

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

NÁVRHY ASFALTOVÝCH SMĚSÍ S VYUŽITÍM VYŠŠÍHO OBSAHU R-MATERIÁLU

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PETR PAVLIČÍK

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

NÁVRHY ASFALTOVÝCH SMĚSÍ S VYUŽITÍM VYŠŠÍHO OBSAHU R-MATERIÁLU

DESIGN OF ASPHALT MIXTURES WITH THE USE OF HIGHER AMOUNT OF RAP

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PETR PAVLIČÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Dr. Ing. MICHAL VARAUS

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. PETR PAVLIČÍK
Název	Návrhy asfaltových směsí s využitím vyššího obsahu R-materiálu
Vedoucí diplomové práce	doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2012
Datum odevzdání diplomové práce	11. 1. 2013
V Brně dne 31. 3. 2012	

.....
doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Výrobkové normy řady ČSN EN 13108

Zkušební normy pro asfaltové směsi za horka řady ČSN EN 12697

ČSN 736160 Zkoušení asfaltových směsí

ČSN 736121 Hutněné asfaltové vrstvy

Sborníky z konferencí Asfaltové vozovky 2007, 2009, 2011

Zásady pro vypracování

Cílem diplomové práce je návrh asfaltových směsí s vyšším obsahem R-materiálu. V úvodní rešeršní části bude proveden přehled dosavadních technologií zpracování R-materiálu na obalovně. Praktická část práce bude zaměřena na návrh asfaltových směsí ložních nebo podkladních vrstev s různým obsahem R-materiálu a porovnání výsledných parametrů navržených směsí.

Předepsané přílohy

.....
doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

V úvodu diplomové práce jsou uvedeny možnosti získávání a zpracování asfaltového recyklátu. Hlavním bodem práce je návrh asfaltových směsí s využitím vyššího obsahu R-materiálu pro ložní asfaltové vrstvy. Asfaltové směsi byly navrženy s obsahem 0%, 30%, 50% a 70% R-materiálu. Na jednotlivých asfaltových směsích byly porovnány parametry stanovené funkčními zkouškami – odolnost proti trvalým deformacím a odolnost vůči vodě.

Abstract

In the introduction of the Master's thesis describes for obtaining and processing of reclaimed asphalt. Major point of the thesis is design of asphalt mixtures with use of higher amount of RAP for asphalt binder course. Asphalt mixtures were designed with contents of 0%, 30%, 50% and 70% of RAP. On each asphalt mixtures were compared parameters set out by functional tests – resistance to permanent deformation and resistance to water.

Klíčová slova

R-materiál, změkčovaadlo, šaržová obalovna, kontinuální obalovna, paralelní buben, ložní asfaltová vrstva, bod měknutí, penetrace

Keywords

Reclaimed asphalt, plasticizer, batch mixing plant, continuous mixing plant, parallel drum, asphalt binder course, softening point, penetration

Bibliografická citace VŠKP

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.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 8.1.2013

.....
podpis autora
Petr Pavličík

Poděkování:

Tímto chci vyjádřit poděkování svému vedoucímu diplomové práce doc. Dr. Ing. Michalu Varausovi za jeho nesmírnou vstřícnost a poskytnutí cenných rad a připomínek k vypracování této diplomové práce.

Dále bych rád poděkoval laboratorním pracovníkům, zejména Pavlu Strakovi za výpomoc a velmi cenné poznatky při práci v laboratoři.

Také děkuji celé své rodině, všem svým přátelům a především Bc. Anetě Novotné za podporu, trpělivost a porozumění v průběhu studia.

OBSAH

1	Úvod.....	9
2	Cíl diplomové práce.....	10
3	Rešeršní část.....	10
3.1	R-materiál.....	11
3.1.1	Stanovení množství přidávaného R-materiálu [29]	12
3.1.2	Získávání a zpracování R-materiálu [33].....	14
3.2	Druhy recyklace [33], [36].....	17
3.2.1	V míchacím centru (na obalovně) za horka	17
3.2.2	V mísicím centru za studena	19
3.2.3	Na místě za horka	20
3.2.4	Na místě za studena [36].....	22
3.3	Způsoby přidávání R-materiálu na obalovnách [29].....	24
3.3.1	Šaržová obalovna – ohřev R-materiálu kamenivem, s odděleným dávkováním.....	24
3.3.2	Šaržová obalovna – ohřev R-mater. s kamenivem, se společným dávkováním.....	25
3.3.3	Šaržová obalovna – oddělený ohřev R-materiálu v paralelním bubnu	26
3.3.4	Kontinuální obalovny	27
3.4	Změkčovadlo (STORFLUX) [32].....	28
3.5	Nízkoteplotní asfaltové směsi (NTAS) [26]	30
3.4.1	Užití NTAS v konstrukci	30
3.4.2	Materiál pro výrobu NTAS [26]	30
3.4.3	Přísady NTAS	31
4	Praktická část.....	33
4.1	Kamenivo	33
4.1.1	Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor [21]	33
4.1.2	Stanovení tvaru zrn - Tvarový index [22].....	39
4.1.3	Stanovení odolnosti kameniva proti drcení metodou Los Angeles [3].....	41
4.2	Asfaltové pojivo	44
4.2.1	Tvrdost asfaltového pojiva – stanovení penetrace jehlou [19]	44
4.2.2	Bod měknutí – zkouška kroužek kulička (KK) [20].....	46
4.3	R-materiál.....	48
4.3.1	Oddělení pojiva od kameniva (odstředění + extrakce) [5] [6].....	48

4.3.2	Vyseparované kamenivo – síťový rozbor.....	50
4.3.3	Asfaltové pojivo (obsah pojiva, penetrace a bod měknuté – KK)	50
4.4	Návrh asfaltových směsí (0%, 30%, 50%, 70%)	52
4.4.1	Výroba asfaltové směsi s obsahem R-materiálu	53
4.4.2	Stanovení maximální objemové hmotnosti (ρ_{mv}) [7]	54
4.4.3	Stanovení objemové hmotnosti zhutněné asfaltové směsi (ρ_{bssd}) [8].....	56
4.4.4	Stanovení mezerovitosti (V_m) navržených asfaltových směsí [9]	58
4.4.5	Zpětné zkoušky na asfaltových směších	59
4.4.6	Určení teoretického množství pojiva při návrhu asfaltové směsi podle národního předpisu ČSN 73 6160 [2]	61
4.5	Zkoušky asfaltových směsí do ložních vrstev	64
4.5.1	Odolnost proti trvalým deformacím – zkouška pojíždění kolem [11].....	64
4.5.2	Odolnost zkušebního tělesa vůči vodě – zkouška ITSR [10][12].....	69
4.5.3	Modul tuhosti asfaltové směsi [13].....	76
4.6	NTAS [26].....	82
4.6.1	Stanovení teploty hutnění po přidání organické přísady – vosku	82
5	Závěr.....	84
6	Seznam použité literatury	87
7	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	91
8	Seznam obrázků.....	93
9	Seznam tabulek.....	95
10	Seznam grafů	96
11	Seznam příloh	97
12	Přílohy	

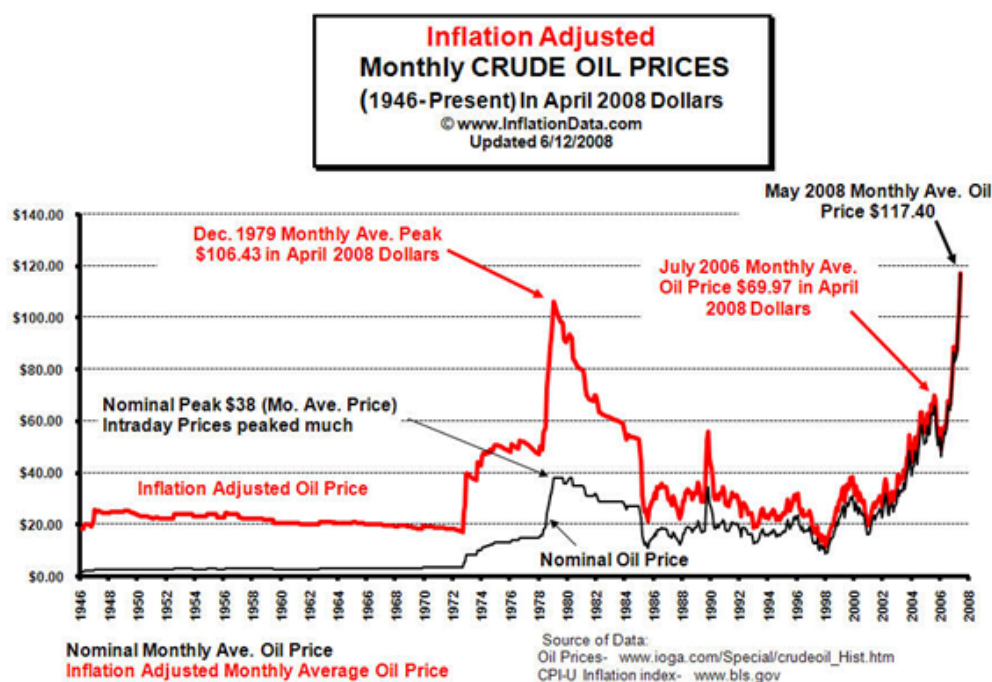
1 Úvod

Recyklace stavebních materiálů je jedním z důležitých nástrojů pro zachování udržitelného rozvoje a překlenutí rozporu mezi ekonomickým růstem a ochranou životního prostředí.

Recyklace netuhých vozovek se provádí za účelem snížení nákladů na výstavbu, nemá však vliv na dosažení požadované kvality a na životnost vozovek. Dalším pozitivem je snížení spotřeby neobnovitelných přírodních zdrojů, jelikož přírodní kamenivo a asfaltové pojivo je částečně nahrazeno recyklátem. Možnost zužitkování recyklovatelného materiálu porušených vozovek, vede ke snižování objemu odpadů ukládaného na skládkách a k redukci spotřeby pohonných hmot při stavbě vozovek.

Cílem recyklace je přeměna poškozené a nehomogenní konstrukce vozovky, zlepšení proměnlivosti fyzikálně mechanických vlastností vrstev původní konstrukce vozovky, zvýšení celkové únosnosti a prodloužení životnosti konstrukce vozovky, zvýšení odolnosti obrusné vrstvy vůči mechanickému opotřebení, zlepšení protismykových vlastností a zajištění reprofilace krytu vozovky s vyrovnáním nerovností, ekologicky šetrné odstranění škodlivých složek konstrukcí vozovek, kde bylo jako pojiva využito dehtu (u recyklace za studena) [33].

K recyklaci netuhých asfaltových vozovek vede fakt stále rostoucí cena ropy, která je patrná z *Obr. 1*.



Obr. 1- Vývoj ceny ropy od roku 1946 (zahrnující vliv inflace) [36]

Současným trendem je zvyšování podílu recyklátu ve směsích pro konstrukční vrstvy vozovek. Avšak v nynější normě je uveden nejvyšší přípustný obsah R-materiálu pro jednotlivé vrstvy z asfaltového betonu, který je uveden v **Tabulce 1**. Dále je snahou provádět asfaltové vozovky, které by byly stoprocentně recyklovatelné.

Tabulka 1 – Nejvyšší přípustný obsah R-materiálu v % hmotnosti v asfaltové směsi [17]

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

2 Cíl diplomové práce

Cílem diplomové práce je návrh asfaltových směsí do ložních vrstev s vyšším obsahem recyklátu respektive R-materiálu. Rešeršní část diplomové práce bude obsahovat dosavadní technologie zpracování R-materiálu. Výsledkem praktické části bude porovnání parametrů navržených směsí s různým obsahem R-materiálu (0%, 30%, 50%, 70%). Z porovnání výsledků bude patrné, zdali přítomnost většího množství recyklátu, má negativní dopad na vlastnosti podkladní vrstvy.

3 Rešeršní část

V této části diplomové práce bude pojednáno o metodách recyklace netuhých vozovek. Jsou zde uvedeny způsoby získávání a zpracování R-materiálu. Dále je tato část zaměřena na popis vlastností a výpočet množství přidávané látky STORFLUX, která slouží jako změkčovadlo asfaltového pojiva v recyklátu. Na konci této kapitoly je uveden způsob využití nízkoteplotních asfaltových směsí (NAS).

3.1 R-materiál

R-materiálem rozumíme materiál získaný frézováním dříve provedených hutněných asfaltových vrstev, upravený následným tříděním s případným předrcením a přetříděním přepadu a homogenizací. Nebo materiál získaný vybouráním dříve provedených hutněných asfaltových vrstev, dále upravený následným drcením, tříděním a homogenizací.



Obr. 2– Skládka R-materiálu (obalovna FRONĚK)

Užitím R-materiálu dochází ke snižování nákladů na výstavbu vozovek, což je přehledně uvedeno v **Tabulce 2**. V současné době je v normě ČSN EN 13108-1 Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 1: Asfaltový beton [17] uveden nejvyšší přípustný obsah R-materiálu pro ložní vrstvu ACL 22+ 30% viz **Tabulka 1**. V mnoha zemích západní Evropy je množství přidávaného R-materiálu až 100%. Tuto skutečnost lze vysvětlit, tím že v těchto vyspělých zemích je kladen důraz na kvalitu zpracování a na původ přidávaného R-materiálu.

Tabulka 2 – Snížení nákladů dle množství přidávaného R-materiálu [36]

Množství R-materiálu [%]		Cena [\$ /t]	Úspora [\$ /t]	Úspora [%]
Vozovka z asfaltového betonu	0	52,37	-	-
	15	48,36	4,01	7,66
	25	45,69	6,68	12,76
	50	39,01	13,36	25,51
Kamenivo do podkladní vrstvy	0	7,00	-	-
	50	6,50	0,50	7,14
	100	6,00	1,00	14,29

3.1.1 Stanovení množství přidávaného R-materiálu [29]

Maximální množství R-materiálu, které může být přidáno při výrobě asfaltových směsí, závisí na:

- vhodnosti R-materiálu pro navrženou asfaltovou směs (návrh směsi),
- homogenitě R-materiálu a
- technických předpokladech konkrétní obalovny.

Maximálně možné přidané množství může být stanoveno graficky. Jedná se o funkci rozsahu pěti charakteristických hodnot pomocí nomogramu (**Obr. 3**). Tato metoda vychází z určení homogenity R-materiálu, který bude použit pro výrobu asfaltových směsí. Homogenita je určována na základě následujících charakteristických hodnot:

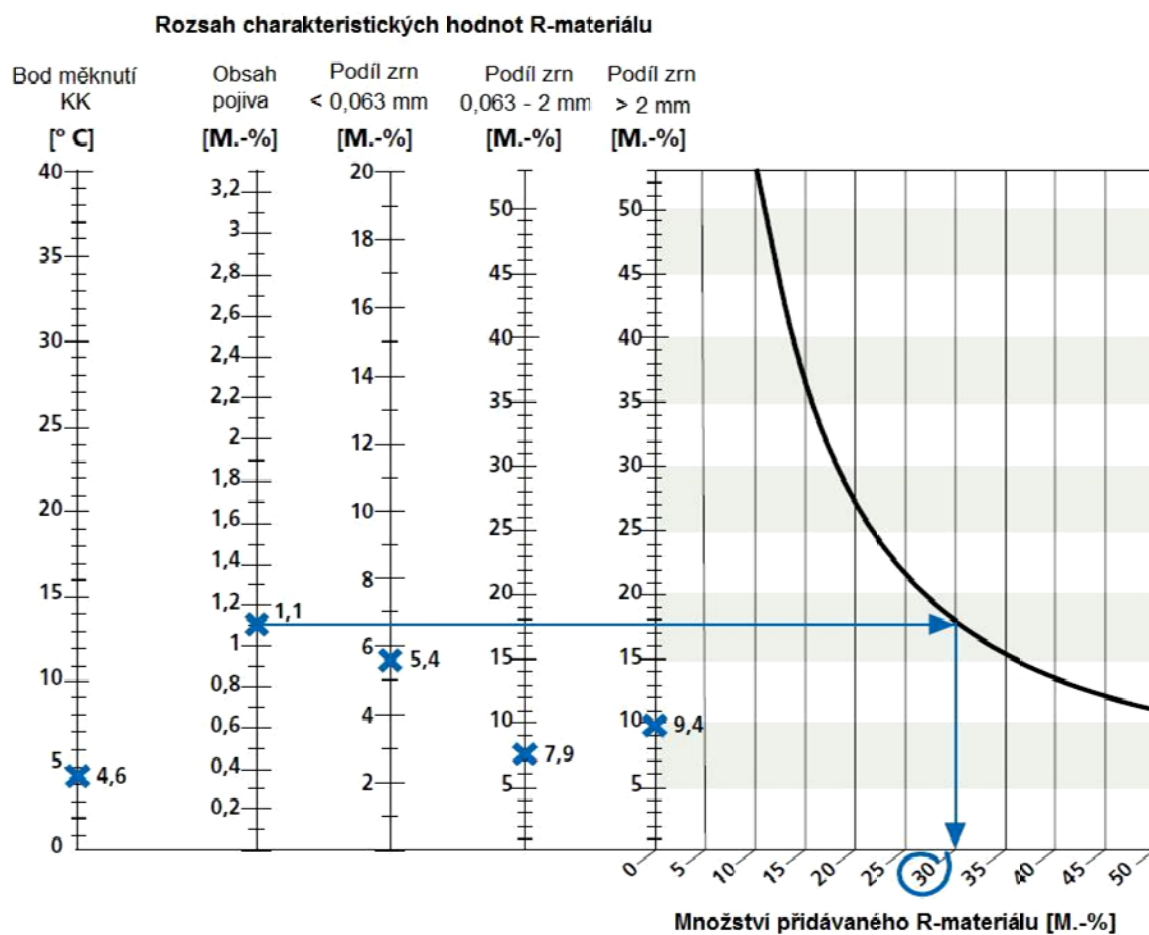
- Obsah pojiva (% hm.)
- Bod měknutí metodou kroužek kulička (°C)
- Podíl částic < 0,063 mm (% hm.)
- Podíl částic velikosti 0,063 – 2 mm (% hm.)
- Podíl částic > 2 mm (% hm.)

Tyto hodnoty jsou stanoveny na vyextrahované směsi kameniva.

Jako názorná ukázka je uveden příklad grafického určení maximálního přidaného množství R-materiálu, který je vhodný pro přidání do směsi pro asfaltovou ložní vrstvu. Na pěti vzorcích stejného recyklátu byly stanoveny charakteristické hodnoty, jejichž výsledky byly zprůměrovány a byl určen jejich rozsah (**Tabulka 3**). Rozsahy jednotlivých parametrů byly vyneseny do stupnic vedle grafu. Z nomogramu je patrné, že maximální možné množství R-materiálu, které lze do navrhované asfaltové směsi pro ložní vrstvu přidat je 30%. Rozhodujícím parametrem pro určení množství přidávaného recyklátu je v tomto případě obsah pojiva, u kterého mají dílčí výsledky zkoušek jednotlivých vzorků největší rozsah. Hodnota tohoto rozsahu je následně promítnuta na křivku grafu. V místě protnutí se průmětem na vodorovnou osu určí maximální možné množství přidávaného R-materiálu.

Tabulka 3 – Charakteristiky R-materiálu [29]

Charakteristika	Bod měknutí [°C]	Obsah pojiva [M.-%]	Podíl částic < 0,063 mm [M.-%]	Podíl částic 0,063 - 2 mm [M.-%]	Podíl částic > 2 mm [M.-%]
Vzorek 1	68,6	5,8	9,8	27,7	62,4
Vzorek 2	64,0	5,8	11,3	25,2	63,5
Vzorek 3	64,8	5,2	9,2	19,8	70,9
Vzorek 4	68,0	4,7	6,7	21,5	71,8
Vzorek 5	66,4	5,1	12,1	23,8	64,1
Průměr	66,4	5,3	9,8	23,6	66,5
Rozsah	4,6	1,1	5,4	7,9	9,4



Obr. 3 – Nomogram pro grafické určení maximálně možného přidání R-materiálu [29]

3.1.2 Získávání a zpracování R-materiálu [33]

Recyklát z asfaltových vozovek se získává buď vybouráním ve formě ker a desek nebo ideálně frézováním; poté je materiál zpracován drcením, tříděn a analyzován

Frézování se používá v případech, je-li R-materiál získáván z asfaltových vrstev s menším maximálním zrnem kameniva. Při frézování lze recyklát získat studenou nebo teplou cestou. Z důvodů různé kvality a různé zrnitosti vrstev by se měla stará vozovka frézovat po jednotlivých vrstvách. Dodržením tohoto kritéria lze získat velice kvalitní materiál pro znovuzabudování do konstrukce vozovky. V **Tabulce 4** je uveden přehled vhodného použití R-materiálu z hlediska jeho původu a typu nově navrhované asfaltové směsi.

Tabulka 4 – Možnosti vhodného přidání R-materiálu dle typu vrstvy [29]

R-materiál získaný z ↓	Možnosti přidání R-materiálu do asfaltové směsi pro					
	Litý asfalt	Asfaltová ohrusná vrstva	Asfaltová ložní vrstva	Asfaltová podkladní vrstva	Jednovrstvý asfaltový kryt	Asfaltová spodní podkladní vrstva
litého asf.	++	○	○	+	○	○
ohrusné asf. vrstvy	—	++ ¹⁾	++	+	+	+
ohrusné a ložní asf. vrstvy ²⁾	—	○ ³⁾	++	+	+	+
ložní asf. vrstvy	—	○ ³⁾	++	+	+	+
podkladní asf. vrstvy nebo vrstva jednovrstvého asf. krytu	—	—	—	++	○	+
spodní podkladní vrstvy	—	—	—	○	—	++
Vysvětlivky: ++ ...priorita (nejvyšší zhodnocení) + ...možné, ale bez plného využití technických vlastností a efektivity nákladů ○...možné s určitým omezením po speciálních zkouškách — ...není možné ¹⁾ podle TL Asphalt-StB ²⁾ obvykle není z litého asfaltu ³⁾ následné oddělené zpracování						

Silniční frézy lze rozdělit podle šířky válce a hloubky záběru na [33]:

- Malé – šířka frézovacího válce do 500 mm, záběrová hloubka < 100 mm
 - Střední – šířka frézovacího válce 500 – 1000 mm, záběrová hloubka do 180 mm
 - Velké – šířka frézovacího válce nad 1000 mm, záběrová hloubka do 350 mm
 - Speciální – šířka frézovacího válce do 350 mm, záběrová hloubka je až 100 mm.
- Využívají se pro sanační práce na odfrézování poškozených krytových vrstev v blízkosti kanalizačních poklopů, uličních vpustí, rigolů apod.



Obr. 4 – Silniční fréza [30]

Frézování je vhodné především na místních komunikacích, jelikož zde není možná změna nivelety vozovky, z důvodů návaznosti chodníků a odvodňovacích zařízení. Dále je žádoucí použití frézování na mostních objektech, protože zde neleze klást další asfaltové vrstvy z hlediska zvětšení stálého zatížení nosné mostní konstrukce.

Druhým způsobem je vybourání celé konstrukce vozovky popř. jejích jednotlivých vrstev. Při této metodě je možné v jednom záběru vybourat vrstvy stmelené asfaltovým pojivem, v dalším záběru potom zbývající vrstvy. Separované vybourání umožňuje opětovné zabudování asfaltem stmelených vrstev v asfaltových směsích

Takto získaný R-materiál se dále drtí na požadované frakce. Je snahou použít takovou technologii drcení, která zamezí drcení kameniva v R-materiálu a omezí množství jemných částic. Což má za následek dosažení plynulé čáry zrnitosti. Kusy recyklovaných netuhých vozovek se drtí například pomocí stacionárních nebo mobilních technologických linek

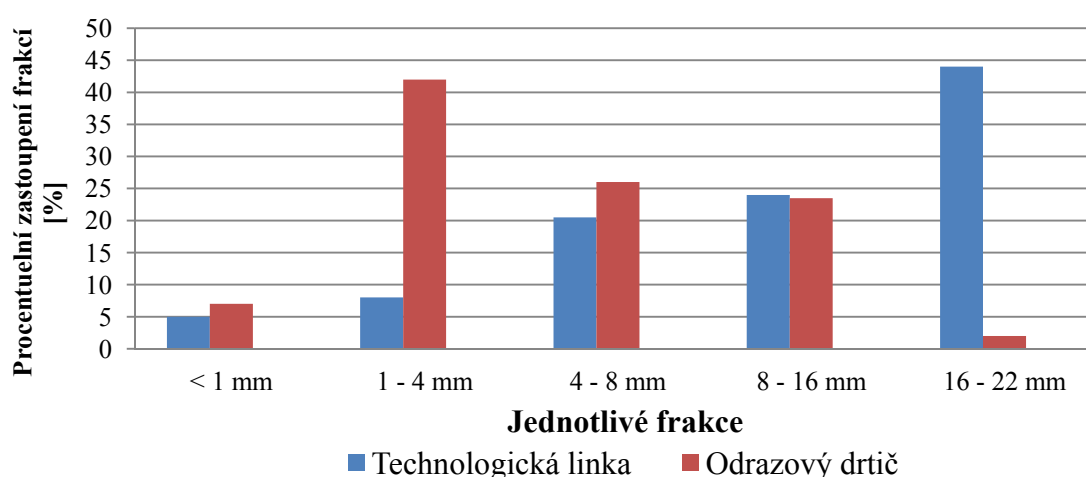
Obr. 5



Obr. 5 – Stacionární technologická linka

Primární drtič technologické linky je schopen zpracovat bloky o velikosti 1800 mm. Tyto bloky jsou tlačeny na rotor se zuby, kde dochází ke mletí bloků výsledkem je frakce 0/60 mm. Při tomto zpracování nedochází k ucpávání násypky. Nadsítné frakce 0/60 se dostává na sekundární granulátor. Materiál je v kontaktu s rotorem pouze krátkou dobu, z čehož plyne vysoké množství zpracovaného materiálu linkou, menší opotřebení zařízení sloužících k drcení a malé množství jemných částic po zpracování. Další výhodou je, že nedochází k drcení kameniva v recyklátu. Pro srovnání je uveden **Graf 1**, ze kterého je patrná odlišnost materiálu získaného z technologické linky a z primárního drtiče.

