	3950	500	1620	1091	2406	1,63	1,47
80	10	40	4000	500	1620	1091	2406	1,63	1,47
81	10	42	4050	500	1621	1091	2406	1,64	1,47
82	10	44	4100	500	1622	1093	2406	1,65	1,49
83	10	46	4150	500	1623	1092	2406	1,66	1,48
84	10	48	4200	500	1623	1093	2406	1,66	1,49
85	10	50	4250	501	1622	1092	2406	1,65	1,48
86	10	52	4300	501	1623	1094	2406	1,66	1,5
87	10	54	4350	500	1624	1095	2406	1,67	1,51
88	10	56	4400	500	1624	1095	2406	1,67	1,51
89	10	58	4450	500	1624	1095	2406	1,67	1,51
90	11	0	4500	500	1625	1097	2406	1,68	1,53
91	11	2	4550	501	1626	1096	2406	1,69	1,52

92	11	4	4600	500	1625	1096	2406	1,68	1,52
93	11	6	4650	500	1625	1097	2406	1,68	1,53
94	11	8	4700	500	1627	1098	2406	1,7	1,54
95	11	10	4750	500	1627	1098	2406	1,7	1,54
96	11	12	4800	501	1628	1099	2406	1,71	1,55
97	11	14	4850	500	1627	1098	2406	1,7	1,54
98	11	16	4900	501	1628	1099	2406	1,71	1,55
99	11	18	4950	501	1628	1099	2406	1,71	1,55
100	11	20	5000	501	1629	1098	2406	1,72	1,54
101	11	22	5050	501	1629	1101	2406	1,72	1,57
102	11	24	5100	501	1629	1102	2406	1,72	1,58
103	11	26	5150	501	1629	1100	2406	1,72	1,56
104	11	28	5200	500	1629	1100	2406	1,72	1,56
105	11	30	5250	501	1630	1101	2406	1,73	1,57
106	11	32	5300	501	1630	1101	2406	1,73	1,57
107	11	34	5350	500	1632	1103	2406	1,75	1,59
108	11	36	5400	500	1632	1103	2406	1,75	1,59
109	11	38	5450	500	1631	1103	2406	1,74	1,59
110	11	39	5500	501	1632	1104	2406	1,75	1,6
111	11	41	5550	500	1631	1102	2406	1,74	1,58
112	11	43	5600	501	1633	1104	2406	1,76	1,6
113	11	45	5650	500	1634	1105	2406	1,77	1,61
114	11	47	5700	500	1632	1104	2406	1,75	1,6
115	11	49	5750	500	1634	1105	2406	1,77	1,61
116	11	51	5800	500	1633	1104	2406	1,76	1,6
117	11	53	5850	500	1634	1106	2406	1,77	1,62
118	11	55	5900	501	1634	1105	2406	1,77	1,61
119	11	57	5950	501	1634	1106	2406	1,77	1,62
120	11	59	6000	501	1634	1105	2406	1,77	1,61
121	12	1	6050	501	1635	1108	2406	1,78	1,64
122	12	3	6100	501	1635	1106	2406	1,78	1,62
123	12	5	6150	501	1636	1107	2406	1,79	1,63
124	12	7	6200	501	1636	1106	2406	1,79	1,62
125	12	9	6250	500	1634	1106	2406	1,77	1,62
126	12	11	6300	501	1636	1108	2406	1,79	1,64
127	12	13	6350	500	1636	1107	2406	1,79	1,63
128	12	15	6400	500	1637	1109	2406	1,8	1,65
129	12	17	6450	501	1637	1109	2406	1,8	1,65
130	12	19	6500	501	1637	1108	2406	1,8	1,64
131	12	21	6550	501	1637	1109	2406	1,8	1,65
132	12	23	6600	501	1638	1109	2406	1,81	1,65
133	12	25	6650	501	1639	1110	2406	1,82	1,66
134	12	27	6700	501	1639	1110	2406	1,82	1,66
135	12	29	6750	500	1638	1110	2406	1,81	1,66
136	12	31	6800	501	1639	1110	2406	1,82	1,66
137	12	33	6850	501	1640	1109	2406	1,83	1,65
138	12	35	6900	501	1640	1112	2406	1,83	1,68
139	12	37	6950	500	1640	1113	2406	1,83	1,69