Graf 1– Srovnání výsledného materiálu z technologické linky a odrazového drtiče [35]



3.2 Druhy recyklace [33], [36]

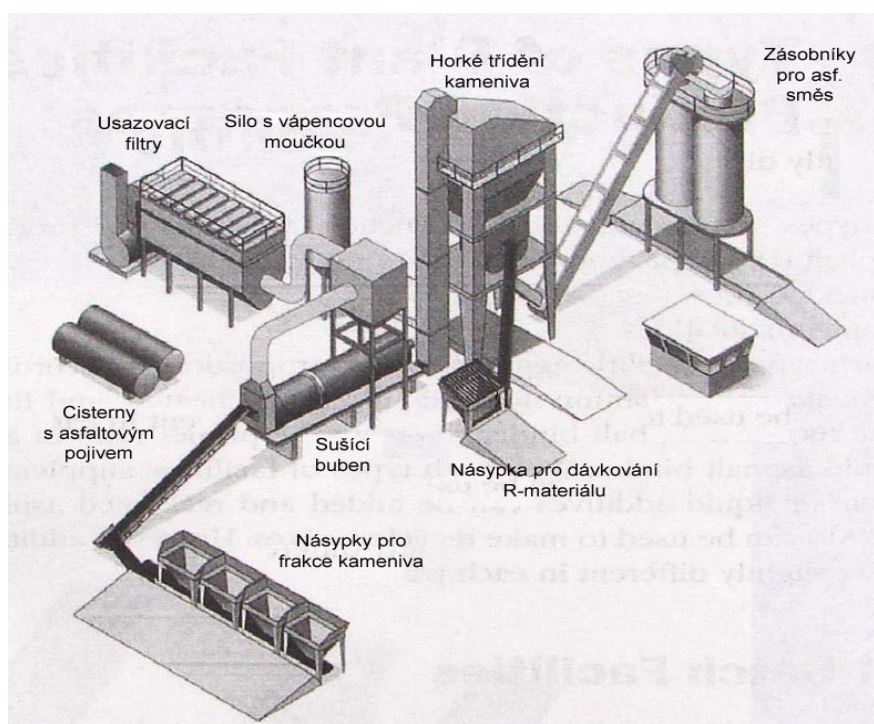
Způsob recyklace lze rozlišit podle místa provádění a to v míchacím centru (obalovna nebo mobilní jednotka) nebo na místě. Z hlediska zpracování jde o recyklaci za horka či za studena. Rozlišujeme 4 základní druhy recyklací:

- 1) V míchacím centru (obalovně) za horka
- 2) V mísicím centru za studena
- 3) Na místě za horka
- 4) Na místě za studena

3.2.1 V míchacím centru (na obalovně) za horka

A) Dávkováním R-materiálu přímo do míchačky šaržové obalovny

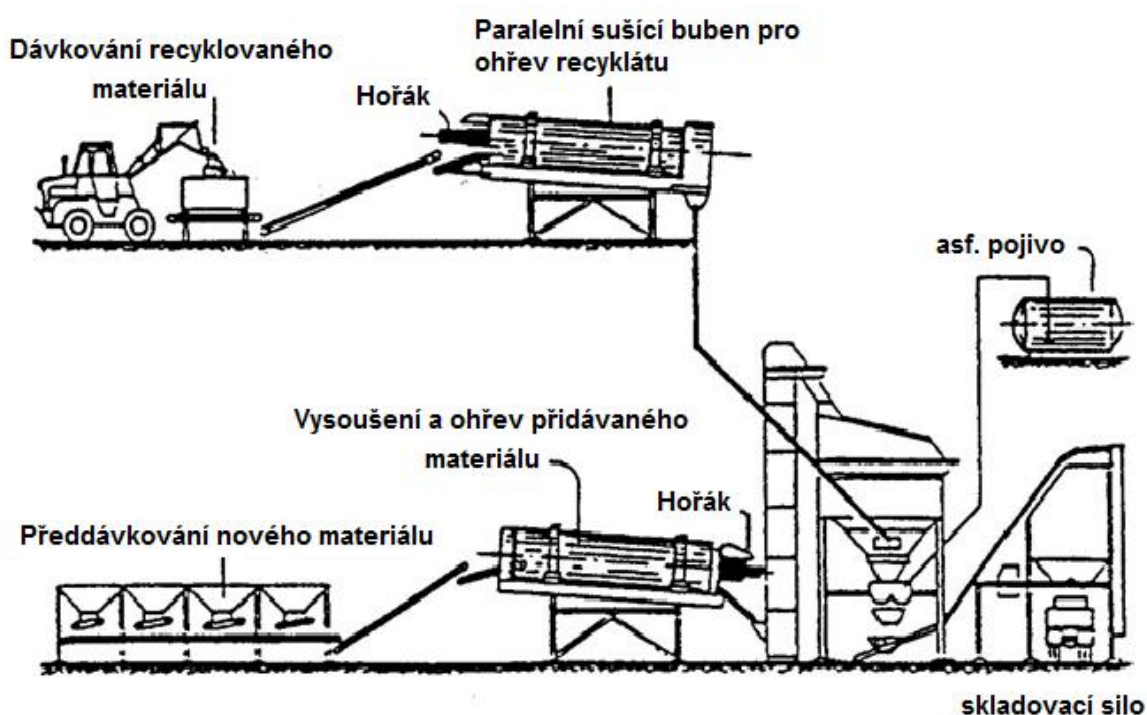
Na začátku této technologie dochází k drcení R-materiálu na frakce. Poté dochází k přidávání jemnější či hrubší frakce recyklátu dle druhu asfaltové směsi. Kamenivo je nutné předehtřívát na vyšší teplotu. Maximální množství R-materiálu, které se při této metodě přidává, je zhruba 25%. Je-li přidáváno více než 25% doporučuje se výpočet gradace přidávaného pojiva. Tento způsob zpracování R-materiálu je nevhodný z hlediska vlhkosti materiálu, jelikož jsou skládky nezastřešené. Oproti klasické obalovny je nutno do výrobního cyklu zařadit odvětrávání



Obr. 6 – Šaržová obalovna – přímé dávkování R-materiálu [36]

B) Předehřívání R-materiálu v paralelním bubnu šaržové obalovny

Při tomto způsobu zpracování je možné přidávat vyšší množství R-materiálu než při dávkování za studena (v Německu až 80% R-materiálu do podkladních vrstev). Z vyšším dávkováním recyklátu přímo souvisí požadavek na snížení vlhkosti, z toho plyne nutnost zastřešení skládek. Vlastnosti pojiva obsaženého v R-materiálu musí být pravidelně kontrolovány (penetrace, bod měknutí, ...). Je-li materiál vyfrézován a rozdělen podle vrstev, stává se vysoce hodnotným materiálem i pro obrusné vrstvy. V ČR se za vyfrézovaný materiál platí, jelikož se materiál netřídí podle vrstev. Například v Německu je takto získaný materiál poskytován bezúplatně.

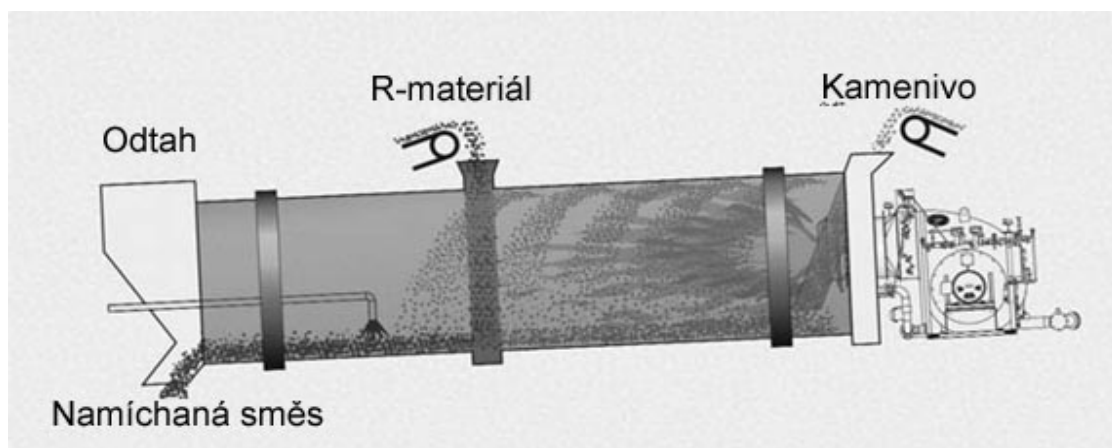


Obr. 7 – Schéma obalovny s paralelním bubnem [36]

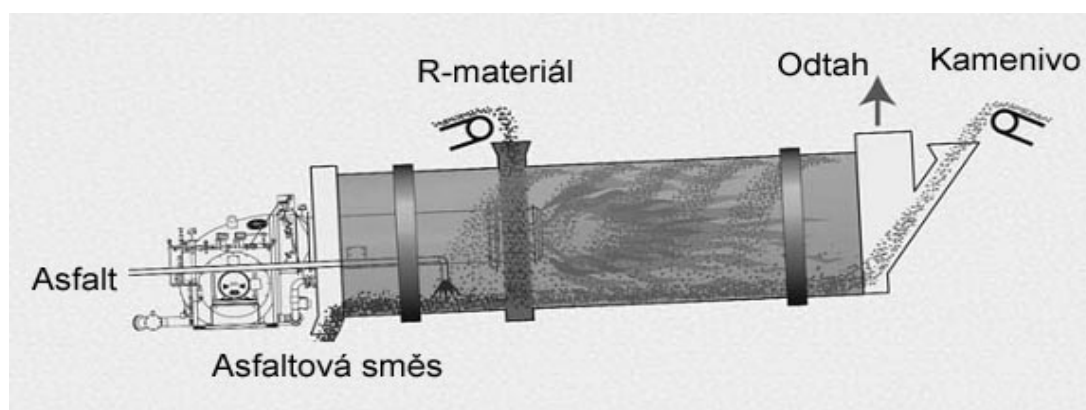
C) Metoda „Drum mix“ – kontinuální obalovna

Tato metoda je se používá v případě kontinuálních obaloven. Ve spojených státech je až 80% takovýchto obaloven. Při takto vyráběných asfaltových směsích je požadavek na konstantní kvalitu vstupních materiálů. R-materiál lze přidávat třemi způsoby, které jsou vyobrazeny na **Obr. 8**.

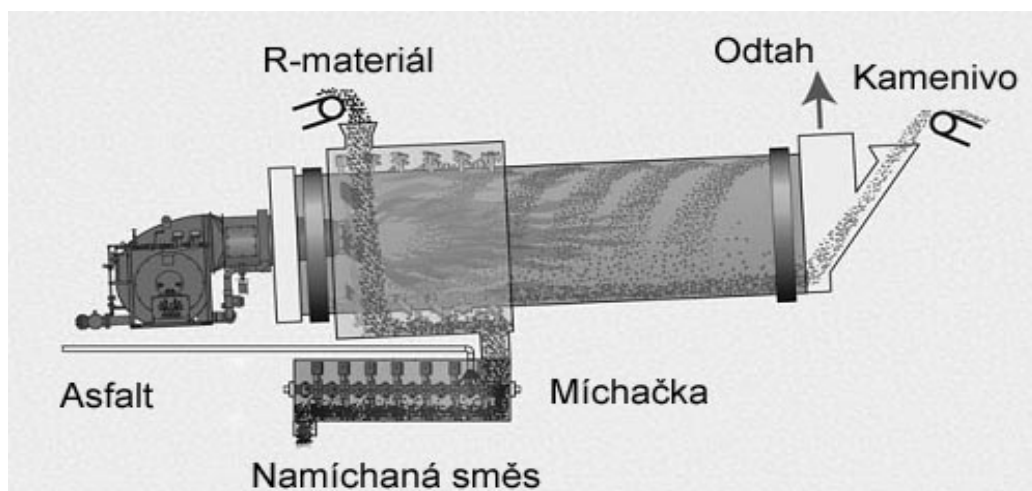
a) R-materiál se přidává souběžně s proudem horkého vzduchu



b) R-materiál se přidává proti proudu horkého vzduchu



c) Separátní vysoušení R-materiálu, míchání v míchačce



Obr. 8 – Způsoby zpracování metodou Drum-mix

3.2.2 V mísícím centru za studena

Vybouraný nebo vyfrézovaný materiál se převáží na skládku, která je u obalovny nebo blízko staveniště. Zrnitost recyklátu je dále možno upravovat drcením. R-materiál se míchá s asfaltovou emulzí popřípadě s pěnou (kamenivem). Kromě emulze se přidává cement

nebo vápenný hydrát. Podle umístění mísící jednotky rozlišujeme – stacionární, semimobilní a mobilní obalovny. Pokládka se provádí běžnými finišery. Po pokládce musí vrstva zrát, délka zrání závisí na vlhkosti vzduchu, množství vody ve směsi a mezerovitosti. Na vyzrálou vrstvu se pokládá horká asfaltová směs nebo nátěr.

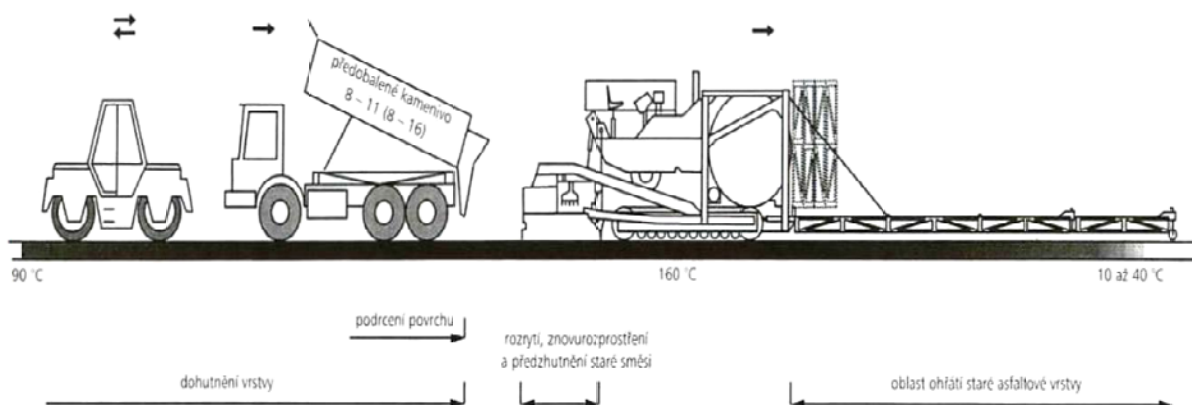
3.2.3 Na místě za horka

Regrip [36]

Při této technologii recyklace se zlepšují protismykové vlastnosti obrusné vrstvy krytu vozovky. Jedná se o nahřátí stávajícího povrchu vozovky a následné podrcení kamenivem úzké frakce. Poté se takto upravený povrch válcuje.

Reshape

U této metody recyklace na místě se jedná o úpravu příčného profilu vozovky neboli reprofilaci. Technologie je založená na ohřátí asfaltové vrstvy určené k recyklaci, následuje rozpojení starého povrchu vrstvy a promíchání směsi. Materiál se poté opětovně rozprostírá do požadovaného profilu a následně se hutní hladkými vibračními válci. Potřebná mechanizace pro tuto technologii je přehledně zobrazena na **Obr. 9**. Výhodou této metody je minimální spotřeba materiálu a velké pracovní výkony, s tím přímo souvisí relativně nízké náklady. Ovšem metoda Reshape je vhodná pouze při malých deformacích krytu, které nezasahují do ložní a horní podkladní vrstvy.

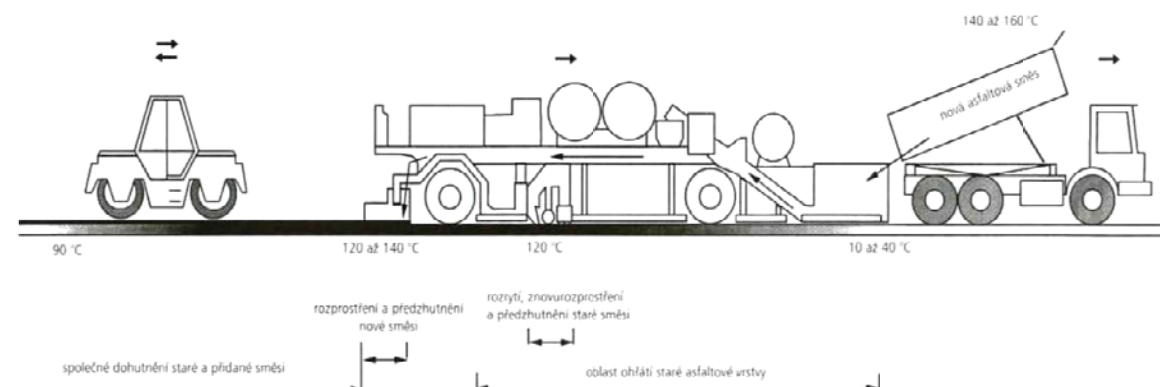


Obr. 9 – Pokládka – technologie RESHAPE

Repave

Tato technologie se používá k úpravě rovinatosti povrchu vozovky a úpravu nivelety s přidáním nové tenké vrstvy kvalitní asfaltové směsi. Podstatou technologie je přehřátí

(na teplotu 120 – 130 °C) a rozrytí starého asfaltového povrchu do hloubky 20 mm, rozhrnutí ohřáté směsi do nového profilu (včetně případného přidání regeneračního aditiva), položení nové směsi a následné zhutnění celé úpravy. Postup pokládky je schematicky vyobrazen na **Obr. 9**. Nová směs se přidává v množství odpovídající tloušťce po zhutnění 20-30 mm. Při této technologii se neupravují vlastnosti a složení původní směsi.

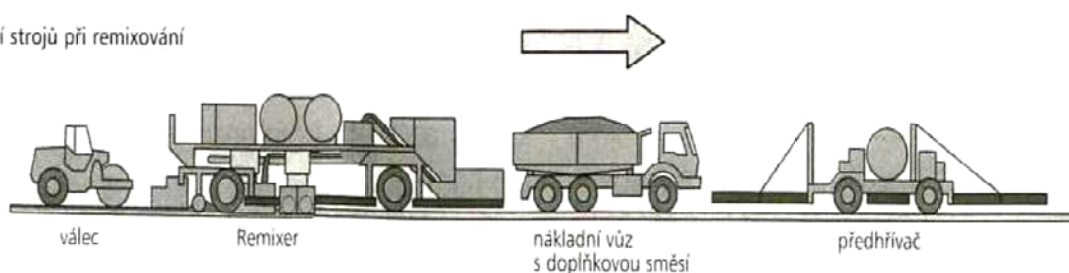


Obr. 10 – Pokládka – technologie REPAVE

Remix a Remix Plus

Tento technologický postup zahrnuje ohřátí staré asfaltové vrstvy kombinací infrazářičů a horkého vzduchu, její rozrytí, přidání nové směsi nebo chybějících složek kameniva, promísení staré a nové směsi, rozprostření do požadovaného profilu a následné dohnutí směsi.

Nasazení strojů při remixování

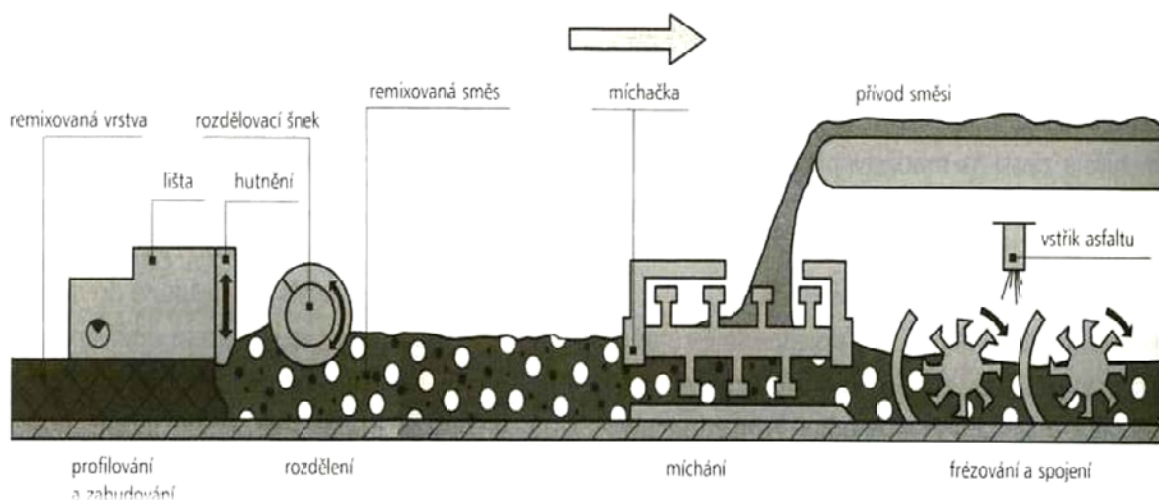


Obr. 11 – Pokládka – technologie REMIX (REMIX PLUS)

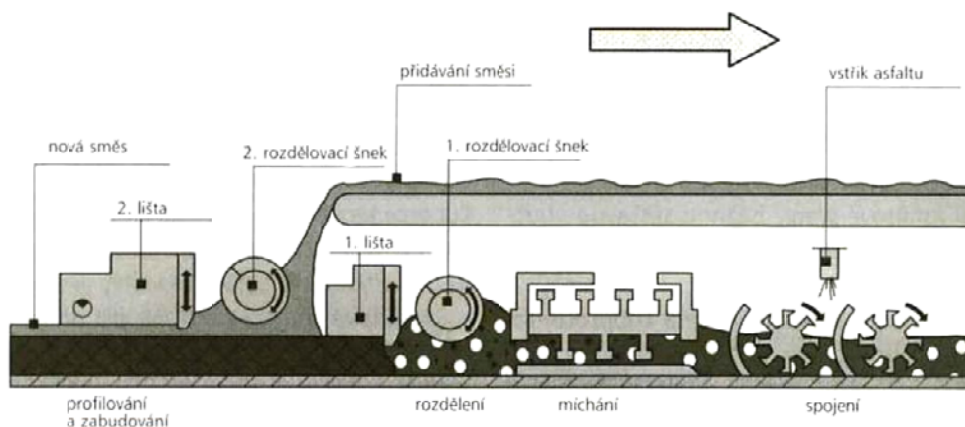
Postup je vhodný především tehdy, má-li stará úprava nevhodné složení a špatné fyzikálně mechanické vlastnosti (špatná čára zrnitosti, nedostačující vlastnosti pojiva). Provádí se buď jako úprava příčného profilu vozovky s přidáním chybějících komponentů (metoda REMIX) nebo jako úprava příčného profilu vozovky s doplněním komponentů původní

směsi a s položením nové vrstvy (metoda REMIX PLUS). Rozdíl v pracovním postupu těchto dvou technologií je zobrazen na **Obr. 12**.

a) REMIX



b) REMIX PLUS



Obr. 12 – Rozdíl v pracovním postupu metody REMIX a REMIX PLUS

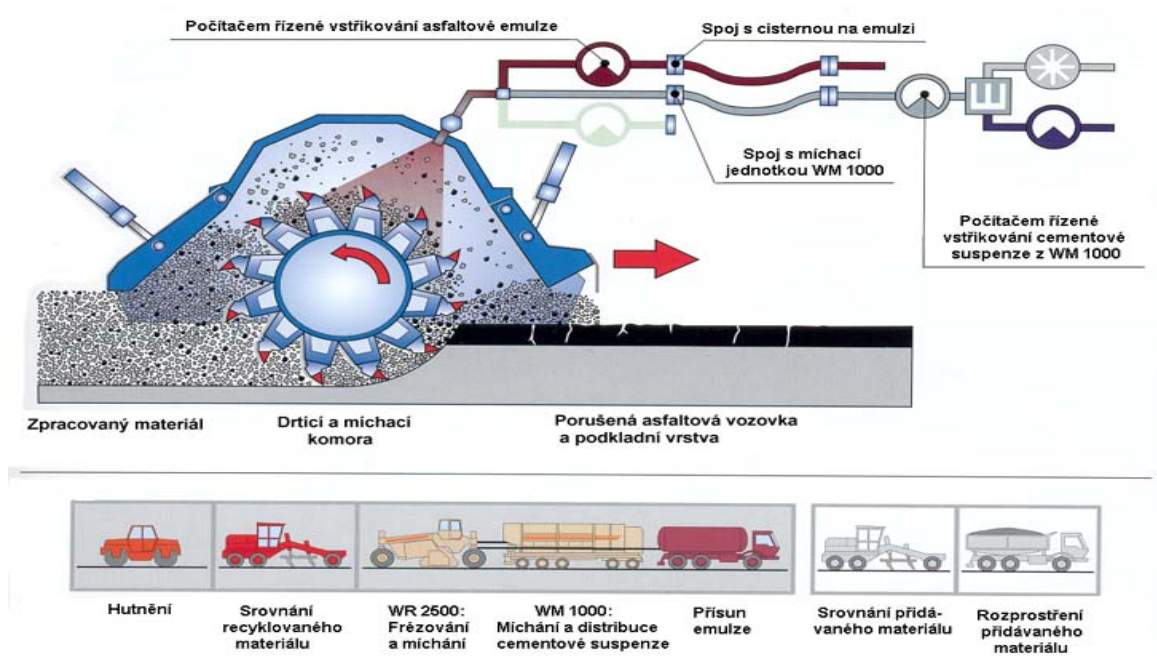
3.2.4 Na místě za studena [36]

Touto technologií se recyklují nestmelené a značně nehomogenní vrstvy, částečně stmelené vrstvy (penetrační makadam) a asfaltové vrstvy. Recyklaci na místě za studena lze provádět s přidáním pojiva nebo bez pojiva.

Recyklací bez pojiva se převážně provádějí podkladní vrstvy zřídka ochranné vrstvy. Výsledné vrstvy jako jsou šterkodrt' (ŠD) nebo mechanicky zpevněné kamenivo (MZK) se chovají jako vrstvy z drceného kameniva. Při této metodě se jedná o reprofilaci nebo vrstvu z recyklovaného kameniva (například z betonového recyklátu frakce 0/32).

Je-li použita technologie s přidáním pojiva, je snaha dosáhnout vyšší únosnosti celé konstrukce vozovky. Použití pojiva má dopad na úspoře v tloušťkách následně kladených

konstrukčních vrstev. Jako pojivo se používá cement (střední pevnosti třídy 32,5), cement ve spojení s vápnem, asfaltová emulze (obsah asfaltu v emulzi 55-65 %), asfaltová emulze společně s cementem nebo pěnoasfalt.



Obr. 13 – Recyklační souprava při dávkování cementové suspenze a asfaltové emulze [36]

Podle hloubky provádění se jedná o celkovou recyklaci (v hloubce nad 150 mm) nebo o částečnou recyklaci (v hloubce 80 – 150 mm). Částečná recyklace se provádí pro hutněné asfaltové vrstvy, u kterých jsou patrné povrchové poruchy jako např. hloubková koroze, mozaikové trhliny, výtluky a další. Recyklace se provádí s předrcením frézovaného materiálu na maximální velikost 22 mm. Celková recyklace se většinou uplatňuje u vozovek s penetračním makadamem. Jedná se o zlepšení vlastností z hlediska únosnosti. Recyklace se provádí bez drcení a třídění frézovaného materiálu, pro zlepšení zrnitosti se přidává kamenivo například frakce 0/4.



Obr. 14 – Recyklační souprava [36]

3.3 Způsoby přidávání R-materiálu na obalovnách [29]

Výrobu asfaltových směsí je možné vyrábět na obalovnách s odlišným typem dávkování a ohřevu R-materiálu

R-materiál je obvykle:

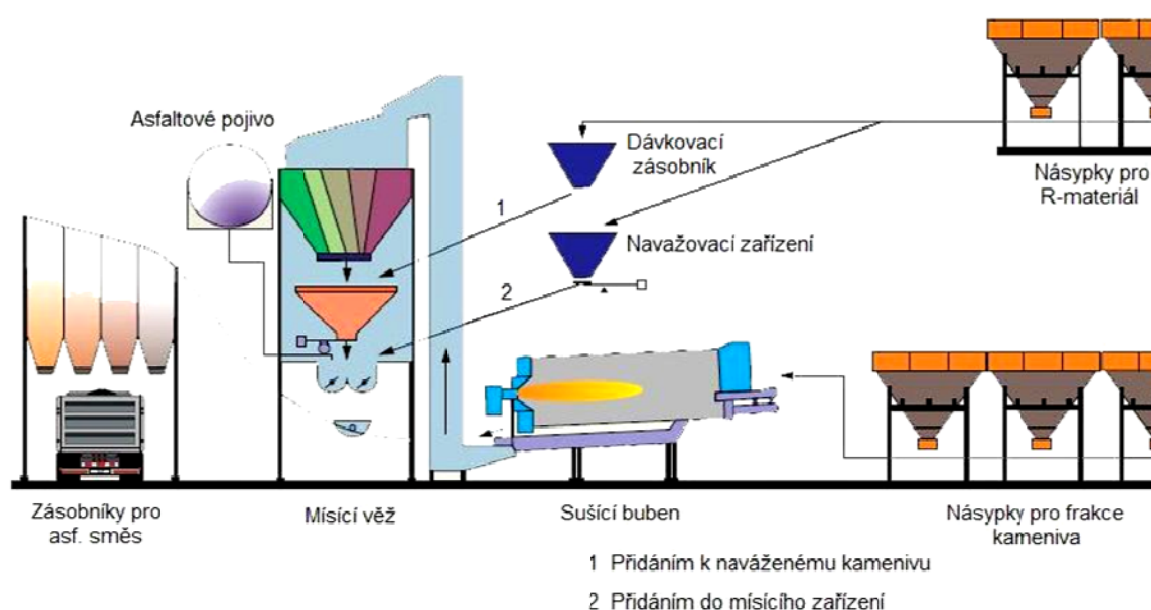
- vyhřívaný horkým kamenivem (odděleně nebo spojitě),
- společně s kamenivem nebo
- v samostatných zařízeních.