140	12	39	7000	501	1640	1112	2406	1,83	1,68
141	12	41	7050	501	1640	1111	2406	1,83	1,67
142	12	43	7100	500	1641	1112	2406	1,84	1,68
143	12	45	7150	501	1640	1112	2406	1,83	1,68
144	12	47	7200	501	1640	1112	2406	1,83	1,68
145	12	49	7250	500	1640	1110	2406	1,83	1,66
146	12	51	7300	501	1642	1114	2406	1,85	1,7
147	12	53	7350	501	1642	1112	2406	1,85	1,68
148	12	54	7400	501	1642	1113	2406	1,85	1,69
149	12	56	7450	501	1641	1112	2406	1,84	1,68
150	12	58	7500	500	1644	1114	2406	1,87	1,7
151	13	0	7550	501	1643	1113	2406	1,86	1,69
152	13	2	7600	501	1642	1113	2406	1,85	1,69
153	13	4	7650	501	1644	1114	2406	1,87	1,7
154	13	6	7700	501	1643	1114	2406	1,86	1,7
155	13	8	7750	500	1644	1114	2406	1,87	1,7
156	13	10	7800	501	1644	1115	2406	1,87	1,71
157	13	12	7850	501	1644	1115	2406	1,87	1,71
158	13	14	7900	500	1643	1113	2406	1,86	1,69
159	13	16	7950	501	1643	1115	2406	1,86	1,71
160	13	18	8000	501	1644	1114	2406	1,87	1,7
161	13	20	8050	501	1644	1115	2406	1,87	1,71
162	13	22	8100	501	1645	1117	2406	1,88	1,73
163	13	24	8150	501	1644	1116	2406	1,87	1,72
164	13	26	8200	500	1645	1115	2406	1,88	1,71
165	13	28	8250	501	1646	1115	2406	1,89	1,71
166	13	30	8300	501	1646	1115	2406	1,89	1,71
167	13	32	8350	501	1645	1115	2406	1,88	1,71
168	13	34	8400	501	1646	1115	2406	1,89	1,71
169	13	36	8450	500	1644	1113	2406	1,87	1,69
170	13	38	8500	501	1646	1115	2406	1,89	1,71
171	13	40	8550	501	1646	1116	2406	1,89	1,72
172	13	42	8600	501	1646	1116	2406	1,89	1,72
173	13	44	8650	501	1647	1116	2406	1,9	1,72
174	13	46	8700	501	1646	1115	2406	1,89	1,71
175	13	48	8750	500	1646	1117	2406	1,89	1,73
176	13	50	8800	500	1648	1117	2406	1,91	1,73
177	13	52	8850	501	1646	1117	2406	1,89	1,73
178	13	54	8900	501	1649	1118	2406	1,92	1,74
179	13	56	8950	501	1649	1118	2406	1,92	1,74
180	13	58	9000	501	1648	1117	2406	1,91	1,73
181	14	0	9050	501	1649	1117	2406	1,92	1,73
182	14	2	9100	501	1648	1118	2406	1,91	1,74
183	14	4	9150	501	1648	1120	2406	1,91	1,76
184	14	6	9200	501	1648	1119	2406	1,91	1,75
185	14	7	9250	500	1649	1117	2406	1,92	1,73
186	14	9	9300	501	1648	1119	2406	1,91	1,75
187	14	11	9350	500	1649	1119	2406	1,92	1,75

188	14	13	9400	501	1648	1120	2406	1,91	1,76
189	14	15	9450	501	1649	1119	2406	1,92	1,75
190	14	17	9500	501	1649	1120	2406	1,92	1,76
191	14	19	9550	501	1649	1120	2406	1,92	1,76
192	14	21	9600	501	1650	1121	2406	1,93	1,77
193	14	23	9650	501	1650	1122	2406	1,93	1,78
194	14	25	9700	501	1650	1120	2406	1,93	1,76
195	14	27	9750	501	1649	1121	2406	1,92	1,77
196	14	29	9800	501	1650	1121	2406	1,93	1,77
197	14	31	9850	501	1650	1121	2406	1,93	1,77
198	14	33	9900	501	1651	1122	2406	1,94	1,78
199	14	35	9950	501	1651	1122	2406	1,94	1,78
200	14	37	10000	501	1650	1121	2406	1,93	1,77

Příloha 2

Obalovna: Dalovice
 Objednatel: EUROVIA a.s.
 Směs: ACO 11 +
 Návrh: 3

Návrh asfaltové směsi: ACO 11 +
 Druh asfaltu: 50/70
 Hutnění: 2 x 50

Teplota míchání: 160 °C
 Teplota hutnění: 150 °C

Čára zrnitosti $D_{max}= 11,0$

Studené dávkování pro záměs :

	%	7000	
moučka	9,5	665,0	V. Hydčice
0-4	46,0	3220,0	Mokrá
4-8	17,0	1190,0	Mokrá
8-11	27,5	1925,0	Mokrá
8-16	0,0	0,0	
16-22	0,0	0,0	
Suma	100,0	7000,0	

Síto: Propad: Fuller: Rozdíl:

0,063	8,4	7,6	0,8
0,125	11	11	0
0,250	13	15	-2
0,5	18	21	-3
1	26	30	-5
2	38	43	-5
4	56	60	-5
5,6	60	71	-11
8	76	85	-9
11	98	100	-2
16	100	121	-21
22	100	141	-41

3 Marshally dle EN

Navážka na 1 Marshalla = 1270 g

Malý pyknometr ve vodě dle EN 2x

Malý pyknometr v rozpuštědle dle ČSN 1x

Dávkování asfaltu (%): 5,6
 Váha v gramech: 415

Obalovna: Dalovice
Objednatel: EUROVIA a.s.
Směs: ACO 11+ 40 % R 0/16 + 6 % Anova
Návrh: 2a - Anova na studený R

Návrh asfaltové směsi: ACO 11+ 40 % R 0/16 + 6 % Anova Teplota míchání: 160 °C
 Druh asfaltu: 50/70 Teplota hutnění: 150 °C
 Hutnění: 2 x 50
 Obsah asfaltu v R-mat 3,7 %

Čára zrnitosti $D_{max}= 11,0$

Studené dávkování pro záměs :

	%	7000	
moučka	5,5	385,0	V. Hydčice
0/4	31,8	2226,0	Mokrý
4/8	6,0	420,0	Mokrý
8/11	18,2	1274,0	Mokrý
0/16 R	40,0	2800,0	
	0,0	0,0	
Suma	101,5	7105,0	

Síto: Propad: Fuller: Rozdíl:

0,063	8,7	7,6	1,1
0,125	11	11	0
0,250	13	15	-2
0,5	18	21	-4
1	24	30	-6
2	35	43	-7
4	53	60	-7
5,6	60	71	-11
8	74	85	-11
11	94	100	-6
16	99	121	-21
22	100	141	-41

3 Marshally dle EN Navážka na 1 Marshalla = 1290 g

2 malé pyknometry v rozpouštědle

		Celkem
Asfalt v R-materiálu	1,5	
Dávkovaný asfalt (%):	3,9	5,4
Váha v gramech:	284	
Anova v gramech	6,3	

Zkušební těleso (označení)	1	2	3	4	Průměr
Výška (mm)					
1. Suché (g)	1284,1	1283,9	1285,6		
2. Pod vodou (g)	803,9	803,0	804,2		
3. Vlhké (g)	1285,4	1284,9	1286,9		
Obj. hmotnost $\rho_{(bssd)}$ (kg/m ³)	2 663	2 660	2 659		2 661
Mezerovitost (%)	3,6	3,7	3,7		3,6

Označení pyknometru	Stanovení I	Stanovení II
Pyknometr prázdný m_1 (g)	692,9	687,7
Pyknometr+vzorek m_2 (g)	1759,8	1729,4
Pyknometr+vzorek+voda (rozp.) m_3 (g)	3275,4	3218,3
Objem pyknometru V_p (ml)	1323,408	1298,6
Hustota vody (rozp.) ρ_w (kg/m ³)	1616,0	1616,0
Teplota temperace (°C)	25,0	25,0
Navážka asf.směsi [ř.3 - ř.2] (g)	1066,9	1041,7
Maximální objemová hmotnost ρ_{mv} (kg/m³)	2 767	2 761