Vzhledem k rozmanitosti směsí z hlediska stupně míchání a typu, a také skutečnost že je často vyžadováno jen malé množství přidávaného asfaltového pojiva jsou při výrobě převážně používány šaržové obalovny. Kontinuální obalovny mají význam pouze v případě, jedná-li se o výrobu většího množství asfaltové směsi. Tyto směsi jsou vyráběny beze změny na třídu nebo typ budované komunikace. Například při pokládce nové silnice či při rekonstrukci starých vozovek I. třídy.

Kamenivo, pojivo a případné přísady jsou v šaržových obalovnách navažovány v závislosti na velikosti mísícího zařízení. R-materiál může být přidáván do mísícího zařízení (směšovače) různými způsoby.

3.3.1 Šaržová obalovna – ohřev R-materiálu kamenivem, s odděleným dávkováním

R-materiál je přiváděn do mísícího zařízení přes dávkovací zásobník a přidán k naváženému kamenivu nebo prostřednictvím samostatného navažovacího zařízení (**Obr. 15**). Nahřívání R-materiálu probíhá od horkého kameniva.



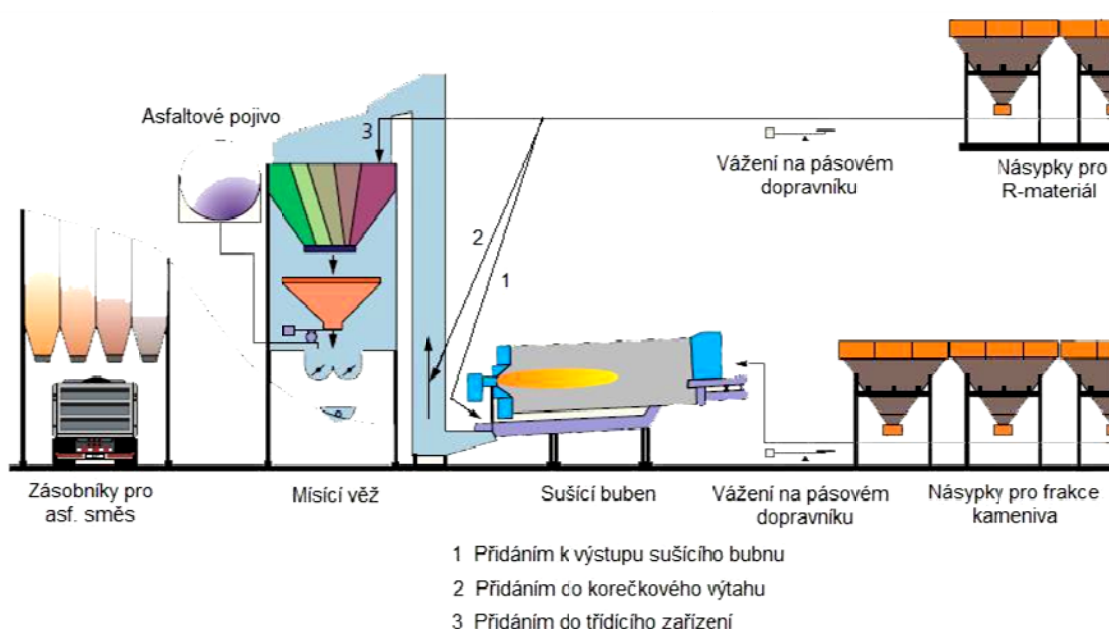
Obr. 15 – Šaržová obalovna s odděleným přidáváním R-materiálu [29]

Vzhledem k tomu, že teplota směsi má významný vliv na pokládku a zhutňování asfaltových směsí, teplota směsi je definována limitními hodnotami uvedenými ve smluvních podmínkách. Tyto hodnoty nesmí být nižší. Tepelná energie potřebná k ohřevu R-materiálu je odebírána z nevyužitého kameniva, které musí být zahřáto na vyšší teplotu.

3.3.2 Šaržová obalovna – ohřev R-mater. s kamenivem, se společným dávkováním

Dalším možným způsobem jak ohřívat R-materiál prostřednictvím horkého kameniva (**Obr. 16**) je přidat jej do:

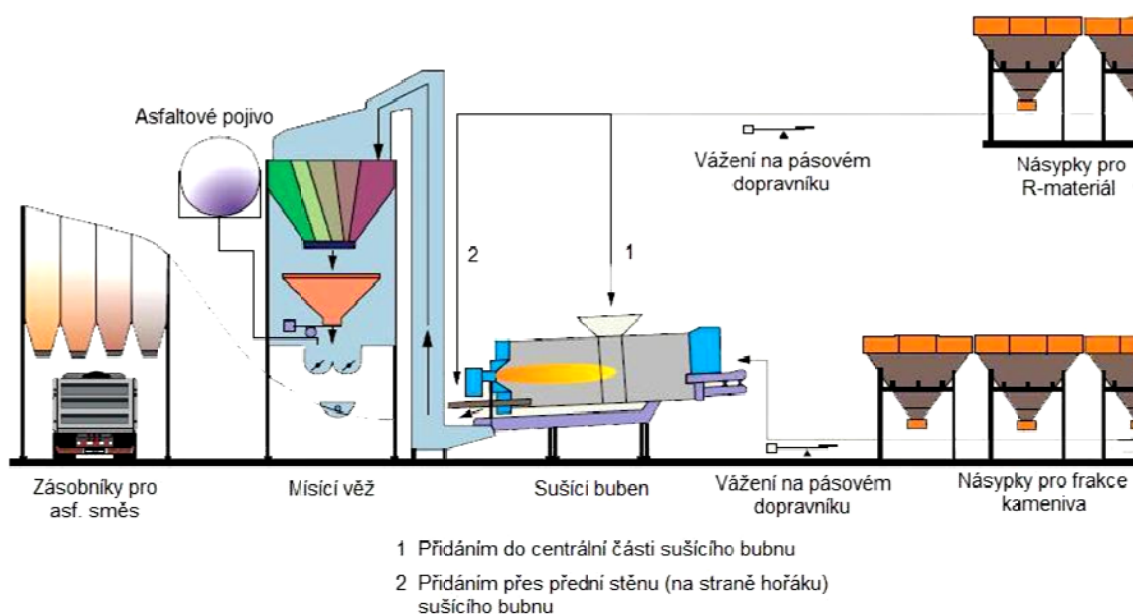
- výstupu ze sušicího bubnu,
- horkého korečkového výtahu nebo
- třídícího zařízení.



Obr. 16 – Šaržová obalovna se společným dávkováním R-materiálu [29]

Do sušicího bubnu, který pracuje na principu protiproudu, lze R-materiál přidávat systémem přes jeho střední část nebo přes zařízení umístěném na výstupu bubnu (**Obr. 17**). V tomto případě je R-materiál zahříván společně s kamenivem. Množství obsahu R-materiálu, které se běžně přidává u obou procesů, je cca 40%. Přidávání R-materiálu je kontrolováno pomocí vah na pásovém dopravníku.

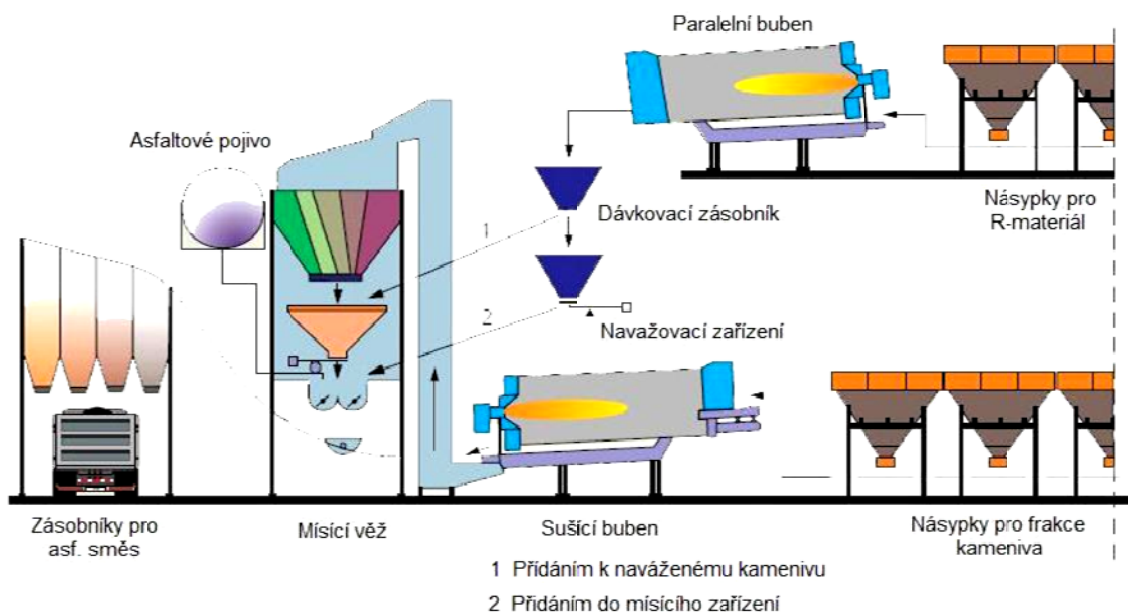
Horké prosévání směsi, skládající se z kameniva a R-materiálu by zapříčinilo ucpání síta, proto se vylučuje přidání množství větší než 10%. Směs je proto usměrňována do speciálního třídícího zařízení. Granulometrické složení výsledné směsi je proto výhradně určen z homogenity kameniva a R-materiálu. Stejně tak jako studené dávkování násypek.



Obr. 17 - Šaržová obalovna dávkováním R-materiálu do sušícího bubnu [29]

3.3.3 Šaržová obalovna – oddělený ohřev R-materiálu v paralelním bubnu

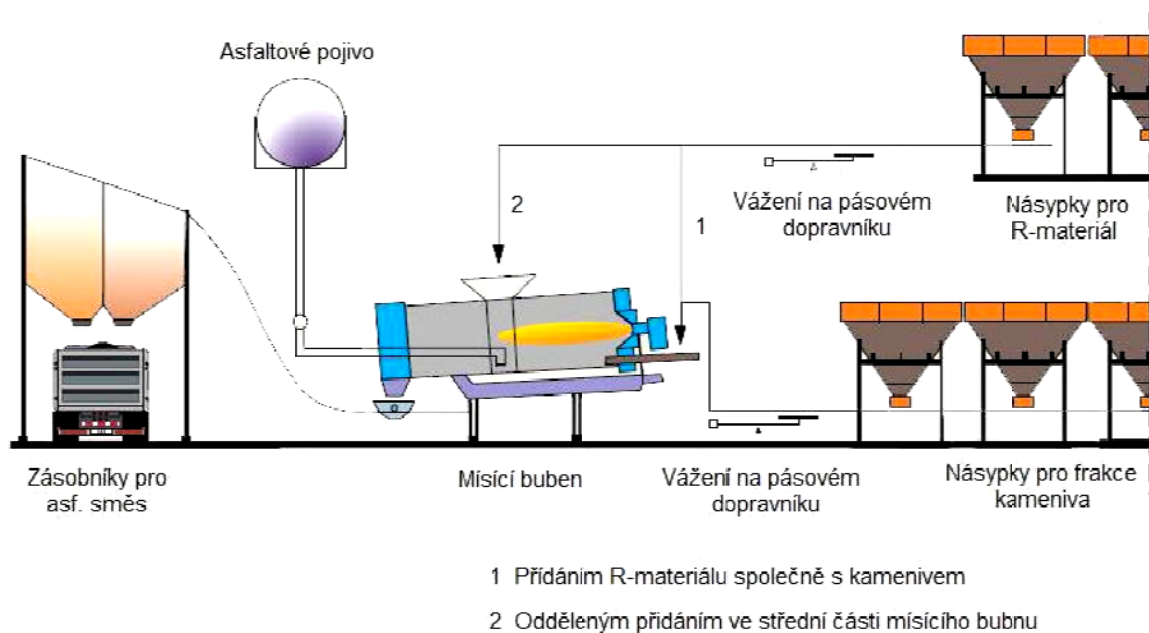
Paralelní bubny se ukázaly jako účinná zařízení, v nichž je R-materiál ohříván samostatně. Při výrobě asfaltových směsí do podkladních vrstev je možné přidávat až 80% asfaltového recyklátu, pro směs do spodní podkladní vrstvy je uváděna hodnota až 100%. V průběhu procesu zahřívání je R-materiál zahříván na maximální teplotu 130 °C, aby se zachovaly vlastnosti pojiva v něm obsaženém a také aby se omezili emise. Čím větší je obsah přidávaného R-materiálu, tím je větší vliv na složení nové směsi.



Obr. 18 – Šaržová obalovna - ohřev R-materiálu v odděleném zařízení (paralelním bubnu) [29]

3.3.4 Kontinuální obalovny

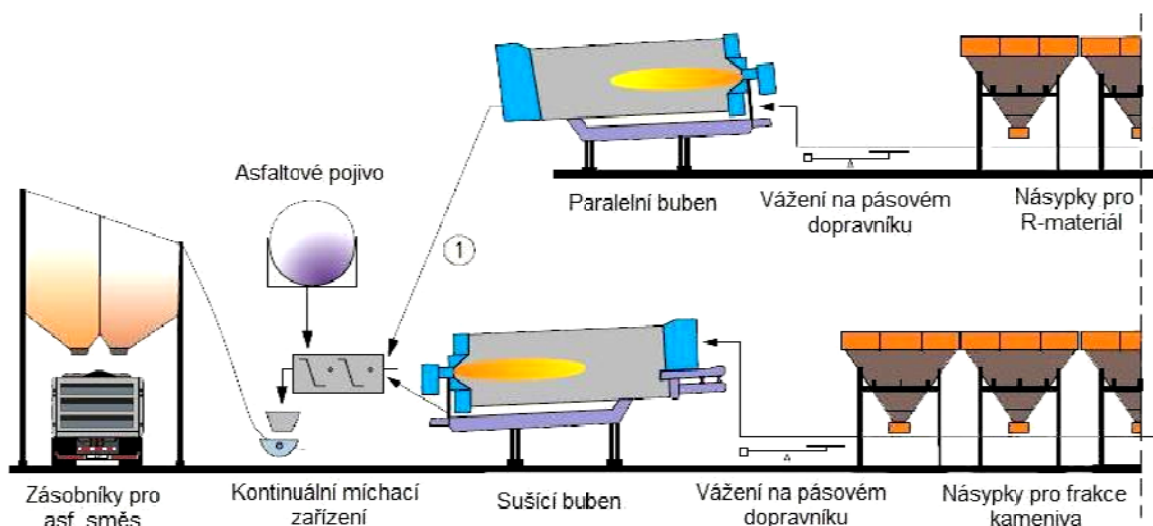
V těchto obalovnách jsou nepoužité stavební materiály nepřetržitě míchány v bubnu nebo v proudu kontinuálního mísicího zařízení. Z toho vyplývá, že přidávaný R-materiál je přidáván v průběhu procesu. Stejnorodost navrhované směsi převážně závisí na homogenitě kameniva a R-materiálu, jejichž obsah nelze měnit, jakmile jsou vypuštěny z dávkovacích násypek.



Obr. 19 – Kontinuální obalovna se společným ohřevem materiálů [29]

Recyklovaný asfaltový materiál je ohříván průběžně s kamenivem, buď za studena společně s kamenivem, nebo samostatně ve střední části mísicího bubnu (**Obr. 19**). Nevyužitě kamenivo a R-materiál se samostatně navažuje na vahách umístěných na pásovém dopravníku, společně se suší a zahřívá v bubnu a v jedné pracovní operaci se míchá s přidáním pojivem. U obou procesu je možné přidávat až 50% asfaltového recyklátu.

V kontinuální obalovně může být R-materiál zahříván také pomocí samostatného zařízení – paralelního bubnu (**Obr. 20**). Avšak teplota nesmí být větší než 130 °C, z důvodů zachování pojiva a také aby se snížila produkce emisí. Stejně jako v případě šaržové obalovny může být při výrobě asfaltové směsi použito vysoké množství asfaltového recyklátu. A to 80% R-materiálu při výrobě směsi s do podkladních vrstev či dokonce až 100% R-materiálu při výrobě asfaltové směsi do spodní podkladní vrstvy vozovky.



Obr. 20 – Kontinuální obalovna s odděleným ohřevem R-materiálu [29]

3.4 Změkčovadlo (STORFLUX) [32]

STORFLUX je ropný derivát získaný při sekundární rafinaci. Slouží jako změkčovadlo k regeneraci oxidovaného asfaltového pojiva v R-materiálu. Obsahuje řadu chemických látek, které velmi úspěšně umožňují aktivaci starého pojiva. Vlastnosti tohoto změkčovadla jsou vedeny v **Tabulce 5**. Jelikož se jedná o produkt německé firmy STORIMPEX, je složení a reakce s oxidovaným asfaltovým pojivem výrobním tajemstvím. Změkčovadlo STORFLUX patří do skupiny speciálních fluxačních olejů. Do této skupiny dále patří přísady jako Storflash, Storbit (přísada pro nízkoteplotní asfaltové směsi založena na bázi vosků), Storelastic a další.

Tabulka 5 – Vlastnosti změkčovadla STORFLUX [32]

Hustota (při 15°C)	890 - 915	g/l
Viskozita (při 40°C)	80 - 120	mm ² /s
Bod vzplanutí	> 220	°C
Obsah síry	0,45	%
Obsah vody	< 0,1	%
Obsah popílku	< 1,5	%
Bod tuhnutí	-15	°C
PCB (polychlorované bifenylly)	není zjistitelný	mg/kg
Polyaromatické uhlovodíky	< 100	mg/kg
Benzo(a)ryren	< 1	mg/kg

Výpočet přidávaného množství

Množství přidávaného změkčovadla závisí na množství pojiva obsaženého v R-materiálu, na bodu měknutí pojiva v R-materiálu a na bodu měknutí přidávaného pojiva. Jelikož pojivo v recyklátu je tvrdé, má tedy vysoký bod měknutí, proto je žádoucí tuto teplotu snížit na hodnotu, která je uvedena v požadavcích normy.

Do R-materiálu zahřátého na teplotu míchání se přidává změkčovadlo o hmotnosti jednoho procenta z hmotnosti asfaltového pojiva, které je obsaženo v R-materiálu. Tím pádem se sníží bod měknutí asfaltového pojiva v recyklátu o 1°C. Výsledný bod měknutí asfaltového pojiva ve směsi můžeme snížit na hodnotu spadající do intervalu požadovaného normou.

Příklad:

Bod měknutí přidávaného pojiva:	50 °C
Bod měknutí pojiva obsaženého v R-materiálu:	59 °C
Množství asf. pojiva v R-materiálu:	5,6 %
Hmotnost přidávaného R-materiálu:	2400 g
Požadavek normy - bod měknutí (směs ACL 22+):	47-53 °C

Výpočet:

- Snížení bodu měknutí pojiva v R-materiálu o 10 °C (na 50 °C)

Hmotnost pojiva v R-materiálu:

$$m_{p,R-mat} = \% \text{pojiva} \cdot m_{R-mat} = 0,056 \cdot 2400 = 134,4 \text{ g}$$

Hmotnost změkčovadla pro snížení bodu měknutí o 1 °C:

$$m_{STORF,1^{\circ}C} = 1\% \cdot m_{p,R-mat} = 0,01 \cdot 134,4 = 1,344 \text{ g}$$

Hmotnost změkčovadla pro snížení bodu měknutí o 9 °C:

$$m_{STORF} = \text{počet snížených stupňů} \cdot m_{STORF,1^{\circ}C} = 9 \cdot 1,344 = \mathbf{12,1 \text{ g}}$$

Pro snížení bodů měknutí pojiva ve 2400 g R-materiálu o 9 °C je potřeba **12,1 g** změkčovadla STORFLUX.

3.5 Nízkoteplotní asfaltové směsi (NTAS) [26]

V posledním desetiletí je ve zvýšené míře věnována pozornost technologickým možnostem snižování pracovních teplot či rozšíření teplotního intervalu výroby a pokládky hutněných asfaltových směsí. Hledisko snížení pracovních teplot je motivováno snahou omezit energetickou náročnost výroby asfaltových směsí a docílit menší produkce CO₂ a ostatních emisí při výrobě a zpracování asfaltové směsi, včetně uvolňování výparů a aerosolů z asfaltového pojiva při jeho zpracování za horka.

3.4.1 Užití NTAS v konstrukci

Obecně mohou být používány pro obrusné, ložní i podkladní vrstvy vozovek všech tříd dopravního zatížení v tloušťkách obvyklých pro daný typ zvolené asfaltové směsi a konstrukční vrstvy. Kromě obvyklých aplikací asfaltových směsí silničního stavitelství lze tento postup účelně využít zejména pro:

- asfaltové směsi používané ve vnitřních prostorách a v tunelech (snížení emisí);
- provádění ochranných vrstev izolace a krytů na mostech;
- zpevněné letištní a jiné dopravní plochy s požadavky na urychlené uvedení do provozu (např. vzletové a přistávací dráhy);
- dopravní a průmyslové plochy s extrémním zatížením;
- stavební práce prováděné při zhoršených povětrnostních podmínkách (nevhodná roční období).
-

3.4.2 Materiál pro výrobu NTAS [26]

Kamenivo

Požadované kvalitativní parametry kameniva pro nízkoteplotní asfaltové směsi musí odpovídat požadavkům na kamenivo pro konstrukční vrstvy z asfaltových směsí dle národních příloh řady norem ČSN EN 13108 v závislosti na zvoleném typu směsi (AC, SMA, PA apod.), jakož i v souladu s ČSN 73 6121 [1].

Jako filer lze použít materiály splňující požadavky specifikované v národních přílohách ČSN EN 13108 [17].

Asfaltové pojivo

Pro výrobu nízkoteplotních asfaltových směsí se používají:

- silniční asfalty,
- polymerem modifikované asfalty,
- nízkoviskózní asfaltová pojiva (průmyslově vyrobená), která obsahují některou z organických přísad.

Nízkoviskózní pojiva, jsou dnes nejčastěji vyrobena s využitím přísad, kterými jsou amidy mastných kyselin, Fisher-Tropschův parafín či montánní vosky (+ deriváty).

R-materiál

U nízkoteplotních asfaltových směsí lze použít R-materiál, pokud to pro zvolený výchozí typ směsi připouští příslušná norma řady ČSN EN 13108 [17] a TP151 [23]. Použitý R-materiál musí být získán frézováním krytů asfaltových vozovek (pro krytové vrstvy min. 75 %). V případě použití R-materiálu nad 10 %-hm. ze směsi kameniva, je zapotřebí, aby zhotovitel předložil objednateli společně se zkouškami typu technologický předpis na získávání, skladování, úpravu a zkoušení R-materiálu dle požadavků ČSN EN 13108-8 [18], eventuálně dle požadavků TP210 [25].

U použitého R-materiálu musí být zjištěna po extrakci čára zrnitosti kameniva, obsah asfaltového pojiva a základní vlastnosti pojiva (minimálně bod měknutí metodou kroužek kulička a penetrace při 25 °C).

3.4.3 Přísady NTAS

Existují tři způsoby aplikace vhodných přísad:

- použití asfaltového pojiva s organickou přísadou pro snížení viskozity (průmyslově vyrobené nízkoviskózní asfaltové pojivo);
- použití organické přísady snižující viskozitu při výrobě asfaltové směsi (např. syntetické vosky);
- použití minerální přísady snižující viskozitu při výrobě asfaltové směsi (např. zeolity).



Obr. 21 – Frakce zeolitu [37]

Organické přísady se do asfaltového pojiva nebo směsi přidávají v doplňkovém pracovním kroku. Při aplikaci je nutné vždy dodržovat pokyny a doporučení výrobce. U staveb většího rozsahu je vhodné upřednostnit vždy použití průmyslově vyrobených (hotových) nízkoviskózních asfaltových pojiv namísto dávkování organických přísad na obalovně. Průmyslově vyrobená nízkoviskózní pojiva jsou dodána vždy jako výrobek s deklarovanými vlastnostmi.

4 Praktická část

V této kapitole jsou popsány zkoušky na vstupních materiálech, použitých při výrobě asfaltových směsí. Dále je zde popsán samotný návrh asfaltových směsí s různým obsahem R-materiálu (0%, 30%, 50% a 70%). Hlavním náplní praktické části je, zdali ložní vrstva (ACL 22+) s vyšším obsahem R-materiálu splňuje požadavky normy ČSN EN 13108-1 [17], kterými jsou odolnost proti vodě (zkouška *ITSR*), odolnost proti trvalým deformacím a moduly tuhosti. V závěru této kapitoly je popsán postup návrhu pro nízkoteplotní asfaltové směsi (*NTAS*).

4.1 Kamenivo

Kamenivo je velmi důležitou složkou hutněné asfaltové směsí. U asfaltových betonů (AC) tvoří kamenivo nosnou kostru. Proto má zcela nepochybně klíčový význam při návrhu směsí. Z hlediska návrhu asfaltových směsí je důležité stanovit zrnitost jednotlivých frakcí kameniva. Je potřeba vybírat kamenivo dobrých vlastností, odolné proti drcení a proti ohlazování.

Kamenivo pro studijní účely poskytla firma Froněk. Dovezené kamenivo bylo homogenizováno a uskladněno ve sklepních prostorách laboratoře pozemních komunikací. Pro návrh asfaltových směsí byly používány tyto frakce kameniva – vápencová moučka (filer), 0/2, 2/5, 4/8, 8/11, 11/16, 16/22. Na jednotlivých frakcích byly provedeny zkoušky potřebné k návrhu asfaltových směsí.

4.1.1 Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor [21]

Zkouška zrnitosti spočívá v roztřídění a oddělení materiálu prostřednictvím sady sít do několika frakcí. Síta jsou seřazeny sestupně dle velikosti otvorů na sítěch 0,063-0,125-0,250-0,50-1,0-2,0-4,0-8,0-11,2-16,0-22,4-31,5 mm.

Postup zkoušky:

Z každé frakce kameniva byla odebrána zkušební navážka, jejíž hmotnost byla závislá na velikosti největšího zrna kameniva dle **Tabulky 4**. Navážka byla vysušena v sušárně při teplotě $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$, dokud nebylo dosaženo ustálené hmotnosti. Takto upravená navážka se nechala vychladnout, poté byla stanovena její hmotnost (M_I).

Tabulka 6 – Hmotnost zkušebních navážek pro hutné kamenivo [21]

Velikost zrna kameniva D (maximální)	Hmotnost zkušební navážky (minimální)
[mm]	[kg]
32	10
16	2,6
8	0,6
≤ 4	0,2
Pozn.: Pro kamenivo s jiným maximálním zrnem kameniva musí hmotnost zkušební navážky odpovídat nejbližší většímu zrně kameniva uvedenému v tabulce	

Po vychladnutí byla zkušební navážka promývána vodou, a to z důvodu oddělení jemných částic menších jak 0,063 mm. Promývání se provádělo na síti s velikostí otvorů 0,063 mm. Aby nedošlo k protržení tohoto jemného síta, bylo na něj nasazeno síto 2 mm. Navážka se na sítích dostatečně promíchávala a promývala tak dlouho, dokud protékající voda nevytékala čirá.

Zůstatek na síti 0,063 se opět vysoušel v sušárně při teplotě $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$, po vysušení se nechal vychladnout, poté byl zvážena a jeho hmotnost byla zaznamenána jako M_2 .

Vypraný a vysušený vzorek se nasypal na sadu sít, která byla sestavena do sloupce sestupně od síta s největšími otvory. Pod posledním sítem bylo umístěno dno pro případ propadu částic menších jak 0,063 mm, horní síto bylo přiklopeno víkem, aby nedošlo ke ztrátě materiálu. Soustavou sít se mechanicky otřásala na vibračním zařízení určeném pro síťový rozbor (**Obr. 22**).



Obr. 22 – Laboratorní třepačky použité při stanovení zrnitosti kameniva

Poté byla jednotlivá síta odebírána a ručně se na nich dokončilo prosévání, aby nedocházelo ke ztrátě materiálu, bylo pod síto vloženo dno. Materiál, který propadl sítem při ručním prosévání, se přesypal na následující síto s menšími otvory. Zůstatek (R_i) na sítě byl zaznamenán do protokolu zkoušky. Tento postup byl opakován pro všechna síta, pokud posledním sítem (0,063) propadly jemné částice zaznamenala se jejich hmotnost (P).

Výpočet:

Veškeré hmotnosti se zaznamenali do zkušebního protokolu. Výpočet se hmotnost zůstatků na každém sítě byl stanoven jako procento hmotnosti původní vysušené navážky M_1 . Vypočítaly se součtová procenta hmotnosti původní navážky, které propadly sítem od shora dolů kromě síta 0,063 mm. [21]

Dále se stanovilo procento jemných částic (f), které propadly sítem 0,063 podle následujícího vztahu [21]:

$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 \quad (I)$$

Kde M_1 ...hmotnost vysušené zkušební navážky (v kg);

M_2 ...hmotnost vysušeného zůstatku na sítě 0,063 mm (v kg);

Phmotnost propadu jemných částic na dně (v kg)

Výsledky zkoušek jednotlivých frakcí:

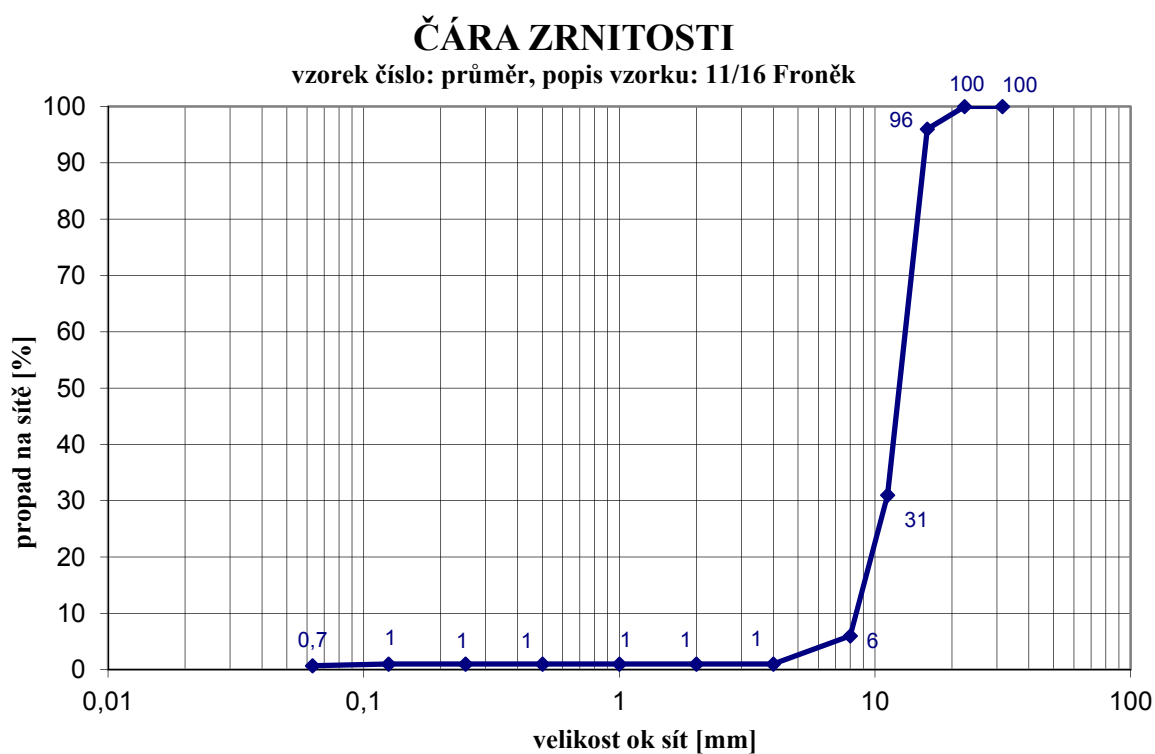
Naměřené hodnoty a následné výpočty byly přehledně zaznamenány a zpracovány v podobě protokolu, který je uveden v příloze **P.1**.

Výsledky zkoušek zrnitosti jsou přehledně uvedeny v **Tabulce 7**. Z důvodu eliminace chyby byly provedeny pro každou frakci dvě zkoušky, výsledná čára zrnitosti jednotlivých frakcí je tedy průměrem ze dvou síťových rozborů.

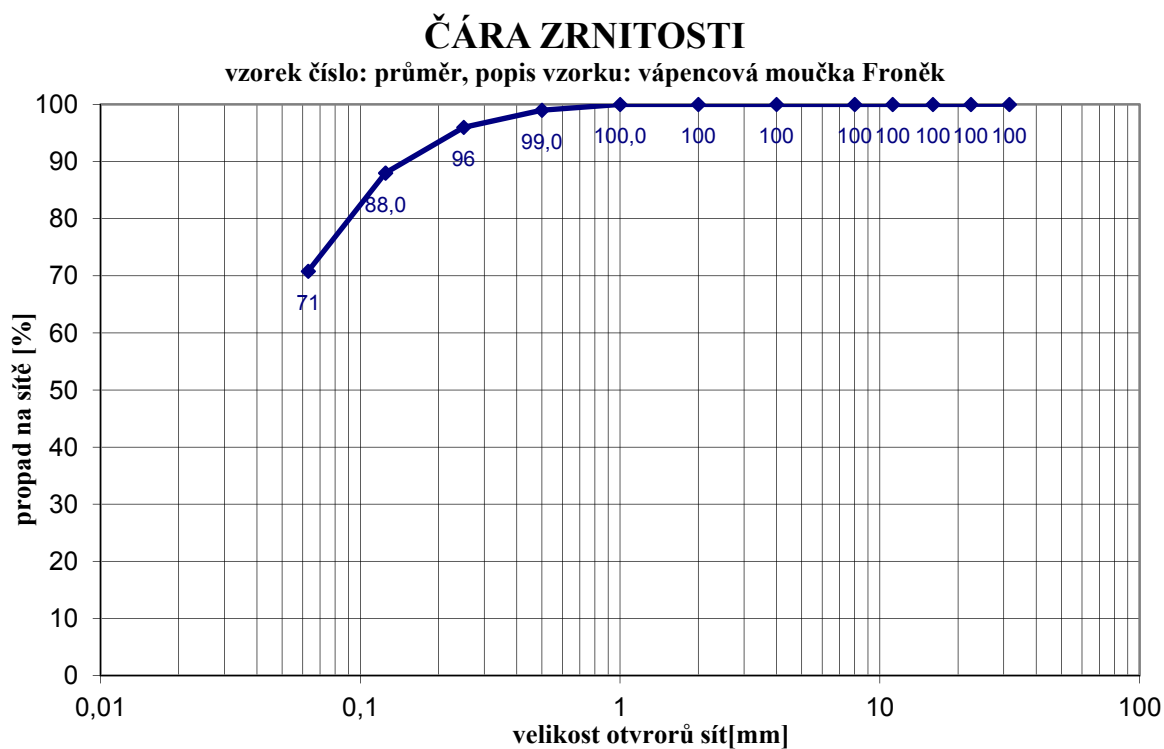
Tabulka 7 – Výsledky síťových rozborů pro jednotlivé frakce kameniva

Frakce	Propad na síť [%]hm.										
	22	16	11	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Filer	100	100	100	100	100	100	100	99	96	88	70,8
0/2	100	100	100	100	98	76	50	34	22	14	10,4
2/4	100	100	100	100	27	4	3	3	2	2	1,9
4/8	100	100	100	95	7	2	2	2	2	2	1,4
8/11	100	100	83	23	2	2	2	1	1	1	1,1
11/16	100	96	31	6	1	1	1	1	1	1	0,7
16/22	92	17	1	1	1	1	1	1	1	1	0,6

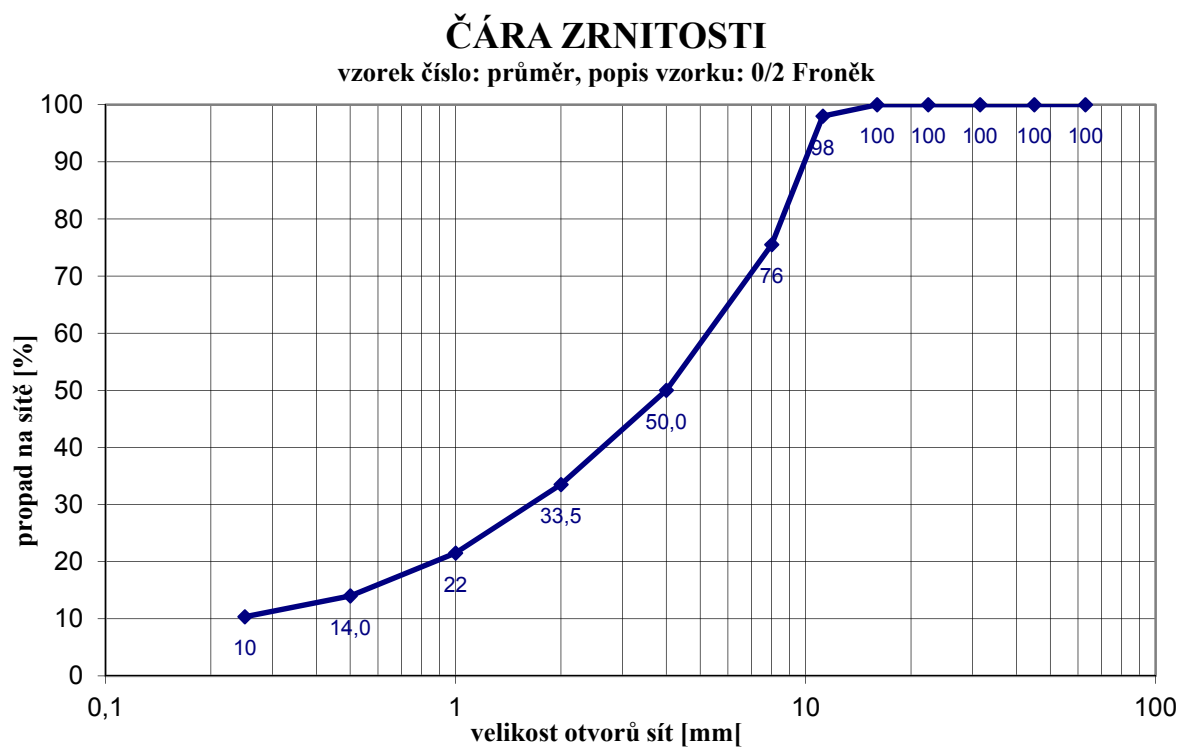
Výsledné čáry zrnitosti jednotlivých frackí:



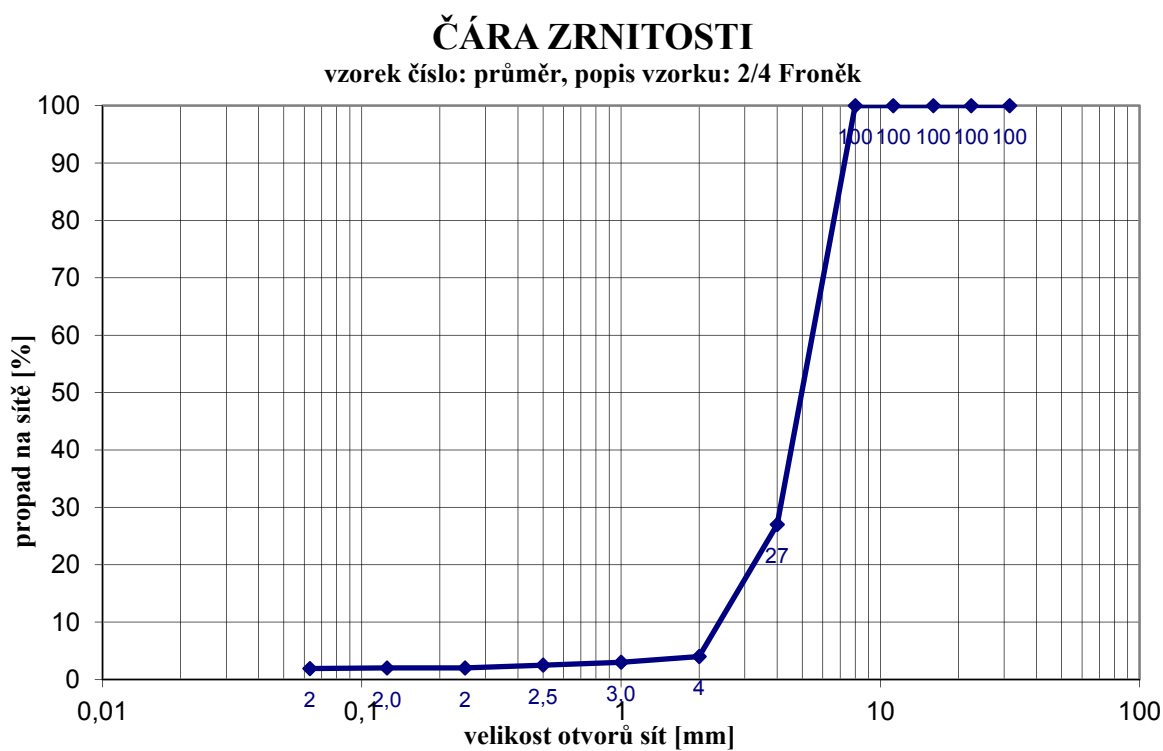
Obr. 23 – Křivka zrnitosti fracke 11/16



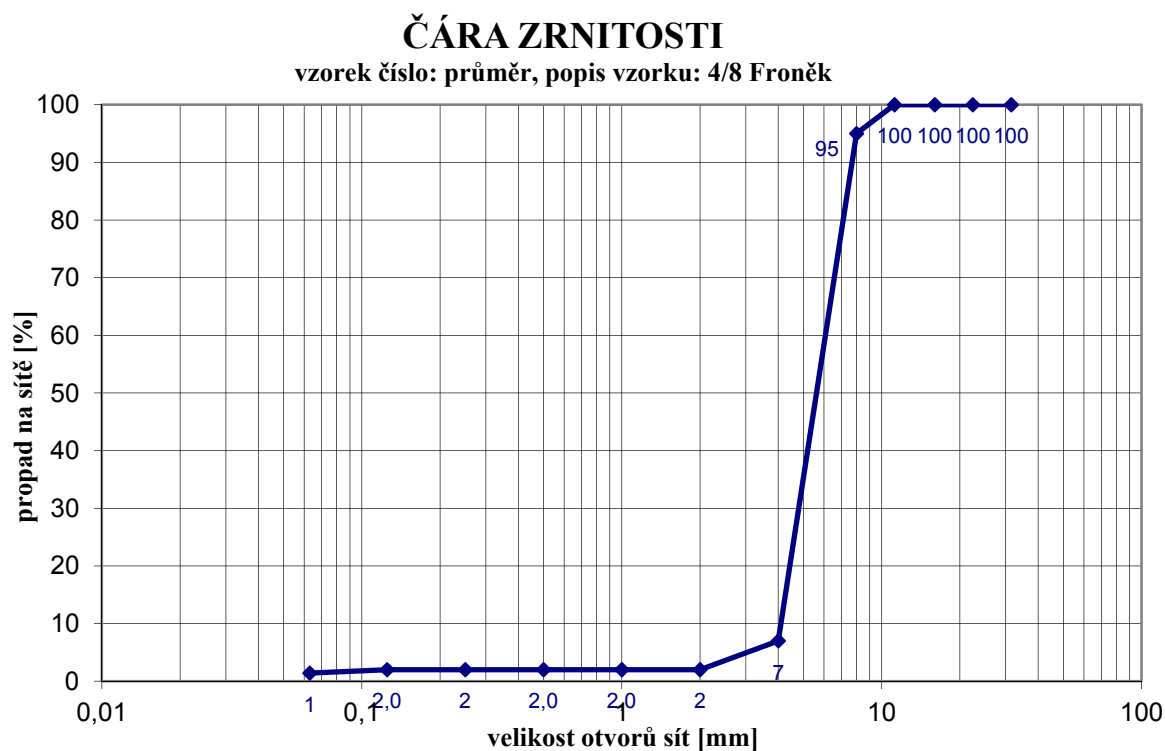
Obr. 24 – Křivka zrnitosti vápencové moučky



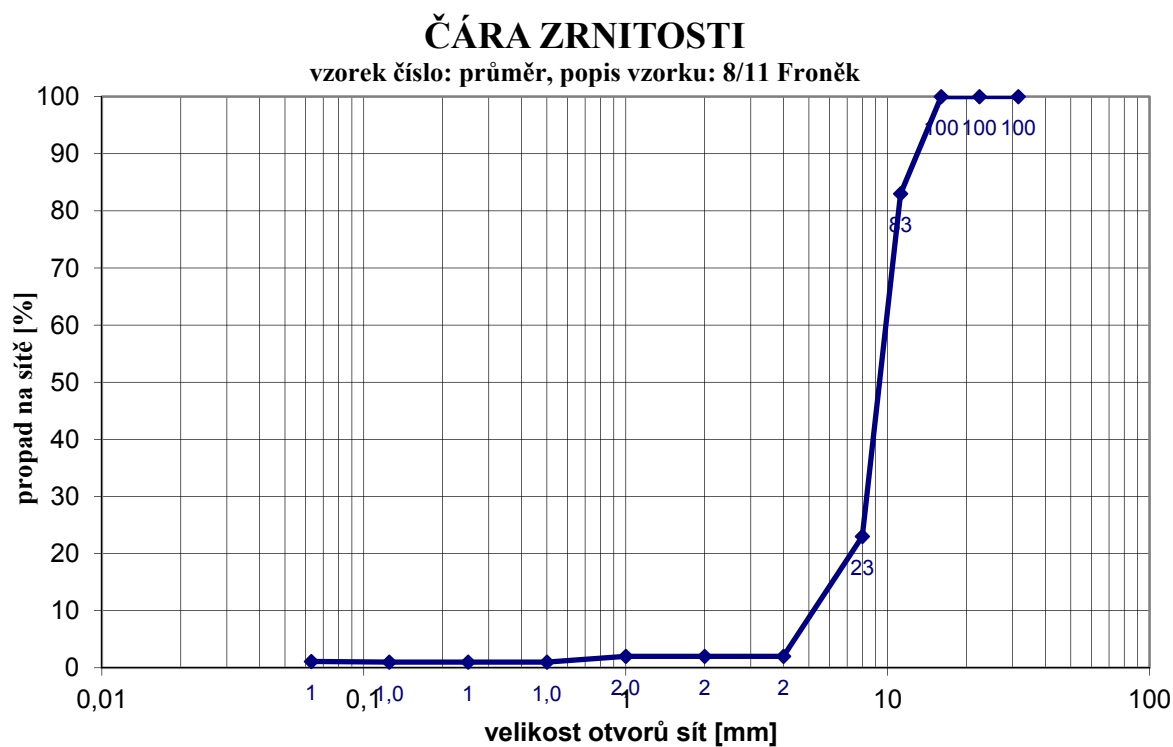
Obr. 25 – Křivka zrnitosti frakce 0/2



Obr. 26 – Křivka zrnitosti frakce 2/4



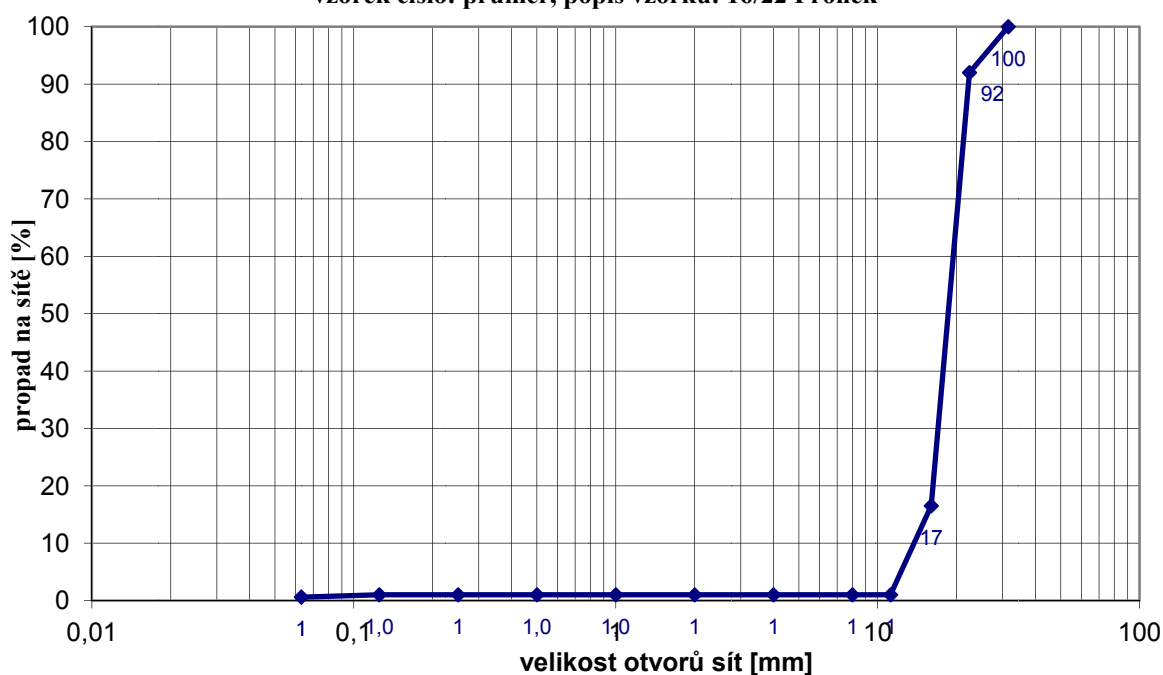
Obr. 27 – Křivka zrnitosti frakce 4/8



Obr. 28 – Křivka zrnitosti frakce 8/11

ČÁRA ZRNITOSTI

vzorek číslo: průměr, popis vzorku: 16/22 Froněk

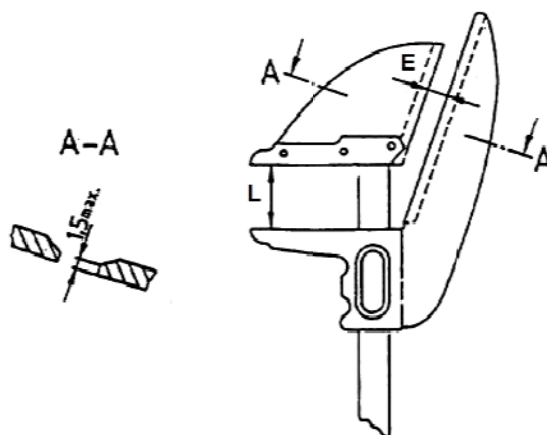


Obr. 29 – Křivka zrnitosti frakce 16/22

4.1.2 Stanovení tvaru zrn - Tvarový index [22]

Zkouška pro stanovení tvaru zrn spočívá v roztřídění jednotlivých zrn ve vzorku hrubého kameniva na základě poměru jejich délky L ke tloušťce E ve většině případech pomocí dvoučelistového posuvného měřítka (**Obr. 30**)

Tvarový index se vypočítá jako hmotnostní podíl zrn, jejichž poměr rozměrů L/E je větší než 3 a vyjádří jako procento celkové hmotnosti zkoušených zrn. [22]



Obr. 30 – Dvoučelistové posuvné měřítko pro měření tvarového indexu [22]

Zkouška tvarového indexu byla provedena na hrubých frakcích kameniva – 4/8, 8/11, 11/16 a 16/22.

Postup zkoušky:

Na začátku této zkoušky se vzorek vysušil při teplotě $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ do ustálené hmotnosti. Navážka byla následně proseta na příslušných sítích a byla oddělena zrna, která zůstala na sítu 63 mm a která propadla zkušebním sítím 4 mm. Hmotnost takto upravené navážky byla zaznamenána, jako M_0 . Hmotnosti těchto navážek jsou závislé na velikosti horního zrna D jednotlivých frakcí kameniva a jsou uvedeny v **Tabulce 6**.

Tabulka 8 – Hmotnost zkušební navážky pro určení tvarového indexu [22]

Horní velikost zrna D [mm]	Hmotnost zkušební navážky (minimální) [kg]
63	45
32	6
16	1
8	0,1
Pozn.: Pro jiné horní velikosti zrna D se hmotnosti dílčích navážek interpolují z hodnot uvedených v této tabulce	

Dále bylo nutné proséváním oddělit zrna se zrněním d_i/D_i , zrna menší než d_i a větší než D_i byla z navážky odstraněna. Hmotnost čisté frakce se zrněním d_i/D_i byla zaznamenána jako M_1 . U každého zrna se posoudí jeho délka L a tloušťka E . Toto měření bylo provedeno pomocí dvoučelistového posuvného měřítka (**Obr 23.**). Zrna, jejichž poměr délky k tloušťce je větší než 3 ($L/E > 3$), byl oddělen. Tato zrna jsou klasifikována jako zrna nekubického tvaru. Jejich hmotnost byla zapsána jako M_2 .

Výpočet a výsledky jednotlivých frakcí kameniva:

Tvarový index **SI** se vypočítá podle vztahu [22]:

$$SI = \frac{M_2}{M_1} \times 100 \quad (2)$$

, kde M_1 ...je hmotnost zkušební navážky;

M_2 ...je hmotnost nekubických zrn oddělených z navážky.

Výsledky tvarových indexů jednotlivých frakcí kameniva jsou uvedeny v **Tabulce 9**.

Tabulka 9 – Tvarové indexy pro jednotlivé frakce kameniva

Frakce	M ₀	M ₁	M ₂	Tvarový index
	[g]	[g]	[g]	[%]
4/8	119,2	103,3	20,3	20
8/11	1047,6	679,1	212,0	31
11/16	1053,7	750,7	208,2	28
16/22	3005,1	2214,6	285,2	13

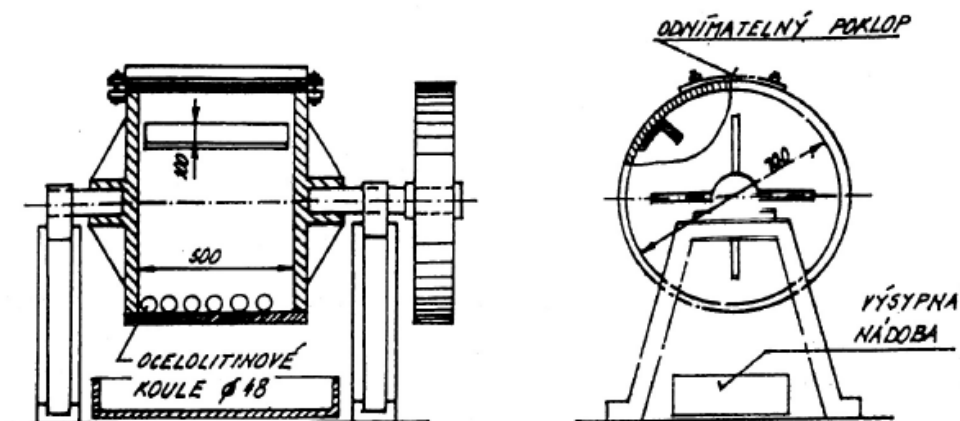
Dle požadavků normy ČSN EN 13108-1 [17] pro ložní vrstvu z asfaltového betonu ACL 22+ jsou frakce 8/11 a 11/16 nevyhovující z hlediska tvarového indexu (viz **Tabulka 12**). Uvedená norma vyžaduje tvarový index hrubého kameniva maximálně 25 % pro frakce kameniva kde $D \geq 11,2$ mm.

4.1.3 Stanovení odolnosti kameniva proti drcení metodou Los Angeles [3]

Podstatou této zkoušky je, že se vzorek kameniva omílá ocelovými koulemi při otáčení bubnu. Po předepsaném počtu otáčení bubnu se zjistí množství materiálu, který zůstane na síti s velikostí otvorů 1,6 mm.