Označení	Rozměry těles							Hmotnost
	L [mm]	h1 [mm]	h2 [mm]	t1 [mm]	t2 [mm]	t3 [mm]	Prům [mm]	m [g]
A1	252,8	69,9	25,4	54,6	54,3	54	54,3	1725,1
A2	225,7	69,43	24,95	54,6	54,1	54,5	54,4	1677,7
A3	253,3	70,1	26	53,9	54,7	54,7	54,4	1718,3
A4	252,8	70,3	26,1	53,6	54,3	54,4	54,1	1695,1
A5	205,7	69,6	24,8	53,6	54,3	54,6	54,2	1677,5
B1	252,4	69,7	25,9	53,8	54,7	54,5	54,3	1700,7
B2	252,1	70,4	26	54,3	54,5	53,3	54,0	1696
B3	251,6	69,1	24,9	54,8	54,9	53,6	54,4	1708,9
B4	250,7	70,4	26,6	53,4	54,3	54,5	54,1	1684,6
B5	251,5	71,4	26,5	54,4	55	54,9	54,8	1739,3
C1	252,9	70,1	26,1	53,8	54,6	54,3	54,2	1736,6
C2	252,5	70,8	26,1	54	54,1	53,3	53,8	1745,9
C3	252,1	70,3	26,6	53	53,7	53,6	53,4	1676,4
C4	251,5	70,6	26,2	53,3	53,9	53,5	53,6	1645,9
C5	252,3	70,9	26,8	53,1	53,9	54,1	53,7	1712,5
D1	252,8	70,5	26	53,4	53,9	54	53,8	1738,2
D2	252,1	70,5	25,8	54	53,9	53,4	53,8	1734
D3	251,6	70,6	25,8	53,3	53,4	53,4	53,4	1698
D4	253,1	70,7	26,6	53,8	54	54,9	54,2	1732,1
D5	252	70,5	25,9	53,3	53,5	53,9	53,6	1706,9
E1	250,9	70,9	26,6	24,6	54,9	54,8	44,8	1696,2
E2	250,7	69,5	25,1	53,9	54,5	54,6	54,3	1657,8
E3	251,47	70,5	25,7	54,4	54,7	54,5	54,5	1660,8
E4	251,3	70,2	25,9	54,3	54,2	53,2	53,9	1646,4
E5	251	70,6	26,3	54,6	54,3	53,6	54,2	1670,6

Označení	Směs	Teplota 0 C				
		5	10	15	20	25
A1	ACO 16+ bez R-mat, bez rejuvenáru, čas míchaní 25 sec	12799	13439	13902	14211	14464
A2		11945	12672	12932	13167	13599
A3		12615	13175	13858	13941	14191
A4		12060	13789	14509	14265	14506
A5		11472	12479	12366	13005	13221
Průměr		12178	13111	13513	13718	13996
B1	ACO 16+ 40% R-mat, rejuvenátor, čas míchaní 25 sec	10526	11363	11840	12371	12447
B2		10314	11183	11315	11741	12245
B3		11438	12427	12709	13151	13226
B4		10198	10755	11082	11534	11786
B5		10249	10786	11114	11446	11570
Průměr		10545	11303	11612	12049	12255
C1	ACO 16+ 40% R-mat, rejuvenátor, čas míchaní 40 sec	12197	13012	13246	13667	13879
C2		12735	13385	13622	13939	14203
C3		10418	11040	11566	11660	11854
C4		9869	10374	10841	11125	11137
C5		10729	11255	11800	12157	12426
Průměr		11190	11813	12215	12510	12700
D1	ACO 16+ 40% R-mat, rejuvenátor, čas míchaní 55 sec	10521	11132	11415	11805	11938
D2		8973	9302	9326	9566	10023
D3		9992	10235	10714	10931	11546
D4		9117	9711	9709	9986	10127
D5		11804	12984	13438	14203	13930
Průměr		10081	10673	10920	11298	11513
E1	ACO 16+ 40% R-mat, bez rejuvenátoru, čas míchaní 25 sec	11156	11494	11999	12322	12433
E2		9652	10155	10429	10707	10813
E3		11653	12101	12557	13147	13312
E4		11863	12233	12433	13077	12934
E5		10055	10379	10354	10807	10932
Průměr		10876	11272	11554	12012	12085