Postup zkoušky:

Tato zkouška byla provedena na kamenivu frakce 8/11. Z frakce byla odebrána navážka, ta byla důkladně promyta, zbavena všech jemných částic a zrn kameniva, která prošla sítím s velikostí otvorů 8 mm. Navážka byla následně vysušena při teplotě (110 ± 5) °C do ustálené hmotnosti a nechala se vychladnout při laboratorní teplotě. Z takto upravené navážky byl odvážen zkušební vzorek o hmotnosti 5000,5 g. Poté byla navážka nasypána do bubnu (**Obr. 24**), který musí být zbaven všech jemných částic, jež by mohly ovlivnit přesnost výsledku.



Obr. 31 – Otlukový buben (vnitřní průměr 711 ± 5 mm, vnitřní délka 508 ± 5 mm) [34]

V prvním kroku byly do bubnu vloženy koule o hmotnosti 400 – 445 g, jejichž průměr je 45 – 49 mm. Počet koulí je závislý na frakci zkoušeného kameniva (klasifikovaného jako úzká frakce) a je uveden v **Tabulce 10**, následně byla vsypána zkušební navážka. Otvor bubnu byl uzavřen víkem a bubnem se 500 krát otáčelo při stejnoměrné rychlosti 31 – 33 ot./min.

Tabulka 10 – Alternativní klasifikace úzkých frakcí (dle přílohy A v ČSN EN 1097-2 [3])

Klasifikace frakce [mm]	Počet koulí [-]	Hmotnosti náplně koulí [g]
4 až 8	8	3410 až 3540
6,3 až 10	9	3840 až 3980
8 až 11,2	10	4260 až 4420
11,2 až 16,0	12	5120 až 5300

Po ukončení otáčení bubnu bylo kamenivo společně s koulemi vsypáno do misky, která byla umístěna přímo pod bubnem. Aby nedošlo ke ztrátě jemných částic, byl buben vevnitř vymeten pomocí smetáčku do připravené nádoby. Ocelové koule byly vyjmuty z misky a jejich povrch byl pečlivě očištěn od jemných částic.

Na výsledném vzorku kameniva byl proveden síťový rozbor. Navážka byla promývána přes síto s velikostí otvorů 1,6 mm. Po skončení promývání byl zůstatek na síti vysušen při teplotě $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ do ustálené hmotnosti a poté byla zvážena jeho hmotnost (m).

Výpočet a výsledek frakce 8/11:

Součinitel Los Angeles **LA** se vypočítá podle následujícího vzorce [3]:

$$LA = \frac{5000 - m}{50} \quad (3)$$

, kde m je hmotnostní zůstatek na síti 1,6 mm, dosazovaný v gramech. Výsledek je zaokrouhlen na celé číslo.

Hmotnost navážky při zkoušce: **5000,5 g**

Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 1,6 mm: **4329,1 g**

Po dosazení do vzorce (3) – **LA = 18 %**

Kamenivo frakce 8/11 vyhovuje požadavkům normy ČSN EN 13108-1 [17] pro návrh asfaltové směsi ACL 22+. V této normě je požadována hodnota odolnosti kameniva proti drcení **LA₂₅** (**Tabulka 12**).

Souhrn výsledných parametrů kameniva, které bylo používáno při návrhu asfaltových směsí, je uveden v **Tabulce 11**. Červeně jsou vyznačeny hodnoty, které nevyhovují požadavkům na kamenivo dle normy ČSN EN 13108-1 [17].

Tabulka 11 – Přehled výsledků na frakcích kameniva

Frakce	Propad na síť 0,063 (%)	Obsah jemných částic (%)	Nadsítné (%)	Podsítné (%)	Tvarový index SI (%)	Odolnost proti drcení LA (%)
Filer	70,8	-	-	-	-	-
0/2	-	10,4	24	-	-	-
2/4	-	1,9	73	4	-	-
4/8	-	1,4	5	7	20	-
8/11	-	1,1	17	23	31	13
11/16	-	0,7	4	31	28	-
16/22	-	0,6	8	17	13	-

Tabulka 12 – Požadavky na kamenivo do ložních vrstev podle ČSN EN 1043:2004 [17]

Článek normy, tabulka	Typ		S	+	bez ozn.
	Označení směsi ACL		16 S, 22 S	16 +, 22 +	16, 22
Požadavky na drobné kamenivo a směs kameniva					
4.1.3, tabulka 2	Zrnitost DK ($D \leq 2$) G_F		$G_F 85$		
4.1.3, tabulka 2	Zrnitost SK ($D \leq 5$ d = 0) G_A		$G_A 85$		
4.1.3.2, tabulka 4	Tolerance zrnitosti DK a SK ($D \leq 8$) G_{TC}		$G_{TC} 10$		
4.1.4, tabulka 5	Obsah jemných částic f	těžené	-	f_3	f_{10}
		drcené	f_{10}		f_{16}
4.1.5, tabulka 6	Kvalita jemných částic MB_F		$MB_F 10$		
Požadavky na hrubé kamenivo					
4.1.3, tabulka 2	Zrnitost DK ($D \leq 2$) G_F		$G_C 90/15$ (85/15)		$G_C 85/15$
4.1.3.1, tabulka 3	Tolerance zrnitosti G pro D/d	< 4	$G_{25/15}$		$G_{20/16}$
		≥ 4	$G_{20/17,5}$		
4.1.4, tabulka 5	Obsah jemných částic f		f_2		
4.1.6, tabulka 8	Tvarový index SI pro horní mez zrnění	D < 11,2	SI_{30}		SI_{35}
		D $\geq$ 11,2	SI_{25}		SI_{30}
4.2.2, tabulka 11	Odolnost proti drcení LA (zkouší se na frakci 10/14 nebo 8/11)		LA_{25}		LA_{30}
4.2.9.1, tabulka 17	Nasákavost WA_{24}		$WA_{24} 1$		$WA_{24} 2$
4.2.9.2, tabulka 20	Trvanlivost síranem hořečnatým MS		MS_{25}		
4.2.9.2, tabulka 19	Odolnost proti zrazování a rozmrazování F		F_2		F_4
4.2.12, tabulka 21	Odolnost proti rozpadavosti čediče SB		$SB_{LA} \leq 8$		
4.3.4.3, tabulka 23	Rozpínavost kameniva z ocel. strusky V		Hodnoty se deklarují		

4.2 Asfaltové pojivo

Asfalty jsou tmavé plastické až tuhé podíly z ropy koloidního charakteru. Obsahují asfaltény, ropné pryskyřice a nejtěžší ropné olejové podíly. Nejjednodušším způsobem získání asfaltů je odpaření těkavých podílů z ropy. Asfalty získané jako destilační zbytky, nejčastěji vakuové, při destilaci ropy se nazývají destilační asfalty. Asfalty se také mohou získávat v průběhu krakovacích procesů – krakovací asfalty, extrakčních procesů – např. propanové asfalty, aj. Vlastnosti takto získaných asfaltů je možné dále upravovat navazujícími procesy a technologiemi jako je oxidace, modifikace polymery, emulgování, rozpouštění atd. [27]

Silniční asfalty jsou vyrobeny z destilačního zbytku vakuové destilace ropy a upraveny polofoukáním. V případě požadavku na zlepšení přilnavosti ke kamenivu lze asfalty pro hutněné asfaltové vrstvy dodávat s přídavkem adhezní přísady. Používají se pro penetrační úpravy a nátěry a pro hutněné asfaltové vrstvy. [31]

Při návrhu asfaltových směsí byl použit silniční asfalt 50/70 Paramo Pardubice.

4.2.1 Tvrdost asfaltového pojiva – stanovení penetrace jehlou [19]

Tato zkouška je založena na měření hloubky, kterou dosáhne pronikající jehla penetrometru (*Obr. 32*) do zkoušeného vzorku při teplotě $(25 \pm 0,1) ^\circ\text{C}$ a celkové zátěži 100 g působící a jehlu po dobu 5 s.

Postup zkoušky:

Asfaltové pojivo bylo v sušárně předeřháno na teplotu, aby bylo dostatečně tekuté a bylo jej možno nalít do zkušební nádoby. Následně se nádoba naplní do výšky 5 mm pod okraj. Jsou-li na povrchu viditelné vzduchové bubliny, vzorek se opatrně promíchává skleněnou tyčinkou, aby byly tyto bubliny odstraněny. Zahřáté pojivo se nechalo zchladnout na 1 – 2 hodiny a nádoba byla zakryta, aby nedošlo k znečištění vzorku. Po ochlazení byl vzorek umístěn do vodní lázně s řízenou teplotou, kde by na perforované podložce temperován na teplotu $(25 \pm 0,1) ^\circ\text{C}$.



Obr. 32 – Penetrometr a nádobka s asf. pojivem

Před provedením penetrace je nutné zkontrolovat, zda se deska penetrometru nachází ve vodorovné poloze, není-li tomu tak uvedeme jej do této polohy pomocí stavěcích šroubů. Do vodní lázně s vodou vytemperované na teplotu $(25 \pm 0,1) ^\circ\text{C}$, která byla umístěna na desce penetrometru, byla vložena předem vytemperovaná nádobka se zkušebním vzorkem. Výška hladiny vody nad povrchem vzorku asfaltového pojiva musí být nejméně 10 mm. Jehla, která má mírně zploštělý hrot, byla zasunuta do tyče penetrometru a upevněna utažením matice. Hrot jehly byl nastaven pomocí stavěcí matice přesně tak, aby se dotýkal povrchu asfaltového pojiva a stupnice penetrometru byla vyaretována na nulu. Tímto byl vzorek připraven pro zkoušku. Jehla byla následně uvolněna a po dobu 5 sekund byla zatěžována 100 g. Výsledná hodnota byla odečtena na stupnici penetrometru, tato hodnota je stanovena jako desetina milimetru. Výsledná hodnota penetrace se určí jako průměr z 3 měření. Vzájemná vzdálenost jednotlivých vpichů a vzdálenost od stěn zkušební nádoby je minimálně 10 mm. Po každém vpichu byla jehla zbavena případných nečistot, aby byla zcela čistá pro následující vpich.

Výsledek zkoušky:

Tabulka 13 – Výsledky penetrační zkoušky

Silniční asfalt 50/70			
Vpich 1 [pen]	Vpich 2 [pen]	Vpich 3 [pen]	Výsledná penetrace [pen]
59	59	58	59

Takto stanovená výsledná hodnota penetrace je v souladu s požadavky normy ČSN EN 12591 [4] pro silniční asfalt 50/70, u kterého by se hodnota penetrace měla pohybovat v intervalu 50 – 70 pen.

4.2.2 Bod měknutí – zkouška kroužek kulička (KK) [20]

Metoda kroužek – kulička (KK) se provádí pro stanovení bodu měknutí. Jedná se o teplotu, při které se asfalt nacházející se v kroužku předepsaných rozměrů za podmínek zkoušky změkne natolik, že se tlakem ocelové kuličky protáhne na stanovenou míru. To znamená, že se dotkne spodní destičky zkušebního zařízení. Počátek měknutí asfaltu je zobrazen na **Obr. 33d**.

Postup zkoušky:

Mosazné kroužky, které jsou určeny pro stanovení bodu měknutí, byly zahřáty přibližně na teplotu roztaveného asfaltu a položeny na kovovou destičku, která byla potřena jemným filmem vazelíny. Destička se natírá z důvodu snadnějšího sundání po ochlazení asfaltu. Předehřátý asfalt byl nalit do připravených kroužků s mírným přebytkem nad horním okrajem kroužku (**Obr. 33a**). Takto připravené vzorky se nechaly vychladnout při laboratorní teplotě. Následně byla zahřátou špachtlí seříznuta přečnívající vrstva asfaltu, tak aby povrch asfaltu byl hladký a zarovnaný s horním okrajem kroužku.

Kroužky se vzorkem byly vloženy do otvorů v horní destičce stojanu a do otvoru uprostřed destičky byl umístěn teploměr, tak aby nejnižší bod rtuťové nádoby teploměru byl na úrovni spodní plochy asfaltu v kroužcích. Na kroužky se vzorkem asfaltu byli umístěny centrovací prstence a celý stojan se společně se zkušebními kuličkami ponořil do skleněné kádinky s destilovanou vodou vytemperovanou na teplotu $(5 \pm 1) ^\circ\text{C}$ tak, aby její hladina převyšovala asi o 5 cm horní okraj kroužků. Po uplynutí 15 minut byl stojan vyjmut a do středu plochy asfaltu v každém kroužku byla uložena zkušební kulička. Poloha těchto kuliček je vymezena šroubky, před zahájením samotné zkoušky se ujistíme, zdali může kulička přes tyto šroubky volně procházet. Poté byl stojan vrácen zpět do nádoby, která byla umístěna na topnou desku a zahřívána tak, aby teplota vody stejnoměrně stoupala rychlostí $(5 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$ za minutu.

a) nalití asf. pojiva do prstenců



b) vymezení polohy kuliček



c) zařízení pro provedení zkoušky



d) detail kroužku při zkoušce



Obr. 33 – Zkouška pro stanovení bodu měknutí asf. pojiva metodou kroužek – kulička

Zařízení, které zabezpečuje konstantní zahřívání vodní lázně, zaznamená pro každý kroužek a kuličku teplotu v okamžiku, kdy se vzorek protáhne pod tlakem kuličky, tak že se dotkne spodní destičky stojanu. Výsledkem je průměr výsledných hodnot pravého a levého kroužku. Tyto hodnoty by se neměly lišit o více než 1 °C. V případě že se hodnoty výrazně liší, je nutné zkoušku opakovat.

Výsledky:

Tabulka 14 – Výsledky zkoušky kroužek - kulička

Silniční asfalt 50/70		
Levý kroužek [°C]	Pravý kroužek [°C]	Bod měknutí [°C]
48,1	48,0	48,0

Výsledný bod měknutí stanovený metodou kroužek – kulička je v souladu s požadavky normy ČSN EN 12591 [4] pro silniční asfalt 50/70. Tato teplota by se měla pohybovat v intervalu 46 – 54 °C, což zkoušené pojivo splňuje.

4.3 R-materiál

Pro návrh asfaltových směsí pro ložní vrstvy ACO 22+ byl používán R-materiál frakce 0/22. Pro návrh asfaltových směsí bylo nutné zjistit obsah a vlastnosti asfaltového pojiva obsaženého v R-materiálu, dále pak čáru zrnitosti původní asfaltové směsi. Postup separace kameniva od pojiva je popsán v následující kapitole.

4.3.1 Oddělení pojiva od kameniva (odstředění + extrakce) [5] [6]

Pro zjištění vlastnosti R-materiálu je nutné asfaltové pojivo oddělit od kameniva. V prvním kroku bylo kamenivo promýváno rozpouštědlem (trichlorethylenem) na sítích, které byly vloženy do nálevky průtokové odstředivky (**Obr. 34a**). Sada sít se skládala z dolního síta 0,063 mm a síta s velikostí otvorů 2 mm. Horní síto bylo vloženo proto, aby nedošlo k protržení jemného síta. Na těchto sítích byly zachyceny částice kameniva větší než 0,063. Zbýlý filer byl pomocí průtokové odstředivky zachycen na filtračním papíře, který byl vložen do rotující ocelové patrony. Pro zjištění podílu jemných částic bylo nutné stanovit hmotnost prázdné patrony s filtračním papírem. Rozpouštědlo a v něm obsažené pojivo bylo odstřeďováno do nádoby vedle odstředivky.

Po zaplavení sady sít rozpouštědlem byl otevřen kohout plnicí nálevky, proud vytékající tekutiny byl nasměrován mimo střed nálevky odstředivky. Kamenivo bylo promýváno, dokud z nálevky nevytékalo téměř čiré rozpouštědlo. Po ukončení promývání bylo víko a stěny odstředivky očištěny od usazeného roztoku pojiva s rozpouštědlem. Síta s promýtým kamenivem a patrona s usazeným filerem byly umístěny do sušárny s odvětrávacím systémem. Kamenivo bylo v sušárně vysušeno při teplotě (110 ± 5) °C do ustálené teploty a podrobeno síťovému rozboru. Vysušená patrona s obsahem fileru byla zvážena a po odečtení původní hmotnosti patrony, byl stanoven obsah jemných částic v R-materiálu.

V dalším kroku byla provedena extrakce asfaltového pojiva z rozpouštědla v destilačním zařízení (**Obr. 34b**). Před samotnou destilací byla vnitřní strana hrdla opatřena tenkým filmem vazelíny, z důvodu utěsnění a snadnějšího rozpojení po ukončení zkoušky. Chladičem destilačního přístroje se nechala protékat studená voda. Destilační

baňka byla ponořena do vyhřívané lázně s olejem a nechala se rotovat rychlostí (75 ± 15) otáček za minutu.

a) vysokorychlostní průtoková odstředivka



b) destilační přístroj pro extrakci pojiva



Obr. 34 – Zařízení pro extrakci asfaltového pojiva

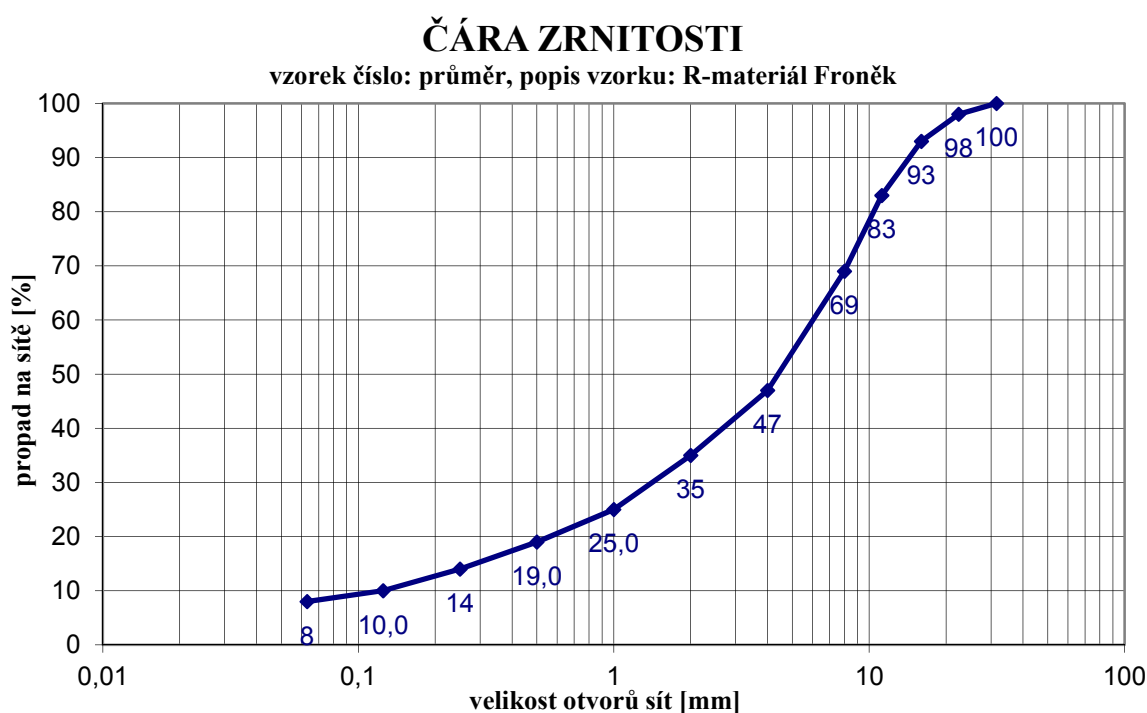
Jelikož byl jako rozpouštědlo použit trichloretylen, v první fázi extrakce byla nastavena teplota lázně na $(90 \pm 5) ^\circ\text{C}$ a tlak (40 ± 5) kPa. V této fázi byl do destilačního přístroje nasáván roztok pojiva v trichloretylenu. Trichloretylen se v průběhu extrakce srážel do jímací baňky, ta byla dle potřeby vyprazdňována. Po nasátí veškerého asfaltového roztoku do destilační baňky nastala druhá fáze extrakce. Teplota lázně byla zvýšena na $(160 \pm 5) ^\circ\text{C}$, byla odpojena vývěva a tlak byl pozvolna snížen na hodnotu $(2 \pm 0,5)$ kPa. Destilace dále probíhala do okamžiku, než se na povrchu asfaltového pojiva přestaly tvořit bubliny. Tento jev byl nejlépe pozorovatelný při zastavení rotace destilační baňky. Jelikož i po 15 minutách byly přítomny zřetelně tvořící se bubliny, byla teplota lázně zvýšena na mezní teplotu $(185 \pm 5) ^\circ\text{C}$ při stejném tlaku $(2 \pm 0,5)$ kPa. Tvoření bublin ustalo zhruba po 60 minutách při mezní teplotě.

Po ukončení procesu extrakce, se zastavila rotace baňky a v přístroji byl tlak vyrovnán na tlak atmosférický. Destilační baňka byla otřena z vnější strany a vyjmuta z destilačního

přístroje. Získané pojivo bylo rozlito do připravených prstenců, určených ke zkoušce pro určení bodu měknutí a do nádoby, která byla určena pro zjištění penetrace pojiva.

4.3.2 Vyseparované kamenivo – síťový rozbor

Po promytí R-materiálu byl získán vzorek čistého kameniva. Kamenivo bylo následně vysušeno při teplotě $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ a po zchladnutí byla provedena zkouška zrnitosti metodou síťového rozboru, jejíž postup je popsán v kapitole 4.1.1. S tím rozdílem, že jemné částice $< 0,063 \text{ mm}$ byly zachyceny na filtračním papíře vloženém do patrony, která byla součástí zařízení sloužícího pro odstředění asfaltu od jemných částic. Výsledkem síťového rozboru je čára zrnitosti uvedena na **Obr. 35**.



Obr. 35 – Křivka zrnitosti R-materiálu frakce 0/22

4.3.3 Asfaltové pojivo (obsah pojiva, penetrace a bod měknutí – KK)

Obsah pojiva v R-materiálu frakce 0/22 byl určen jako průměr z dvou vzorků uvedeného materiálu. Tyto vzorky byly zváženy a upraveny způsobem, jenž je popsán v kapitole 4.3.1. Následně byla stanovena hmotnost promytého a vysušeného kameniva. Pro zjištění obsahu pojiva v recyklátu byla odečtena hmotnost suchého kameniva od hmotnosti původní navážky. Tato hodnota je procentuelně vyjádřena vůči hmotnosti původní navážky. Výsledky obsahu pojiva jsou uvedeny v **Tabulce 15**.

Tabulka 15 – Obsah pojiva v R-materiálu frakce 0/22

Číslo vzorku	Hmotnost navážky [g]	Hmotnost kameniva po promytí rozpouštědlem [g]	Hmotnost asfaltu [g]	Obsah pojiva [%]
1	1771,6	1687,9	83,7	4,7
2	1817,3	1735,5	81,8	4,5
			Ø	4,6

Zkouška penetrace na vyextrahovaném asfaltovém pojivu byla provedena stejným postupem, jak je uvedeno v kapitole 4.2.1. Výsledky penetrační zkoušky jsou uvedeny v **Tabulce 16**.

Tabulka 16 – Výsledky penetrační zkoušky na pojivu obsaženého v R-materiálu

Pojivo vyextrahované z R-materiálu frakce 0/22			
Vpich 1 [pen]	Vpich 2 [pen]	Vpich 3 [pen]	Výsledná penetrace [pen]
24	25	25	25

Penetrace stanovená na asfaltovém pojivu vyextrahovaného z R-materiálu je příliš nízká. Z tohoto důvodu je pojivo nutné upravit vhodnou přísadou. Při výrobě asfaltové směsi byla do zahřátého recyklátu přidána přísada STORFLUX, která způsobila změkčení pojiva a zároveň snížení bodu měknutí.

Stanovení bodu měknutí pojiva v R-materiálu:

Bod měknutí asfaltového pojiva obsaženého v R-materiálu byl stanoven pomocí zkoušky kroužek – kulička (KK). Postup této zkoušky je uveden v kapitole 4.2.2. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v podobě **Tabulky 17**.

Tabulka 17 – Výsledky zkoušky kroužek – kulička pro pojivo obsaženého v R-materiálu

Pojivo vyextrahované z R-materiálu frakce 0/22		
Levý kroužek [°C]	Pravý kroužek [°C]	Bod měknutí [°C]
59,2	59,1	59,2

Výsledek zkoušky KK prokázal, že pojivo obsažené v R-materiálu nevyhovuje požadavkům normy ČSN EN 12591 [4], tento předpis vyžaduje teplotu bodu měknutí v intervalu 46 – 54 °C.

4.4 Návrh asfaltových směsí (0%, 30%, 50%, 70%)

Pro návrh asfaltové směsi s různým obsahem R-materiálu nebylo použito běžného postupu, který je popsán v normě ČSN 73 6160 [2]. Prvotní návrh vycházel z křivky zrnitosti, podle které jsou vyráběny asfaltové směsi na obalovně Froněk. Tato křivka byla upravena, aby vyhověla požadavkům normy ČSN EN 13108-1 z hlediska mezerovitosti zhutněné asfaltové směsi pro ložní asfaltovou vrstvu ACL 22+. Tyto požadavky jsou uvedeny v **Tabulce 18**. Pro každou směs byla vyrobena vždy jedna sada, zbylé dvě byly dopočítány. Výsledky zkoušek typu jsou uvedeny v přílohách **P. 6 – P. 11**.

Tabulka 18 – Požadavky na asfaltové směsi ložních vrstev [17]

Typ	S		+		bez ozn.	
Označení směsi ACL	16 S, 22 S		16 +, 22 +		16, 22	
Počet úderů Marshallova pěchu	2 x 75		2 x 50		2 x 50	
Všeobecné požadavky						
Zrnitost / síto (mm)	ACL 16 S	ACL 22 S	ACL 16 +	ACL 22 +	ACL 16	ACL 22
31,5	-	100	-	100	viz ACL 16 +	viz ACL 22 +
22,4	100	90-100	100	90-100		
16	90-100	72-84	90-100	70-95		
11,2	-	-	-	-		
8	52-72	48-62	52-80	46-72		
4	34-54	-	31-61	-		
2	24-40	24-36	20-45	18-43		
0,125	5-13	4-12	4-16	4-15		
0,063	4-10	3-9	3-10	3-9		
Minimální mezerovist V _{min} (%)	4,0 (3,0)					
Maximální mezerovist V _{max} (%)	6,0 (8,0)					
Minimální poměr pevnosti v příčném tahu <i>ITSR</i> (%)	80		70		-	
Maximální poměrná hloubka koleje <i>PRD_{AIR}</i> (%)	3,0		<i>PRD_{deklarovaná}</i>		-	
Maximální přírůstek hloubky koleje <i>WTS_{AIR}</i> (mm/10 ³ cyklů)	0,05		<i>WTS_{deklarovaná}</i>		-	
Mezní hodnoty teploty asfaltové směsi pro silniční asfalty (°C)	30/45 = 155 – 195 °C, 35/50 a 40/40 = 150 – 190 °C, 50/70 a 70/100 = 140 – 180 °C					
Mximální podíl STK a SK nebo DTK a DK (%)	jen drcené		50%			

Empirické požadavky (pokračování Tabulky 18)						
Minimální obsah rozpustného pojiva B_{min} (% hm.)	4,2	4,0	4,2	4,0	viz ACL 16 +	viz ACL 22 +
Minimální obsah rozpustného pojiva B_{vol} (% obj.)	9,8	9,2	9,8	9,2		
Minimální stupeň vyplnění mezer VFB_{min} (%)	-		60	60		
Maximální stupeň vyplnění mezer VFB_{max} (%)	-		74	71		

4.4.1 Výroba asfaltové směsi s obsahem R-materiálu

V prvním kroku byl recyklát a kamenivo vysušen při teplotě $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Po vychladnutí byly podle receptury naváženy hmotnosti jednotlivých frakcí kameniva a R-materiálu. Tyto navážky a asfaltové pojivo byly opět vloženy do sušárny a zahřívány na požadovanou teplotu míchání – $160 ^\circ\text{C}$. Teplota byla kontrolována digitálním teploměrem. Po dosažení teploty míchání, bylo do ohřátého R-materiálu nadávkováno změkčovaadlo STORLUX. Hmotnost dávkované přísady byla stanovena výpočtem, který je uveden v kapitole 3.4. R-materiál byl s přísadou pro změkčení pojiva smíchán a vrácen na dobu 10 minut do sušárny. Po uplynutí této doby, se asfaltová směs míchala v nádobě zobrazené na **Obr. 36b**. Tato nádoba byla také předehřívána v sušárně.

a) sušárna sloužící k ohřevu kameniva, pojiva a R-materiálu



b) zařízení sloužící pro míchání asf. směsi



Obr. 36 – Zařízení použita při výrobě asfaltové směsi

V nádobě na míchání se nejprve smíchal filer s drobným kamenivem (fr. 0/2 a 2/4), následně bylo přidáno hrubé kamenivo a R-materiál. Po pečlivém ručním promíchání kameniva s recyklátem bylo na váze nadávkováno asfaltové pojivo. Poté byla směs míchána po dobu 2 minut v míchačce na asfaltovou směs (**Obr. 36b**). Po skončení míchání byla směs přesypána na podložce, kde byla z důvodu homogenizace dodatečně promíchána.