Označení	Směs	Teplota 15 C				
		5	10	15	20	25
A1	ACO 16+ bez R-mat, bez rejuvenáru, čas míchaní 25 sec	7834	9292	9628	10625	11907
A2		7359	8804	8944	9446	9628
A3		7410	8516	8834	9159	10549
A4		7307	8365	8824	9383	9642
A5		7251	8109	8738	9048	9335
Průměr		7432	8617	8994	9532	10212
B1	ACO 16+ 40% R-mat, rejuvenátor, čas míchaní 25 sec	7317	8489	9216	9405	9593
B2		6758	8089	8532	8655	8986
B3		7051	8042	8522	8881	9256
B4		6417	7368	7597	7756	7955
B5		6144	7028	7404	7494	7964
Průměr		6737	7803	8254	8438	8751
C1	ACO 16+ 40% R-mat, rejuvenátor, čas míchaní 40 sec	6551	7798	8094	8376	8956
C2		6959	7922	8240	9039	9065
C3		6300	7260	8146	8633	8804
C4		5599	6471	6997	7012	7288
C5		6484	7256	7740	8231	8326
Průměr		6379	7341	7843	8258	8488
D1	ACO 16+ 40% R-mat, rejuvenátor, čas míchaní 55 sec	6570	7489	8103	8486	8731
D2		6280	7140	7638	8023	8351
D3		6463	7245	7817	8360	8462
D4		6498	7236	7686	8178	8433
D5		6296	7052	7497	7939	8215
Průměr		6421	7232	7748	8197	8438
E1	ACO 16+ 40% R-mat, bez rejuvenátoru, čas míchaní 25 sec	7332	8050	8459	8832	9194
E2		7749	8510	8949	8874	9382
E3		7208	8011	8664	8818	9155
E4		6887	7904	8223	8367	9117
E5		7502	8415	8928	9045	9286
Průměr		7336	8178	8645	8787	9227

Označení	Směs	Teplota 30 C				
		5	10	15	20	25
A1	ACO 16+ bez R-mat, bez rejuvenáru, čas míchaní 25 sec	5133	5442	6682	8569	6742
A2		2888	3654	4627	5105	4978
A3		5046	5230	5907	6080	7468
A4		2865	4234	3850	4776	4935
A5		2639	3229	3572	3903	4219
Průměr		3714	4358	4928	5687	5668
B1	ACO 16+ 40% R-mat, rejuvenátor, čas míchaní 25 sec	1963	2315	2532	2645	2737
B2		2044	2330	2554	2802	2904
B3		2378	2908	3231	3590	3725
B4		1751	2068	2274	2527	2594
B5		1933	2295	2513	2690	2790
Průměr		2014	2383	2621	2851	2950
C1	ACO 16+ 40% R-mat, rejuvenátor, čas míchaní 40 sec	1971	2313	2504	2653	2707
C2		2020	2318	2560	2676	2792
C3		1756	2092	2232	2315	2453
C4		1785	2080	2241	2506	2535
C5		1786	2043	2191	2289	2386
Průměr		1864	2169	2346	2488	2575
D1	ACO 16+ 40% R-mat, rejuvenátor, čas míchaní 55 sec	2762	3322	3751	4059	4203
D2		2614	3135	3581	3907	4242
D3		2636	3174	3492	3912	4161
D4		2655	3119	3583	3737	4036
D5		2619	3238	3726	4001	4203
Průměr		2657	3198	3627	3923	4169
E1	ACO 16+ 40% R-mat, bez rejuvenátoru, čas míchaní 25 sec	3465	3969	4219	4603	4836
E2		3273	3883	4333	4529	4680
E3		3416	4041	4302	4601	4790
E4		3274	3858	4216	4648	4761
E5		3330	3974	4409	4630	4894
Průměr		3352	3945	4296	4602	4792