Směs byla dále zpracovávána dle potřeby použití. K výrobě zkušebních těles (Marshallova tělesa, desky) byla horká homogenizovaná směs navažována do určených nádob podle požadované hmotnosti. Nádobky s horkou směsí byly vloženy do sušárny a zahřívány na referenční teplotu potřebnou pro hutnění. Referenční teplota pro hutnění zkušebních těles byla stanovena na 150 °C.

V případě stanovení objemové hmotnosti nezhutněné směsi, bylo obalené kamenivo promícháváno, aby ve směsi nevznikly nežádoucí shluky, které by ovlivnily stanovení objemové hmotnosti.

4.4.2 Stanovení maximální objemové hmotnosti (ρ_{mv}) [7]

Maximální objemová hmotnost se společně s objemovou hmotností používá k výpočtu obsahu mezer ve zhutněném vzorku a dalších vlastností zhutněné asfaltové směsi, které se vztahují k jejímu objemu.

a) *naplnění
pyknometru*



b) *odstranění
vzduchu pomocí
vakua*



c) *temperování ve vodní lázni na
25°C*



Obr. 37 – Postup stanovení maximální objemové hmotnosti nezhutněné asf. směsi

U volumetrického postupu se maximální objemová hmotnost asfaltových směsí stanoví z objemu vzorku bez mezer a jeho suché hmotnosti. Objem vzorku se měří jako objem vody popřípadě rozpouštědla vytěsněného vzorkem v pyknometru.

Postup zkoušky

Zkouška byla provedena podle volumetrického postupu. V prvním kroku byl pyknometr o známé hmotnosti (m_1) a objemu (V_p) naplněn vysušeným zkušebním vzorkem. Následně byla stanovena hmotnost naplněného pyknometru s nástavcem (m_2). Poté byla do pyknometru se vzorkem nalita odvzdušněná voda, jejíž hladina sahala maximálně do výšky 30 mm pod okraj pyknometru. Zachycený vzduch se odstraní použitím vakua (**Obr. 37b**), kam se naplněný pyknometr vloží na dobu (15 ± 1) minut. Zátka pyknometru se nasadí po opatrném naplnění pyknometru odvzdušněnou vodou až téměř po referenční značku zátky tak, aby nedošlo k vniknutí vzduchu. V případě použití rozpouštědla byl nástavec pyknometru zakryt vhodným způsobem (např. alobalem), aby nedošlo k odpařování rozpouštědla.

Pyknometr se umístí do předem vytemperované vodní lázně s rovnoměrnou zkušební teplotou (25 ± 1) °C ne dobu nejméně 30 minut, ne však déle než na 180 min, aby se dosáhlo vyrovnaní teploty vzorku a vody v pyknometru s teplotou vody ve vodní lázni. Pokud byl pyknometr naplněn rozpouštědlem temperoval se ve vodní lázni minimálně 60 minut. Voda ve vodní lázni dosahovala přibližně do výšky 20 mm pod okraj pyknometru.

Po uplynutí doby potřebné k temperování byl pyknometr doplněn destilovanou vodou (popř. rozpouštědlem), která měla stejnou teplotu jako zkušební teplota v lázni. Následně byl pyknometr vytažen z vodní lázně, osušen z vnější strany a ihned byla stanovena jeho hmotnost (m_3). Zkouška byla provedena ve 3 pyknometrech – 2 pyknometry naplněné destilovanou vodou a 1 pyknometr naplněn rozpouštědlem (konkrétně trichlorethylenem). Výsledná hodnota byla stanovena jako průměr ze dvou hodnot, určených z pyknometrů naplněných vodou. Pyknometr s rozpouštědlem sloužil ke kontrole případných nesrovnalostí při určení maximální objemové hmotnosti asfaltové směsi

Výpočet a výsledky:

Maximální objemová hmotnost je vypočtena dle vzorce [7]:

$$\rho_{mv} = \frac{m_2 - m_1}{1000 \times (V_p - \frac{m_3 - m_2}{\rho_w})} \quad (4)$$

, kde ρ_{mv} je maximální objemová hmotnost asfaltové směsi (kg/m^3),

m_1 hmotnost pyknometru s nástavcem (g),

m_2 hmotnost pyknometru s nástavcem a zkušební vzorku (g),

m_3 hmotnost pyknometru s nástavcem (g)

V_p objem pyknometru při naplnění po referenční značce nástavce (m^3)

ρ_w hustota vody nebo rozpouštědla při zkušební teplotě (kg/m^3)

V příloze **P. 4** je vložena tabulka, ve které jsou uvedeny hustoty vody upravené korekčním faktorem závislého na teplotě.

Tabulka 19 – Výsledky zkoušek pro stanovení maximální objemové hmotnosti

Vyplnění mezer	Maximální objemová hmotnost směsi ρ_{mv} [kg/m^3]			
	Obsah R-materiálu			
	0%	30%	50%	70%
rozpouštědlem	2601	2587	2567	2562
vodou	2580	2570	2554	2547
	2584	2559	2561	2562
Ø	2582	2565	2558	2555

4.4.3 Stanovení objemové hmotnosti zhutněné asfaltové směsi (ρ_{bssd}) [8]

Zkouška pro stanovení objemové hmotnosti se provádí na Marshallových zkušebních tělesech. Tělesa jsou zvážena ve třech stavech:

- na suchu,
- ve vodě a
- povrchově osušena.

Postup zkoušky:

Z namíchané asfaltové směsi byla odebrána navážka pro výrobu zkušební tělesa, ta byla vložena do sušárny a zahřátá na teplotu hutnění ($150\text{ }^{\circ}\text{C}$). Po dosažení teploty hutnění, byla horká asfaltová směs hutněna ve válcových formách Marshallovým pěchem (**Obr. 38**). Podle požadavků normy ČSN EN 13108-1 [17] je pro ložní vrstvu ACL 22+ určeno 2 x 50 hutnicích rázů. Po skončení hutnění se tělesa nechala vychladnout na podložce. Následně byla tělesa z forem vytlačena pomocí hydraulické panenky. K určení objemové hmotnosti zhutněné asfaltové směsi byly vyrobeny tři Marshallovy tělesa.

Na suchém zkušebním tělese byla stanovena hmotnost m_1 . Zkušební těleso bylo ponořeno do vodní lázně temperované na známou zkušební teplotu. Hustota vodní lázně byla stanovena na základě její teploty při zkoušce. Hodnoty hustoty vody v závislosti na teplotě jsou uvedeny v tabulce v příloze **P. 4**. Těleso se nechalo tak dlouho sytit vodou, než byla jeho hmotnost po nasycení ustálena na konstantní hodnotě. Jako minimální doba k nasycení se uvažuje 30 minut.



Obr. 38 – Hutnící pěch pro výrobu těles a Marshallova tělesa

Po dostatečném nasycení byla stanovena hmotnost ponořeného tělesa (m_2), přičemž bylo nutné, aby na povrchu tělesa neulpívaly žádné vzduchové bublinky nebo z něj nevycházely při vážení. Následně bylo zkušební těleso vyjmuto z vody, povrchově osušeno otřením vhodnou textilií. Okamžitě po osušení tělesa nasyceného vodou se stanovila jeho hmotnost (m_3).

Výpočet a výsledky:

Objemová hmotnost zhutněné asfaltové směsi je vypočtena dle vzorce [8]:

$$\rho_{bssd} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \times \rho_w \quad (5)$$

, kde ρ_{bssd} je objemová hmotnost zhutněné asfaltové směsi (kg/m^3),

m_1 hmotnost suchého tělesa (g),

m_2 hmotnost tělesa ponořeného ve vodní lázni (g),

m_3 hmotnost tělesa nasyceného vodou a povrchově osušeného (g)

ρ_w hustota vody při zkušební teplotě (kg/m^3) (uvedena v **Příloze P. 4**)

Pro každou směs byly vyrobeny 3 Marshallovy tělesa. Výsledné hodnoty objemové hmotnosti asfaltové směsi byla vypočtena jako průměr ze tří hodnot. Výsledky jsou uvedeny v **Tabulce 20**.

Tabulka 20 – Výsledky objemových hmotností jednotlivých směsí

Číslo tělesa	Objemová hmotnost zhutněné směsi ρ_{bssd} [kg/m ³]			
	Obsah R-materiálu			
	0%	30%	50%	70%
1	2442	2418	2464	2419
2	2441	2417	2450	2436
3	2444	2419	2449	2453
Ø	2442	2418	2454	2436

4.4.4 Stanovení mezerovitosti (V_m) navržených asfaltových směsí [9]

Mezerovitost asfaltové směsi byla vypočtena podle vzorce [9]:

$$V_m = \frac{\rho_{mv} - \rho_{bssd}}{\rho_{mv}} \times 100 \quad (6)$$

, kde V_m je mezerovitost asfaltové směsi (%)

ρ_{bssd} objemová hmotnost zhutněné asfaltové směsi (kg/m³),

ρ_{mv} maximální objemová hmotnost asfaltové směsi (kg/m³)

Výsledky stanovených mezerovitostí jsou pro jednotlivé směsi s různým obsahem R-materiálu uvedeny v **Tabulce 21**.

Tabulka 21 – Mezerovitosti směsí s různým obsahem R-materiálu

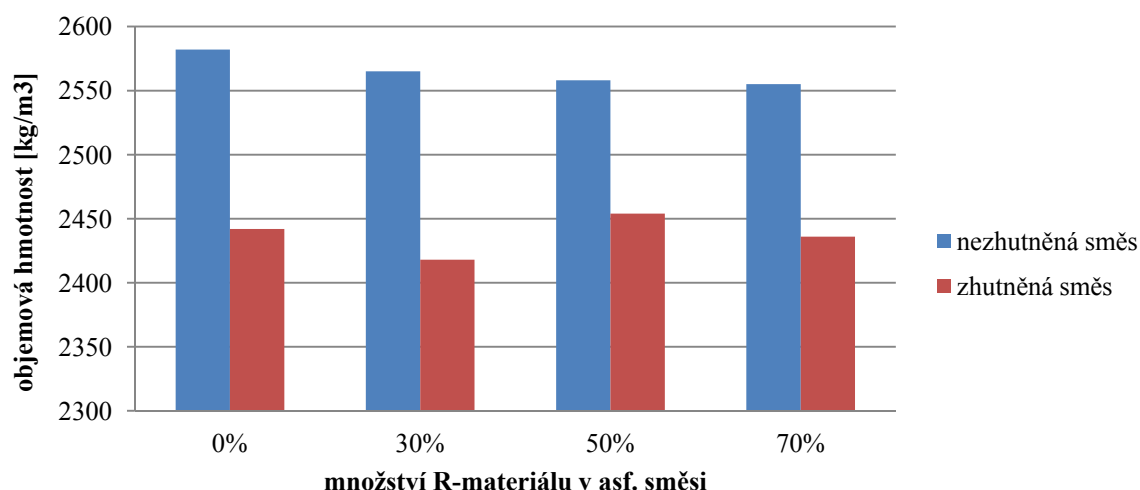
	Obsah R-materiálu v asfaltové směsi			
	0%	30%	50%	70%
ρ_{mv} [kg/m ³]	2582	2565	2558	2555
ρ_{bssd} [kg/m ³]	2442	2418	2454	2436
V_m [%]	5,4	5,7	4,1	4,7

Výsledné mezerovitosti jednotlivých směsí, jsou v souladu s požadavky pro ložní vrstvy, které uvádí již zmiňovaná norma ČSN EN 13108-1 [17]. Pro ložní vrstvu ACO 22+

tato norma uvádí mezní požadavky z hlediska mezerovitosti v rozmezí 4,0 – 6,0 %. (*Tabulce 18*).

V *Grafu 2* jsou porovnány hodnoty objemových hmotností stanovené na zhutněných a nezhutněných asfaltových směsích. Z grafu je patrné, že hodnoty objemových hmotností nezhutněné směsi mírně klesají při zvýšeném obsahu R-materiálu, kdežto z hodnot objemových hmotností není viditelná žádná závislost. Maximální objemové hmotnosti stanovené na nezhutněných vzorcích se u jednotlivých směsí s různým obsahem R-materiálu liší zhruba o 30 kg/m³, totéž platí pro objemové hmotnosti stanovené na zhutněných Marshallových tělesech.

Graf 2 – Srovnání objemových hmotností zhutněné a nezhutněné směsi



4.4.5 Zpětné zkoušky na asfaltových směsích

Vyextrahované pojivo

Postup extrakce asfaltového pojiva z asfaltové směsi je popsán v kapitole 4.3.1. Na vyextrahovaném pojivu byly provedeny zkoušky pro stanovení bodu měknutí a penetrace. Výsledné hodnoty těchto zkoušek jsou uvedeny v *Tabulce 22*.

Tabulka 22 – Vlastnosti vyextrahovaného pojiva

Parametr pojiva	Obsah R-materiálu v asfaltové směsi		
	30%	50%	70%
Bod měknutí KK [°C]	54,4	52,0	53,0
Penetrace [pen]	42	47	50

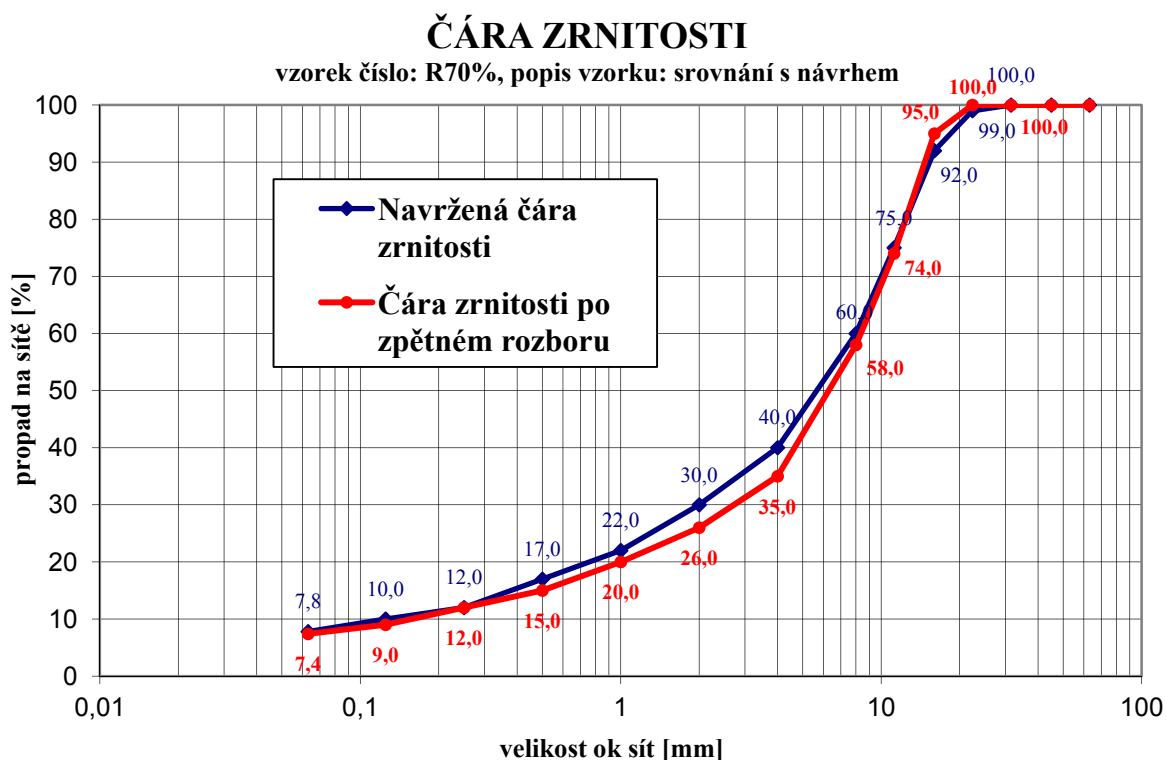
Ze zjištěných vlastností vyextrahovaného pojiva plyne, že vlastnosti pojiva ve směsi s R-materiálem jsou blízko mezních hodnot, uvedených v požadavcích normy ČSN EN 12591 [4] pro pojivo s penetrací 50/70. Hodnoty zvýrazněné červeně nevyhovují požadavkům této normy, kde jsou pro silniční asfalt 50/70, který byl dávkován do jednotlivých směsí, uvedeny následující specifikace:

- penetrace 50 – 70 pen.,
- bod měknutí 46 – 54 °C.

Z výsledku zkoušek provedených na pojivu po zpětném rozboru vyplývá, že přidávaný omlazovač (STORFLUX) dokáže pojivo obsažené v R-materiálu do jisté míry „změkčit“. Ovšem bylo by vhodné dávkovat větší množství této přísady, aby bylo dosaženo lepších vlastností pojiva výsledné asfaltové směsi. Výsledné pojivo mělo mít parametry asfaltu 50/70.

Kamenivo získané po zpětné zkoušce

Na promytém kamenivu byla provedena zrnitostní zkouška, jejíž postup je uveden v kapitole 4.1.1. Jako příklad je uveden výsledek pro kamenivo získané ze směsi s obsahem 70% R-materiálu. Po vynesení do grafu lze konstatovat, že navržená křivka zrnitosti téměř odpovídá zrnitostní křivce stanovené na zpětně získaném kamenivu.



Obr. 39 – Srovnání čar zrnitosti návrhu a zpětného síťového rozboru směsi se 70% R-mat.

4.4.6 Určení teoretického množství pojiva při návrhu asfaltové směsi podle národního předpisu ČSN 73 6160 [2]

Teoretické množství pojiva se vypočítá podle vzorce:

$$p = n \times \sqrt[5]{\varepsilon} \times \frac{2,650}{\rho_a} \quad (7)$$

,kde je p ...teoretické množství pojiva v kg asfaltu/100 kg kameniva,

n ...součinitel sytosti (3,10 nebo 3,40),

ε ...měrný povrch kameniva v m^2/kg ,

ρ_a ...objemová hmotnost kameniva v Mg/m^3

Pro běžně užívané frakce se měrný povrch kameniva ε vypočítá podle vzorce:

$$\varepsilon = 0,01 \cdot (0,174 G + 0,40 g + 2,30 S + 15,33 s + 140 f) \quad (8)$$

, kde je G ...podíl kameniva v % hm., které zadrží síto 8,

g ...podíl kameniva v % hm., které propadne sítem 8 a zadrží síto 4,

S ...podíl kameniva v % hm., které propadne sítem 4 a zadrží síto 0,25

s ... podíl kameniva v % hm., které propadne sítem 0,25 a zadrží síto 0,063,

f ... podíl kameniva v % hm., které propadne sítem 0,063

Po výpočtu teoretického optimálního množství pojiva se pro směsi typu asfaltový beton (AC) doporučuje namíchat podle ČSN EN 12697-35 tři sady tak, že teoretické optimální množství pojiva tvoří obvykle střední sadu. Pro hrubozrnné směsi ($D \geq 16 \text{ mm}$) jsou sady odstupňované o 0,4% až 0,5%.

Pro přepočet množství pojiva p v jednotkách - kg pojiva/100 kg kameniva na p^* v jednotkách - % hmotnosti se využije vzorec:

$$p^* = \left(\frac{p}{100+p} \right) \times 100 \quad (9)$$

V **Tabulce 23** je uveden výpočet návrhového množství asfaltového pojiva pro směs ACL 22+ s různým obsahem R-materiálu a pro součinitel sytosti $n = 3,1$, neboť asfaltová směs ACL 22+ se používá pro ložní vrstvy vozovky. Výpočet vychází z navržených čar zrnitosti pro jednotlivé směsi.

Tabulka 23 – Výpočet návrhového množství pojiva

Obsah R-materiálu →		0%		30%		50%		70%	
Zrnitost i	koeficienty dle vzorce (8)	% zrnitost i	$i \cdot \text{koef.}$	% zrnitost i	$i \cdot \text{koef.}$	% zrnitost i	$i \cdot \text{koef.}$	% zrnitost i	$i \cdot \text{koef.}$
G	0,174	38	6,6	40	7,0	40	7,0	40	7,0
g	0,4	20	8,0	19	7,6	18	7,2	20	8,0
S	2,3	28	64,4	29	66,7	28	64,4	28	64,4
s	15,33	5,2	79,7	4,3	65,9	4,5	69,0	4,2	64,4
f	140	8,8	1232,0	7,7	1078,0	7,5	1050,0	7,8	1092,0
ε			13,907		12,252		11,975		12,357
$\sqrt[5]{\varepsilon}$			1,693		1,651		1,643		1,653
objemová hmotnost kameniva ρ_d [kg/m ³]		2778		2757		2749		2745	
$p_{n=3,1}$ [kg/100 kg]		5,006		4,918		4,910		4,948	
$p_{n=3,4}$ [kg/100 kg]		5,491		5,394		5,385		5,427	
$p^*_{n=3,1}$ [%] (střední sada)		4,77		4,69		4,68		4,71	
$p^*_{n=3,1}$ [%] (dolní sada)		4,37		4,29		4,28		4,31	
$p^*_{n=3,1}$ [%] (horní sada)		5,17		5,09		5,08		5,11	

Poté se v jednotlivých sadách vyrobí minimálně 3 Marshallova tělesa, na kterých se stanoví jejich objemová hmotnost a dále pak maximální objemová hmotnost asfaltové směsi. Následně se vyhodnotí podle požadavků pro daný druh směsi: vždy mezerovitost V_m (% objemu) a obsah asfaltu A_p (% objemu), popřípadě stupeň vyplnění mezer pojivem VFB (%), pokud je požadován a mezerovitost směsi kameniva VMA (%). Stanovené hodnoty k vyhodnocení se vynesou do grafu.

Pro stanovení návrhového množství pojiva je rozhodující mezerovitost ztuhlé asfaltové směsi popř. stupeň vyplnění mezer.

Z požadovaných mezních hodnot těchto parametrů pro danou směs v příslušné národní příloze výrobní normy se jejich promítnutím na graf závislosti parametrů na obsahu pojiva vymezení dva (jeden) subintervaly, jejichž překrytím se stanoví interval návrhového množství pojiva.

Z intervalu návrhového množství pojiva se vybere (případně stanoví interpolací) jedna hodnota množství pojiva splňující příslušné národní přílohy na minimální obsah pojiva v % objemu. S touto hodnotou množství pojiva se provedou další vybrané zkoušky podle příslušných národních příloh. Pro navrhovanou směs ACL 22+ se dále stanovuje odolnost zkušebního tělesa vůči vodě a zkouška pojíždění kolem.

Jelikož bylo při návrhu množství pojiva postupováno dle zkušeností, respektive se vycházelo z návrhu již vyráběné směsi na obalovně Froněk, slouží tento výpočet pouze k informativnímu porovnání. Z výsledků vyplývá, že obsah pojiva dávkovaného při výrobě asfaltové směsi ACL 22+ tedy 4,4%, odpovídá dle výpočtu návrhového množství pojiva hodnotě mezi střední a dolní sadou zkušebních těles při stupni nasycení 3,10 (zvýrazněno červeně).

4.5 Zkoušky asfaltových směsí do ložných vrstev

Pro ložní asfaltové vrstvy je předepsána zkouška pojíždění kolem, pro stanovení odolnosti proti trvalým deformacím, dále pak zkouška pro zjištění odolnosti proti vodě ITSR. Na směsích s 30% a 70% byly provedeny zkoušky tuhosti, následné výsledky byly porovnány a zhodnoceny zdali vyšší obsah R-materiálu negativně ovlivňuje vlastnosti asfaltové směsi.

4.5.1 Odolnost proti trvalým deformacím – zkouška pojíždění kolem [11]

K provedení zkoušky byly vyrobeny dvě zkušební tělesa pro každou směs. Horká asfaltová směs byla vyrobena dle postupu v kapitole 4.4.1, po homogenizaci byl odebrán vzorek směsi o hmotnosti potřebné pro výrobu desky. Tato hmotnost byla stanovena v závislosti na maximální objemové hmotnosti a mezerovitosti hutněné směsi, dále na tloušťce desky a na rozměrech formy, ve které byla deska hutněna. Navážka byla vložena do sušárny a zahřáta na teplotu požadovanou pro hutnění. Tato referenční teplota byla stanovena na 150 °C.



Obr. 40 – Lamelový zhutňovač a desky vyrobené pro zkoušku

Po dosažení teploty hutnění byla horkou směsí naplněna forma lamelového zhutňovače (**Obr. 40**). Forma a podkladní deska byly před naplněním ošetřeny separačním prostředkem. Pod podkladní deskou byly vloženy distanční rámy. Výška těchto rámu byla nastavena podle požadované tloušťky desky. Pro směs ACL 22+ je pro zkoušku vyjetí kolem požadována tloušťka desek 60 mm. Směs byla ve formě opatrně a rovnoměrně rozprostřena pomocí lopatky, v rozích byla směs ručně upěchována z důvodu horšího zhutnění. Na takto upravenou směs byl vložen tenký plech, na který byly naskládány

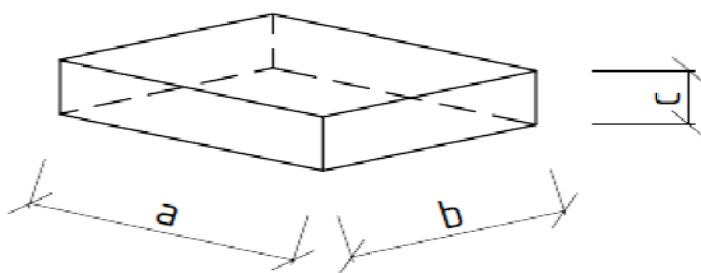
lamely. Následně byl válec spouštěn na lamely a formou bylo mechanicky pohybováno tam a zpět. Lamely byly zatlačovány konstantní silou až do dosednutí válce na formu.

Po zatlačení lamel, byl válec po dobu jedné minuty ponechán v klidu, aby bylo uvolněno vzniklé napětí ve směsi. Směs byla poté dohutněna přibližně šestnácti pojezdy válce. Zkušební těleso se nechalo vychladnout na laboratorní teplotu a následně bylo vyjmuto z formy.

Na zhotovených tělesech byly změřeny jejich rozměry, stanoveny objemové hmotnosti postupem uvedeným v kapitole 4.4.3. Dále byla vypočtena míra zhutnění vzhledem k objemové hmotnosti jednotlivých směsí, stanovené na Marshallových tělesech. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v **Tabulce 24**.

Tabulka 24 – Rozměry, objemové hmotnosti a míra zhutnění vyrobených desek

Obsah R-mater.	Číslo desky	Rozměry			Objemová hmotnost ρ [kg/m ³]	Referenční obj. hmotnost ρ_{bssd} [kg/m ³]	Míra zhutnění [%]
		a	b	c			
		[mm]	[mm]	[mm]			
0%	D1	321,9	261,0	59,9	2430	2443	99,5
	D2	321,9	260,9	60,0	2428	2443	99,4
30%	D2	321,9	261,2	60,2	2417	2418	100,0
	D3	321,8	261,1	60,2	2415	2418	99,9
50%	D1	322,0	261,2	60,2	2435	2454	99,2
	D2	321,8	261,2	60,0	2431	2454	99,1
70%	D1	321,8	261,4	60,2	2418	2436	99,3
	D2	321,9	261,3	60,1	2419	2436	99,3



Vyrobené zkušební desky byly zkoušeny z hlediska odolnosti proti trvalým deformacím. Podstatou zkoušky bylo posouzení náchylnosti asfaltové směsi k deformaci, která byla stanovena měřením hloubky vyjeté koleje vzniklé opakovaným pojezdem zatíženého kola při stálé teplotě. Zařízení pro vyjíždění kolem je navrženo tak, aby umožňovalo pohyb zatíženého kola vpřed a vzad po uchyceném zkušebním tělese. Měřicí zařízení měřilo nárůst hloubky vyjeté koleje.

Postup zkoušky

Po stanovení rozměrů a objemových hmotností bylo zkušební těleso upnuto do rámu (**Obr. 41 vlevo**). Zkouška vyjetí kolem byla prováděna metodou na vzduchu, z tohoto důvodu bylo těleso před samotnou zkouškou po dobu 4 hodiny temperováno teplotou 50 °C.



Obr. 41 – Příprava desek a vyjížděč koleji

Po uplynutí požadované doby temperování těleso upnuté do rámu bylo následně uloženo do zařízení pro pojíždění kolem a pevně upevněno ke stolu zařízení. Na upnuté těleso bylo položeno kolo, které bylo zatíženo závažím (**Obr. 42**). Totéž bylo provedeno s druhým zkušebním tělesem, poté bylo přiklopeno víko zkušebního zařízení. Po vyrovnání teplot ve zkušebním zařízení byla spuštěna zkouška. Teplota tělesa byla po dobu zkoušky udržována na teplotě 50 °C s tolerancí $\pm 1^\circ\text{C}$.



Obr. 42 – Ukázka zatíženého kola

Zařízení bylo uvedeno do pohybu a po každých 250 cyklech byl naměřen horizontální posun kola, z rozdílu počáteční polohy kola byla vypočtena hloubka vyjeté koleje. Zkouška byla ukončena po 10 000 zatěžovacích cyklech.

Výpočty a výsledek

Výsledkem zkoušky je vyjádření přírůstku vyjeté koleje na 1 000 zatěžovacích cyklů a vypočítá se podle vzorce [11]:

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

, kde WTS_{AIR} je přírůstek hloubky vyjeté koleje (mm/10³ zatěžovacích cyklů)

$d_{10\,000}$, $d_{5\,000}$ hloubka vyjeté koleje po 10 000 a 5 000 cyklech (mm)

Dále byla vypočtena poměrná průměrná hloubka vyjeté koleje dle vzorce:

$$PRD_{AIR} = \frac{d_{5\,000}}{t_d} \quad (11)$$

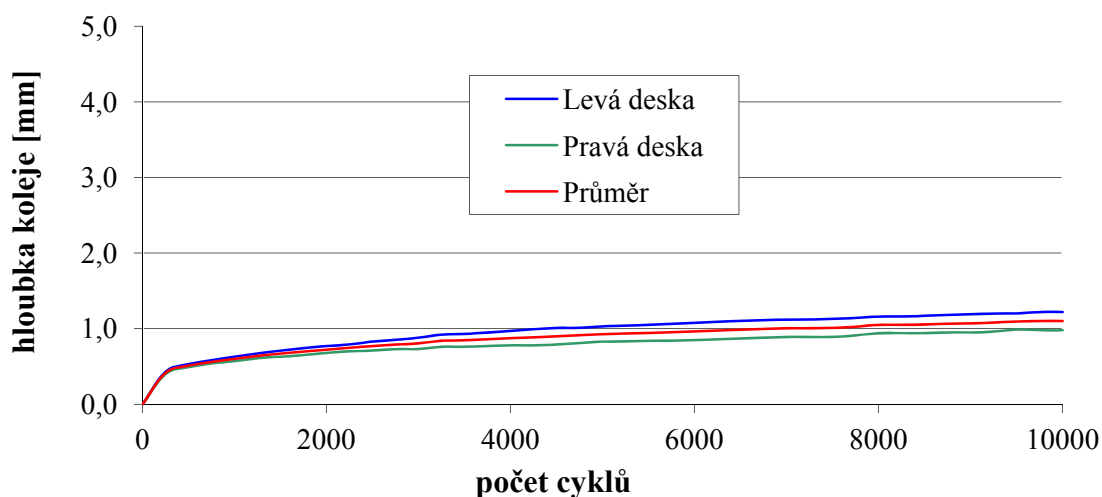
, kde PRD_{AIR} je poměrná průměrná hloubka vyjeté koleje (%)

$d_{5\,000}$ hloubka vyjeté koleje po 5 000 cyklech (mm)

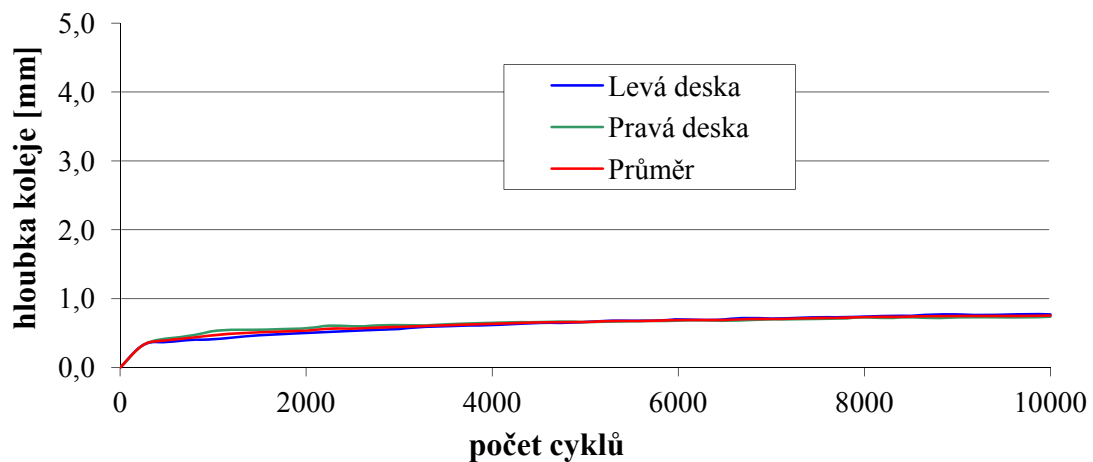
t_d tloušťka desky (mm) – pro směs ACL 22+ $t_d = 60$ mm

Hodnoty WTS_{AIR} a PRD_{AIR} byly stanoveny jako průměr z dvou hodnot, jelikož měření probíhalo na dvou zkušebních tělesech. Na výsledných grafech je zřetelný průběh rostoucí hloubky koleje.

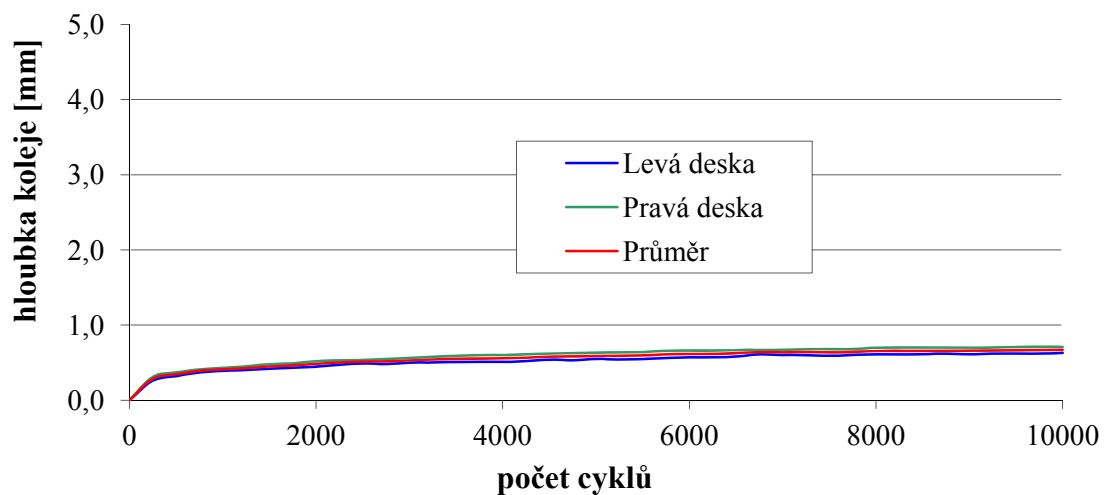
Graf 3 – Průběh hloubky vyjetých kolejí na asfaltové směsi s 0% R-materiálu



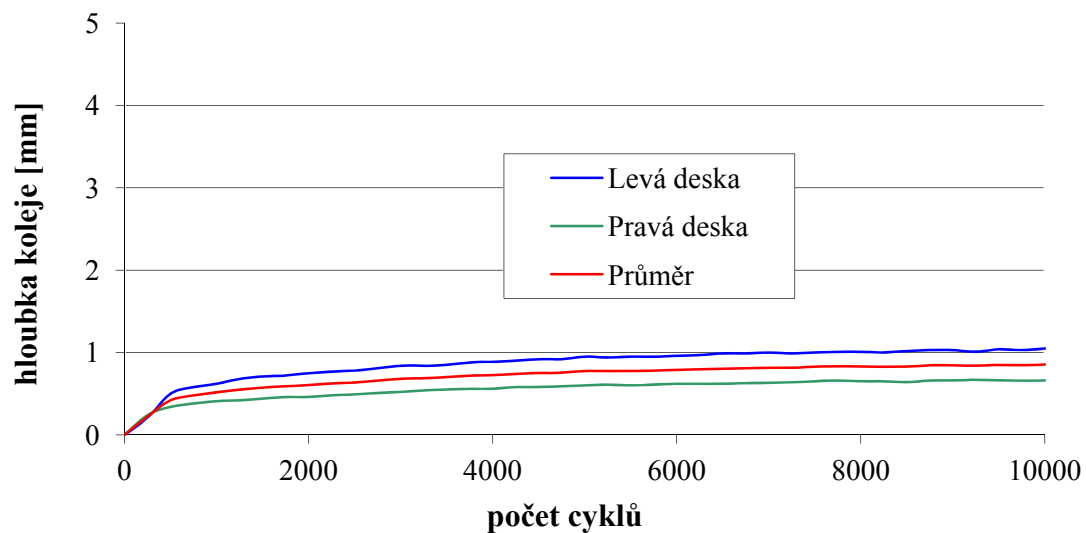
Graf 4 – Průběh hloubky vyjetých kolejí na asfaltové směsi s 30% R-materiálu



Graf 5 – Průběh hloubky vyjetých kolejí na asfaltové směsi s 50% R-materiálu



Graf 6 – Průběh hloubky vyjetých kolejí na asfaltové směsi se 70% R-materiálu



Záznamy z provedených měření jsou uvedeny v tabulkách v příloze **P. 5**. Výsledky měření jednotlivých směsí s různým obsahem R-materiálu jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 25 – Přehled výsledků zkoušky na trvalé deformace (vyjetí koleji)

Obsah R-mater.	Průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech	Průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech	$d_{10\,000}-d_{5\,000}$	přírůstek hloubky koleje WTS_{AIR}	PRD_{AIR}
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]
0%	0,93	1,10	0,17	0,034	1,6
30%	0,66	0,76	0,10	0,019	1,1
50%	0,59	0,67	0,08	0,016	1,0
70%	0,78	0,86	0,08	0,016	1,3

Z výsledků zkoušky vyplývá, že přítomnost R-materiálu v asfaltové směsi nemá negativní vliv na tvorbu trvalých deformací. Naopak u asfaltových směsí s obsahem R-materiálu byla zjištěna vyšší odolnost proti tvorbě trvalých deformací. Tuto skutečnost lze vysvětlit přítomností tvrdšího pojiva v R-materiálu a výsledných hodnot penetrace a bodu měknutí uvedených v **Tabulce 22**. Dále lze konstatovat, že u směsí s vyšší mezerovitostí, byl naměřen nepatrně vyšší přírůstek hloubky vyjeté koleje WTS_{AIR} . Dle normy ČSN EN 13108-1 [17] jsou hodnoty WTS_{AIR} a PRD_{AIR} pro ložní vrstvu ACL 22+ deklarovány pouze pro vozovky s TDZ II nebo pro vozovky s pomalou a zastavující dopravu pro TDZ III, v obou případech pouze při použití nemodifikovaného pojiva.

4.5.2 Odolnost zkušební tělesa vůči vodě – zkouška ITSR [10][12]

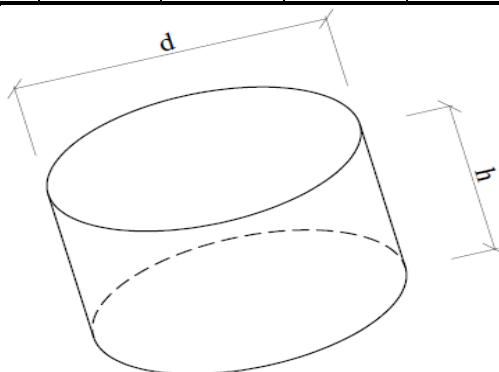
Asfaltová směs byla připravena podle postupu, který je uveden v kapitole **4.4.1**. Z horké asfaltové směsi bylo vyrobeno 6 zkušebních těles ve tvaru válce - Marshallových těles. Tato tělesa byla vyrobena stejným postupem, jenž je popsán v kapitole **4.4.3** s tím rozdílem, že při hutnění zkušebních těles, byla tělesa hutněna 2 x 25 hutnícími rázy. Jelikož zkušební tělesa byla hutněna menším počtem rázu, aby bylo docíleno požadované výšky zkušební tělesa $63,5 \pm 2,5$ mm, byly sníženy hmotnosti navážek horké asfaltové směsi.

Rozměry vyrobených těles byly stanoveny pomocí posuvného měřítka. Po zvážení suchých, mokřích a povrchově osušených těles byla vypočtena jejich objemová hmotnost podle vzorce (5) uvedeného v kapitole **4.4.3**. Podle objemové hmotnosti byly zkušební

tělesa rozděleny do dvojic, tak aby právě tyto dvě tělesa měly přibližně stejnou objemovou hmotnost. Rozměry a objemové hmotnosti jednotlivých těles jsou uvedeny v **Tabulce 26**.

Tabulka 26 – Rozměry a hmotnosti Marshallových těles pro zkoušku ITSR

Obsah R-mater.	číslo tělesa	Rozměry		Hmotnosti			Objemová hmotnost ρ_{bssd}	Dvojice
		Průměr d	Výška h	Suché m_1	Mokrý m_2	Osušený m_3		
[%]		[mm]	[mm]	[g]	[g]	[g]	[kg/m ³]	
0%	1	101,7	62,9	1147,0	670,5	1155,1	2362	1 - 6 2 - 4 3 - 5
	2	102,0	62,8	1154,8	676,9	1162,6	2372	
	3	101,9	62,0	1151,2	675,6	1155,2	2395	
	4	102,0	62,8	1152,4	675,0	1161,3	2365	
	5	101,6	63,3	1151,2	676,0	1159,8	2374	
	6	102,0	63,3	1148,9	673,8	1159,0	2363	
30%	1	102,0	64,1	1146,2	673,3	1156,9	2365	1 - 2 3 - 6 4 - 5
	2	102,0	63,5	1154,0	675,6	1163,0	2362	
	3	101,5	63,8	1153,4	676,0	1162,7	2365	
	4	102,0	63,0	1151,3	670,6	1158,4	2355	
	5	101,9	63,6	1149,3	672,8	1158,9	2359	
	6	101,8	63,7	1153,9	674,2	1161,1	2365	
50%	1	101,9	62,7	1150,8	671,3	1155,8	2370	1 - 5 2 - 6 3 - 4
	2	102,1	62,1	1155,1	675,6	1159,0	2384	
	3	101,7	63,2	1148,3	671,5	1155,1	2370	
	4	101,6	63,9	1152,5	675,0	1160,8	2367	
	5	102,0	63,6	1152,5	676,3	1161,2	2372	
	6	102,0	63,3	1151,4	676,0	1159,7	2375	
70%	1	102,1	61,4	1151,8	678,3	1154,5	2413	1 - 6 2 - 3 4 - 5
	2	101,7	62,0	1152,3	677,2	1155,4	2400	
	3	101,9	62,0	1153,2	676,8	1156,5	2398	
	4	102,0	61,4	1152,5	677,2	1154,6	2408	
	5	101,7	62,5	1152,9	677,9	1155,9	2406	
	6	102,1	61,2	1153,7	679,1	1155,6	2415	



Pro každou směs byla vyrobena sada zkušebních těles (minimálně 6). Tato sada byla rozdělena do dvou skupin o stejné velikosti. Jedna skupina těles byla udržována na suchu při laboratorní teplotě, druhá skupina byla uložena do vodní lázně, která byla temperována na zvýšenou teplotu. Po temperování byla na jednotlivých tělesech z každé skupiny stanovena pevnost v příčném tahu. Výsledkem této zkoušky je poměr pevnosti v tahu stanovené na skupině těles temperovaných ve vodní lázni k pevnosti v příčném tahu stanovené na skupině zkušebních těles udržovaných na vzduchu. Poměr těchto pevností je procentuelně se uvádí jako *ITSR*.

Postup zkoušky:

Po rozdělení sady těles do dvou skupin po 3 zkušebních tělesech. Byla skupina suchých těles uložena na rovném povrchu a udržována při laboratorní teplotě $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Skupina mokrých zkušebních těles byla uložena na děrovanou vložku ve vakuové komoře naplněné vodou o teplotě $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$, jejíž hladina sahala do úrovně nejméně 20 mm nad horním povrchem zkušebních těles.

Tělesa byla podrobena působení tlaku ve vakuové komoře, kde byl tlak regulován podle nastaveného programu příslušného zařízení. Po skončení tohoto programu, byla tělesa ponechána ponořena ve vodě po dobu (30 ± 5) min. Na tělesech byla následně stanovena objemová hmotnost dle vzorce (5) v kapitole 4.4.3. Pokud byla stanovená objemová hmotnost tělesa zvýšena o více než 2% oproti původní objemové hmotnosti, bylo toto těleso vyřazeno. Poté byla skupina mokrých těles vložena do vodní lázně s teplotou $(40 \pm 1) ^\circ\text{C}$ na dobu 68 až 72 hodin.

Podle skupiny byla zkušební tělesa temperována přímo ve vodní lázni (mokrá tělesa) nebo v termostaticky regulované sušárně (suchá tělesa) na doporučenou teplotu $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Jelikož průměr zkušebních těles byl menší než 150 mm, byly temperovány po dobu 2 hodin. Temperování těles v sušárně bylo řízeno tak, že byla zkušební tělesa uložena do sušárny společně s duplicitním zkušebním tělesem, které mělo zabudovaný teplotní indikátor.

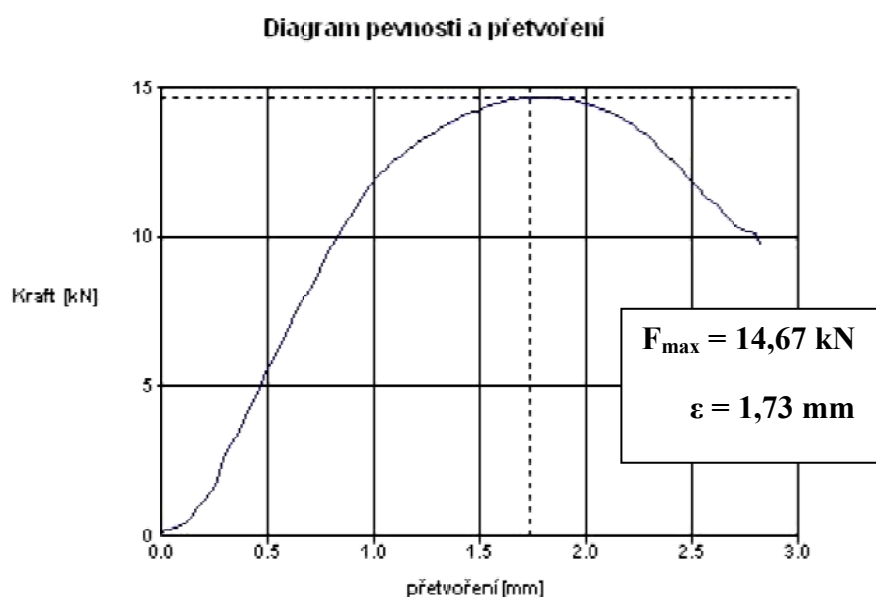
Vytemperovaná zkušební tělesa byla jednotlivě vložena mezi tlačené čelisti zkušebního lisu (**Obr. 43**). Mokrá skupina těles byla před vložením do lisu osušena osuškou. Zkušební těleso bylo umístěno na spodním zatěžovacím pásu, aby mohl být zatěžován jeho průměr. Následně bylo zahájeno stlačování zkušební tělesa. Zatížení působilo nepřerušovaně, bez nárazu při konstantní rychlosti (50 ± 2) mm za minutu, až bylo dosaženo maximálního zatížení. Tato hodnot maximálního zatížení byla zaznamenána

(F). Při zkoušce pevnosti v příčném tahu bylo dbáno na to, aby byla zkouška provedena do 1 minuty po vyjmutí zkušebního tělesa z temperované vodní lázně či sušárny.



Obr. 43 – Lis pro zkoušku v příčném tahu a detail uchycení zkoušeného tělesa

Na **Obr. 44** je uveden graf po provedení zkoušky v příčném tahu. Z tohoto grafu je patrná maximální zatěžovací síla F dosažená při zkoušce a přetvoření, které nastalo při této zatěžovací síle.



Obr. 44 – Zatěžovací diagram zkoušky v příčném tahu

Výpočty a výsledky

Výpočet pevnosti v příčném tahu byl pro skupiny mokrých a suchých těles stanoven podle vzorce [12]:

$$ITS_{w(d)} = \frac{2F}{\pi dh} \quad (12)$$

, 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)

Výsledná hodnota pevnosti v příčném tahu byla pro každou skupinu zkušebních těles určena jako průměr ze tří měření.

Následné stanovení odolnosti asfaltové směsi vůči účinkům proti vodě byla vypočtena podle vzorce [10]:

$$ITSR = 100 \times \frac{ITS_w}{ITS_d} \quad (13)$$

, kde $ITSR$ 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)

Výsledky zkoušky odolnosti vůči vodě a zkoušky pevnosti v příčném tahu stanovené na mokrých a suchých zkušebních tělesech jsou pro jednotlivé směsi s různým obsahem R-materiálu uvedeny **Tabulce 27**.

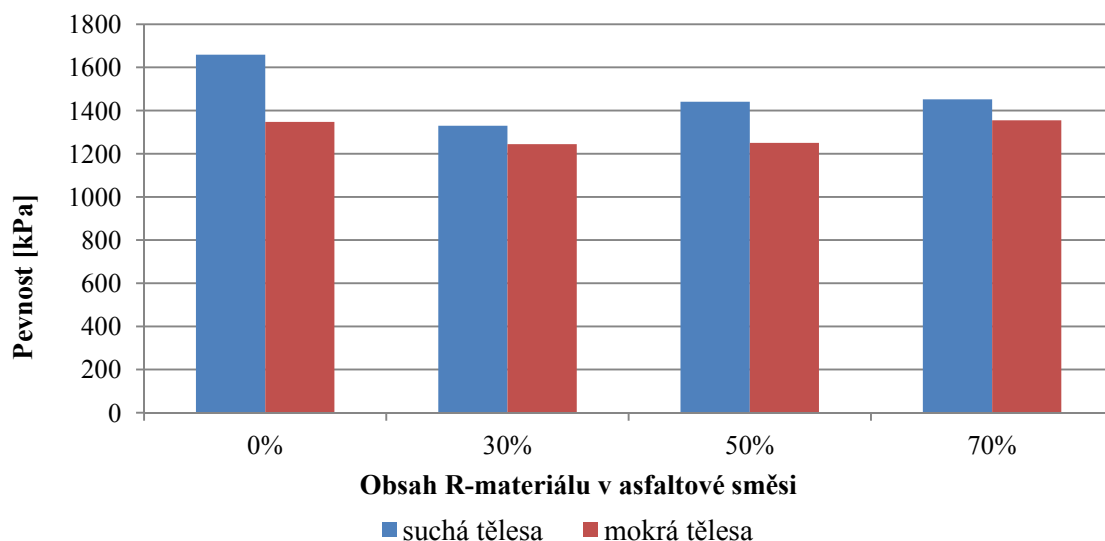
Tabulka 27 – Přehled výsledků zkoušky ITSR pro směsi s různým obsahem R-materiálu

		č. těl.	d [mm]	H [mm]	ρ [kg/m³]	Max. síla [kN]	Přetvoření [mm]	Pevnost [kPa]	Ø Pevnost [kPa]	Ø Přetvoření [mm]	<i>ITSR</i> [%]
0%	mokrě	1	101,7	62,9	2362	13,06	1,92	1300	1347	2,03	81
		2	102,0	62,8	2372	13,47	2,09	1339			
		3	101,9	62,0	2395	13,93	2,08	1404			
	suchě	4	102,0	62,8	2365	16,69	2,08	1659	1659	2,05	
		5	101,6	63,3	2374	17,22	2,01	1705			
		6	102,0	63,3	2363	16,37	2,06	1614			
30%	mokrě	1	102,0	64,1	2365	11,20	2,35	1091	1244	2,17	94
		3	101,5	63,8	2365	13,82	2,37	1359			
		4	102,0	63,0	2355	12,96	1,79	1284			
	suchě	2	102,0	63,5	2362	13,34	1,80	1311	1330	1,87	
		5	101,9	63,6	2359	12,61	2,06	1239			
		6	101,8	63,7	2365	14,66	1,76	1439			
50%	mokrě	1	101,9	62,7	2370	11,29	2,82	1125	1250	2,27	87
		2	102,1	62,1	2384	12,90	1,84	1295			
		3	101,7	63,2	2370	13,43	2,16	1330			
	suchě	4	101,6	63,9	2367	14,21	1,65	1393	1441	1,62	
		5	102,0	63,6	2372	15,28	1,43	1499			
		6	102,0	63,3	2375	14,50	1,77	1430			
70%	mokrě	1	102,1	61,4	2413	13,67	1,94	1388	1355	2,15	93
		2	101,7	62,0	2404	12,53	2,49	1265			
		4	102,0	61,4	2408	13,88	2,02	1411			
	suchě	3	101,9	62,0	2398	14,67	1,73	1478	1452	1,74	
		5	101,7	62,5	2406	14,30	1,61	1432			
		6	102,1	61,2	2415	14,18	1,87	1445			

Po provedení zkoušky odolnosti vůči vodě lze konstatovat, že výsledné hodnoty jsou v souladu s požadavky normy 13108-1 [17], kde je pro ložní vrstvu ACL 22+ požadována hodnota *ITSR* min. 70%. Z výsledků provedených zkoušek je patrné, že u směsi s obsahem R-materiálu vychází odolnost vůči vodě příznivěji než u směsi bez R-materiálu. Ovšem pevnost dosažená při zkoušce pevnosti v příčném tahu stanovena na skupině suchých těles vyšla znatelně vyšší u směsi bez R-materiálu. Možné vysvětlení tohoto výsledku je dávkování změkčovadla do směsí s recyklátem. Z *Grafu 7* je u směsí s obsahem R-materiálu patrná jistá závislost, kdy při vyšším dávkování roste pevnost v příčném tahu stanovená jak na suchých tak na mokřích zkušebních tělesech. Odolnost vůči vodě může být také závislá na mezerovitosti jednotlivé směsi. U směsí s obsahem R-materiál, u

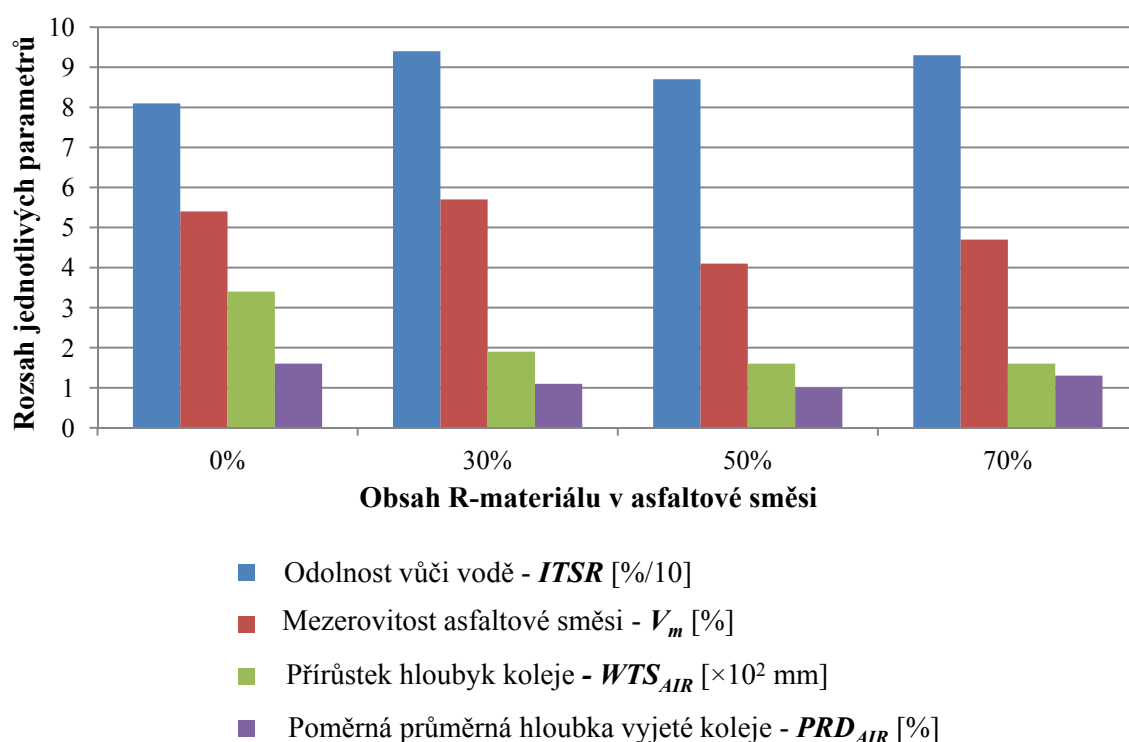
kterých byla stanovena vyšší mezerovitost, byla zjištěna vyšší pevnost v příčném tahu, což je patrné z **Grafu 8**.

Graf 7 – Grafické vyjádření výsledků zkoušky v příčném tahu (*ITSR*)



V následujícím **Grafu 8** jsou porovnány jednotlivé parametry asfaltových směsí s různým obsahem R-materiálu. Velikost porovnávaných hodnot neodpovídá jejich skutečné velikosti. Jednotlivé parametry byly převedeny tak, aby svou hodnotou spadaly do rozsahu požadovaného intervalu (1 – 10).

Graf 8 – Porovnání asfaltových směsí podle zjištěných parametrů



4.5.3 Modul tuhosti asfaltové směsi [13]

Zkouška byla provedena na tělesech vyrobených ze dvou asfaltových směsí s obsahem 30% a 70% R-materiálu. Pro účely zkoušky byly vyrobeny dvě desky z každé směsi. Z jedné desky bylo vyřezáno 5 zkušebních těles – komolých klínů neboli trapezoidů (*Obr. 45 vlevo*).



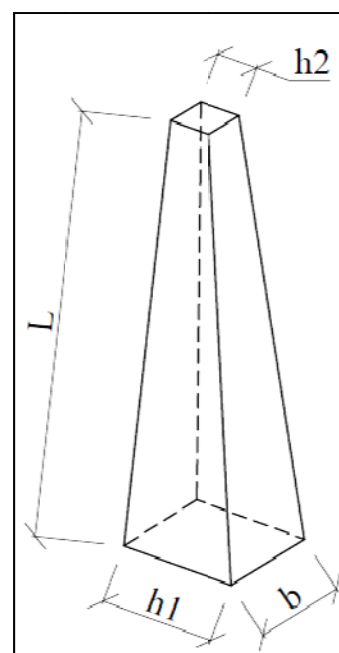
Obr. 45 – Řezačka k výrobě těles a trapezoidy

Nářezaná tělesa se nechala po dobu 48 hodin odstát, aby byla zbavena veškeré vody, kterou byla nasáknuta při řezání. Následně byla tělesa zvážena a posuvným měřítkem byly stanoveny jejich rozměry. Výsledky naměřených hodnot jsou uvedeny v **Tabulce 28**. Po stanovení rozměrů a hmotností, byla tělesa nalepena na ocelové destičky a na jejich horní podstavu byly nalepeny háčky. Tělesa byla opatřena těmito přípravky, z důvodu jejich upnutí v zařízení na měření modulu tuhosti. Jako lepidlo byla použita směs epoxidové pryskyřice, vápencové moučky a tvrdidla. Tato směs byla namíchána do požadované tekutosti vhodné pro zpracování.

Stanovení modulu tuhosti bylo provedeno pomocí zkoušky dvoubodového ohybu na tělesech tvaru jednostranně vetknutého klínu. Zkouška byla provedena na 10 tělesech z každé směsi. Jednotlivé vzorky byly deformovány v rozsahu lineárního přetvoření při vyvozování stejného zatěžování. Softwarovým programem byla měřena amplituda napětí a poměrného přetvoření spolu s fázovým úhlem mezi napětím a poměrným přetvořením. Měření modulu tuhosti probíhalo podle ČSN EN 12697-26 [13]. Z časových důvodů byl modul tuhosti asfaltové směsi stanoven pouze pro směsi s 30% a 70% R-materiálu. Výsledné hodnoty těchto dvou směsí byly následně porovnány.

Tabulka 28 – Rozměry a hmotnosti nařezaných trapezoidů

	Označení tělesa	Rozměry těles				Hmotnost
		L [mm]	h ₁ [mm]	h ₂ [mm]	c [mm]	m [g]
30% R-materiálu	113	250,2	69,6	26,4	60,2	1691,5
	213	250,0	69,5	28,9	60,1	1720,4
	313	250,0	70,7	25,2	60,1	1719,4
	413	249,8	69,3	26,6	60,1	1708,7
	513	249,7	69,4	26,4	60,1	1706,0
	143	251,5	70,4	26,0	59,9	1709,5
	243	251,4	69,4	25,4	59,9	1698,8
	343	251,2	71,1	25,4	59,8	1716,7
	443	250,7	69,6	26,4	59,9	1675,8
	543	250,3	70,7	26,6	60,0	1695,7
70% R-materiálu	137	250,9	69,8	25,0	59,7	1687,9
	237	250,9	69,3	26,0	59,6	1704,7
	337	250,7	70,0	24,9	59,5	1686,5
	437	250,5	69,1	25,9	59,4	1693,4
	537	250,3	70,1	25,6	59,5	1681,8
	147	250,6	70,1	25,4	59,6	1703,4
	247	250,8	69,2	25,3	59,6	1691,1
	347	250,7	69,8	25,5	59,3	1702,9
	447	250,6	69,2	25,9	59,5	1674,3
	547	250,2	70,6	25,5	59,7	1650,6

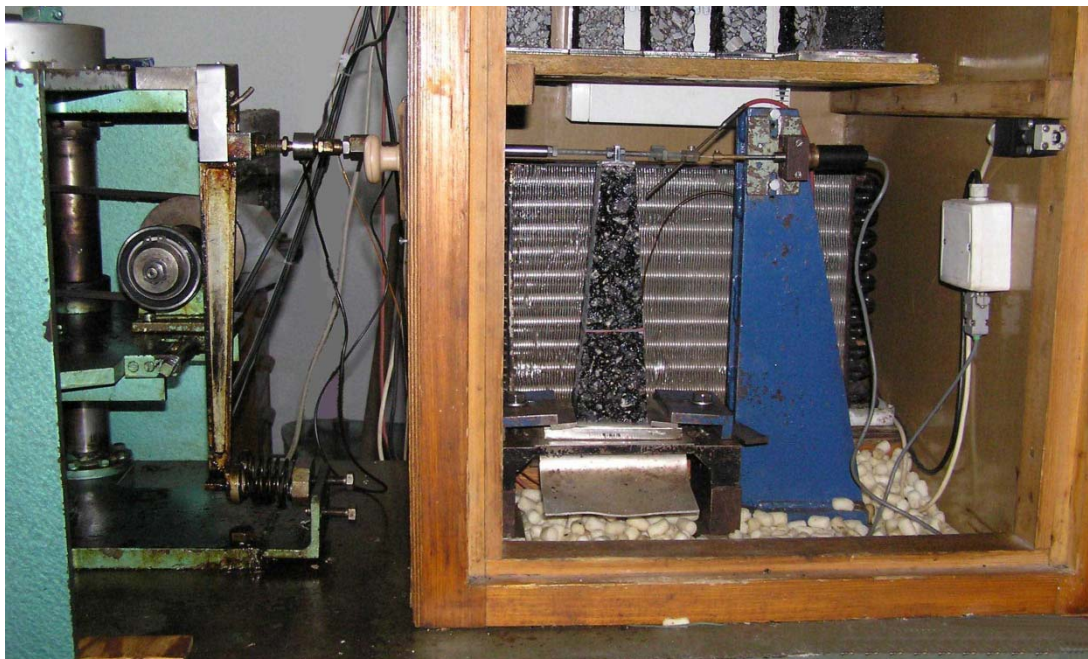


Postup zkoušky

Vyřezaná a nalepená tělesa byla temperovaná na teplotu 15 °C po dobu 4 hodin. Zkouška byla z časových důvodů prováděna pouze pro tuto teplotu. Po vytemperování těles, byla tělesa jednotlivě upnuta do zařízení v termostatické odvětrávané komoře, temperované na stejnou teplotu jako zkušební tělesa (**Obr. 46**). Upnutím tělesa v jeho dolní části bylo simulováno vetknutí. Na horní část trapezoidu (komolého klínu) bylo přichyceno táhlo se snímačem síly a deformace.

Poté byla klimatizovaná komora uzavřena a do softwaru, který byl součástí měřicího zařízení, byly uvedeny rozměry a hmotnosti jednotlivých těles. Po dosažení zkušební teploty bylo spuštěno zatěžování. Zatěžování bylo vyvozeno elektrickým motorem, který podle rychlosti otáček vyvozoval zatížení o různé frekvenci: 5 Hz, 10 Hz, 15 Hz, 20 Hz a 25 Hz. V prvním kroku zatěžování byla nastavena nejnižší frekvence (5 Hz), po deseti

měřeních při této frekvenci byla nastavena následná zatěžovací frekvence. Zkouška byla ukončena po zatěžování poslední frekvencí 25 Hz.



Obr. 46 – Zařízení pro provádění zjištění modulů tuhosti asfaltových směsí [28]

Výpočty a výsledky

Vyhodnocení bylo provedeno v softwaru, který zaznamenával hodnoty jednotlivých měření. Výsledný modul tuhosti byl stanoven podle vzorce:

$$S = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} = |E^*| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} \quad (14)$$

, kde S je modul tuhosti (MPa)

σ_0 amplituda maximálního napětí ve zkušebním tělese (MPa)

ε_0 amplituda maximálního přetvoření ve zkušebním tělese

E^* komplexní modul

E_1 reálná složka charakterizující pružné vlastnosti

E_2 imaginární složka charakterizující vazké vlastnosti

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

$$E_1 = \frac{K_1}{c} \left(\frac{P_0}{y_0} \times \cos\psi + m\omega^2 \right) \quad (15)$$

$$m = m_1 + K_2 \times m_1 \quad (16)$$

$$E_2 = \frac{K_1}{c} \times \frac{P_0}{y_0} \times \cos\psi \quad (17)$$

$$\varphi = \arctg \frac{E_2}{E_1} \quad (18)$$

$$K_1 = \frac{12L^3}{(h_1 - h_2)^3} \times \left(\ln \frac{h_1}{h_2} - \frac{(h_1 - h_2) \times (3h_1 - h_2)}{2h_1^2} \right) \quad (19)$$

, kde E_1 je reálná složka charakterizující pružné vlastnosti

E_2 imaginární složka charakterizující vazké vlastnosti

K_1 redukční součinitel závislý na rozměrech zkušebního tělesa (m^{-1})

c tloušťka zkušebního tělesa (mm)

E^* komplexní modul

P_0 naměřená velikost maximální amplitudy budící síly (N)

y_0 velikost maximální amplitudy průhybu volného konce tělesa (m)

ψ fázový úhel posunu průhybů a síly ($^\circ$)

m hmotnost kmitajících hmot (kg)

m_1 součet hmotností kmitající síly snímačů síly a dráhy, přípojného táhla zatěžovacího zařízení a příchytka zkušebního tělesa

m_2 hmotnost zkušebního tělesa (kg)

ω úhlová rychlost (s^{-1})

φ fázový úhel posunu průběhu přetvoření za průhybem síly ($^\circ$)

L výška zkušebního tělesa (mm)

h_1 šířka dolní základny komolého klínu (mm)

h_2 šířka horní základny komolého klínu (mm)

Výsledné hodnoty modulů tuhosti pro jednotlivé frekvence byly softwarem stanoveny jako aritmetický průměr z deseti měření. U obou zkoušených sad bylo vyřazeno vždy jedno

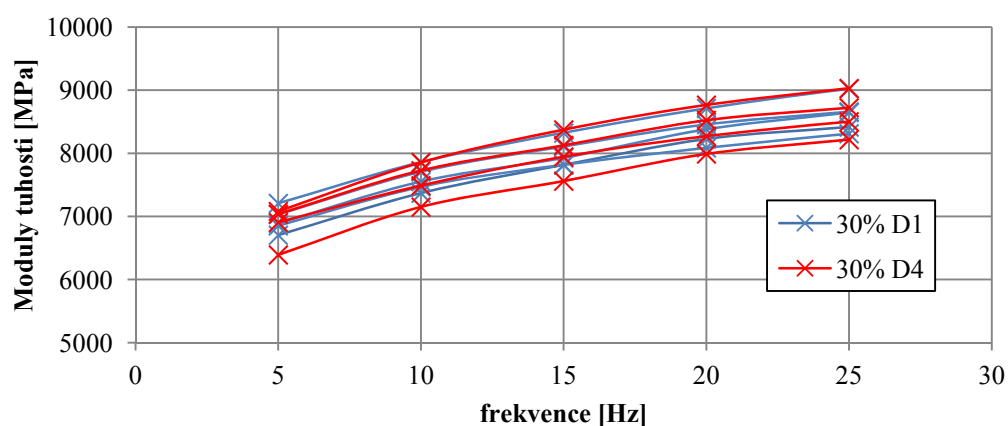
zkušební těleso, z důvodu značných odlišností naměřených hodnot, což by zkreslilo výslednou hodnotu modulu tuhosti. Hodnoty stanovené zkušebním zařízením jsou pro směs s 30% R-materiálu uvedeny v **Tabulce 29**, pro směs se 70% jsou naměřené hodnoty uvedeny v **Tabulce 30**. Hodnoty modulů tuhosti byly vyneseny do grafů (**Graf 9** a **Graf 10**). Z těchto grafů je patný růst modulu tuhosti se zvyšující se frekvencí zatěžování.

Návrhovou hodnotu v souladu s TP 170 [24] byl určen modul tuhosti stanovený při teplotě 15°C a frekvenci zatěžování 10 Hz. Tento modul byl vypočítán jako aritmetický průměr modulů tuhosti naměřených na jednotlivých tělesech.

Tabulka 29 – Výsledky zkoušky pro stanovení tuhosti směsi s 30% R-materiálu [MPa]

Označení tělesa	Frekvence zatěžování [Hz]				
	5	10	15	20	25
113	6704	7370	7817	8228	8418
213	6891	7553	7928	8381	8647
313	7208	7860	8322	8714	9020
413	6852	7468	7818	8087	8312
513	7031	7708	8108	8457	8658
143	7080	7854	8373	8765	9030
243	6907	7490	7945	8273	8501
443	7037	7727	8127	8524	8723
543	6391	7150	7560	7990	8217
Ø	6900	7576	8000	8380	8614

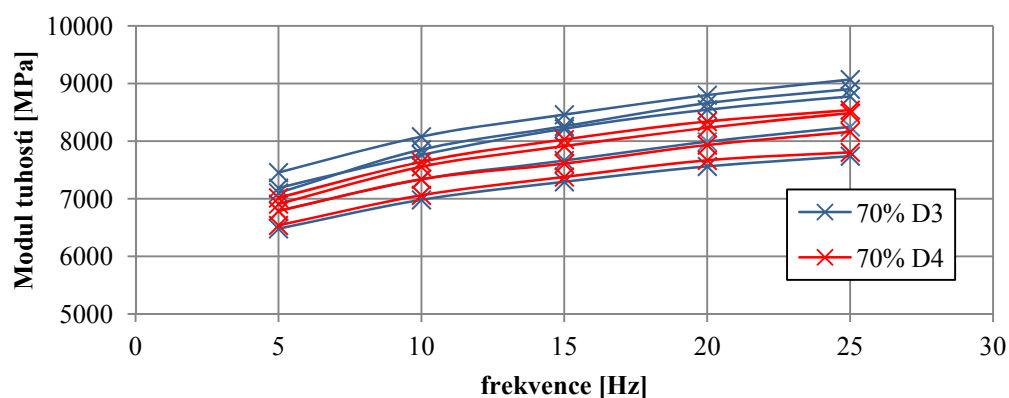
Graf 9 – Výsledky měření modulů tuhosti na směsi s 30% R-materiálu



Tabulka 30 - Výsledky zkoušky pro stanovení tuhosti směsi se 70% R-materiálu [MPa]

Označení tělesa	Frekvence zatěžování [Hz]				
	5	10	15	20	25
137	7455	8078	8459	8798	9069
237	7186	7763	8215	8548	8776
337	7103	7852	8257	8659	8902
437	6480	6982	7295	7562	7740
537	6789	7338	7663	7990	8248
147	6789	7340	7610	7933	8162
247	6539	7060	7378	7668	7806
347	6909	7556	7912	8232	8486
447	7016	7640	8029	8341	8539
Ø	6918	7512	7869	8192	8414

Graf 10 – Výsledky měření modulů tuhosti na směsi se 70% R-materiálu



Hodnoty modulu tuhosti stanovené na zkoušených asfaltových směsích se výrazně neliší. Rozdíl modulu tuhosti asfaltové směsi s obsahem 30% R-materiálu a směsi se 70% R-materiálu se pohybuje v řádech desítek MPa, což je zcela zanedbatelná hodnota. Lze tedy konstatovat, že vyšší přítomnost R-materiálu v asfaltové směsi nemá vliv na její tuhost.

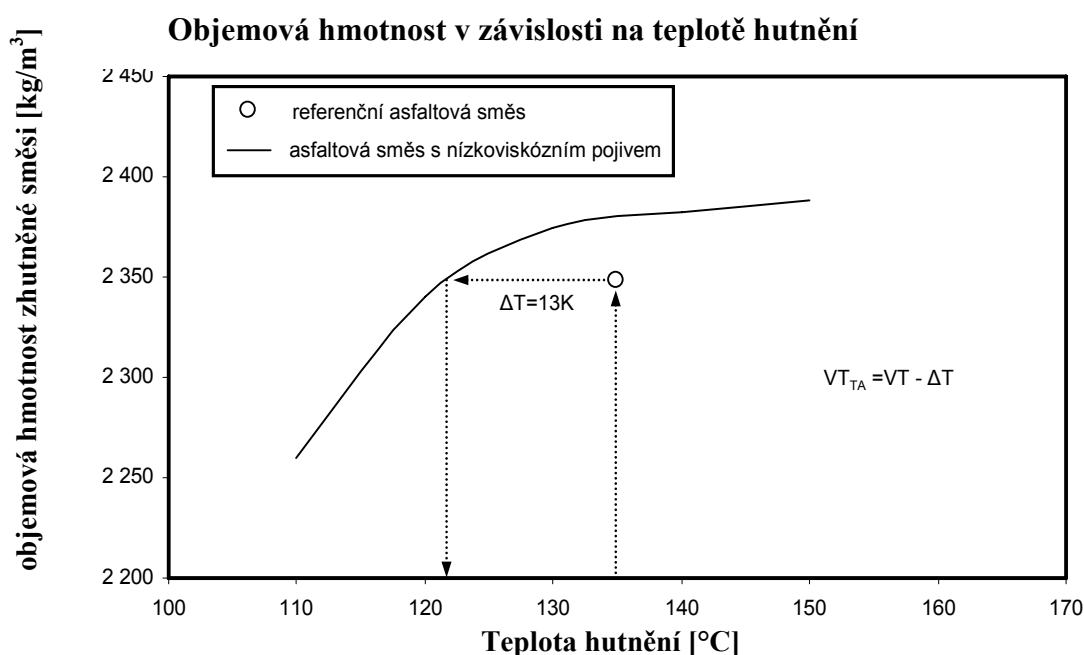
4.6 NTAS [26]

Při návrhu nízkoteplotní asfaltové směsi byla použita organická přísada – syntetický vosk s názvem STROBIT. Tato přísada působí jednak jako změkčovaadlo a dále pak jako látka pro snížení viskozity. Jak již bylo dříve uvedeno, jedná se o produkt německé firmy STORIMPEX. Návrh nízkoteplotní asfaltové směsi byl proveden pro směsi s obsahem R-materiálu 30% a 50%.

4.6.1 Stanovení teploty hutnění po přidání organické přísady – vosku

Z referenční zkoušky typu asfaltové směsi, kde bylo použito běžné silniční pojivo, bylo určeno optimální složení směsi a referenční objemová hmotnost při předepsané teplotě hutnění.

Pro stanovení určující teploty k výrobě Marshallových zkušebních těles asfaltové směsi s asfaltovým pojivem a organickou přísadou byla zhotovena pro každou teplotu hutnění 3 Marshallova zkušební tělesa. Teploty hutnění byly stanoveny následovně: 120 °C, 130 °C a 140 °C. Marshallova tělesa byla vyrobena stejným postupem, který je popsán v kapitole 4.4.3, s tím rozdílem že místo přísady STORFLUX byla do R-materiálu dávkována organická přísada STORBIT. Na jednotlivých tělesech hutněných při různé teplotě byly stanoveny objemové hmotnosti (podle vzorce 5 v kapitole 4.4.3), které byly v závislosti na této teplotě vyneseny do grafu společně s referenční objemovou hmotností (Obr. 47).



Obr. 47 – Graf pro stanovení teploty hutnění NTAS [26]

Ze známe teploty hutnění referenční asfaltové směsi a objemové hmotnosti této směsi byla stanovena teplota hutnění pro směs s asfaltovým pojivem a organickou přísadou VT_{TA} . Při této teplotě hutnění by měla asfaltová směs s obsahem organické přísady dosáhnout stejné objemové hmotnosti jako referenční asfaltová směs bez přísady.

Stanovení teploty hutnění na směsi s obsahem 30% R-materiálu

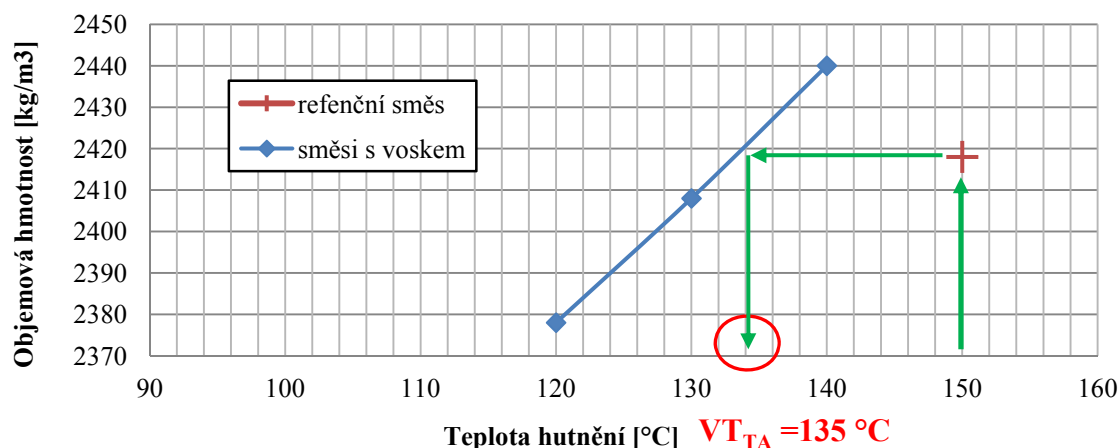
Pro jednotlivé teploty hutnění byly vyrobeny 3 Marshallova zkušební tělesa, na kterých byly stanoveny objemové hmotnosti. Výsledná objemová hmotnost pro různou teplotu hutnění je aritmetický průměr ze tří hodnot. Referenční objemová hmotnost byla stanovena při návrhu asfaltové směsi s obsahem 30% R-materiálu a je uvedena v **Tabulce 20**. Výsledné hodnoty objemových hmotností jsou uvedeny v **Tabulce 31**.

Tabulka 31 – Objemové hmotnosti zhutněné asfaltové směsi s 30% R-materiálu stanovené při různých teplotách hutnění po přidání STORBITU

Teplota hutnění [°C]	Objemová hmotnost zhutněné asfaltové směsi [kg/m ³]
140	2440
130	2408
120	2378
referenční asfaltová směs s 30% R-materiálu bez přidání organické přísady	
150	2418

Hodnoty objemových hmotností byly následně vyneseny do grafu (**Graf 11**) v závislosti na teplotě hutnění. Ze známé hodnoty objemové hmotnosti referenční směsi s obsahem 30% R-materiálu a známé teploty, při které byla tělesa referenční směsi hutněna, byla stanovena teplota hutnění pro směs s organickou přísadou. Z **Grafu 11** byla pro asfaltovou směs s organickou přísadou stanovena teplota hutnění $VT_{TA} = 135$ °C.

Graf 11 – Stanovení teploty hutnění u asf. směsi s příměsí vosku



5 Závěr

Z textu uvedeného v rešeršní části je patrné, že opětovné použití asfaltového recyklátu do konstrukce vozovky je vhodné, jak z ekonomického tak z ekologického hlediska. Kvalita R-materiálu je závislá na jeho získávání, následném zpracování a homogenizaci v neposlední řadě na skladování. Vhodnou variantou je frézování asfaltových vozovek po jednotlivých vrstvách a následné třídění pomocí stacionární či mobilní technologické linky. Je-li R-materiál získáván a zpracován tímto způsobem, stává se velice kvalitním materiálem pro rekonstrukce či budování nových vozovek.

V současné době se R-materiál v konstrukci vozovky uplatňuje převážně při výrobě podkladních a ložních vrstev. Množství R-materiálu přidávaného do asfaltových směsí závisí na typu vrstvy, pro kterou je směs určena, dále také na možnostech obalovny a na způsobu dávkování R-materiálu při výrobě asfaltových směsí. Jako nejvhodnější varianta se nabízí separované zahřívání R-materiálu v paralelním bubnu. Při tomto způsobu výroby asfaltové směsi, je možné dávkovat až 100% R-materiálu. Při výrobě asfaltové směsi je nutné „zestárlé“ pojivo v asfaltovém recyklátu aktivovat, přidáním vhodných přísad (změkčovačů, omlazovačů, rejuvenátorů).

V praktické části diplomové práce byly provedeny funkční zkoušky na asfaltových směsích s různým obsahem R-materiálu (0%, 30%, 50% a 70%). Návrh jednotlivých směsí nebyl proveden dle tradičního postupu. Návrhy směsí vycházely z čar zrnitosti, podle kterých jsou vyráběny asfaltové směsi na obalovně Bennighoven firmy Froněk s.r.o.. Tyto čáry zrnitosti byly následně upravovány z hlediska mezerovitosti (V_m) dle požadavků normy ČSN EN 13108-1 [17] pro ložní vrstvu ACL 22+.

Podle požadavků výše uvedené normy byly na jednotlivých směsích provedeny zkoušky odolnosti proti trvalým deformacím (pojízdní kolem) a zkoušky odolnosti proti vodě (*ITSR*). Na směsích s obsahem 30% a 70% R-materiálu byly stanoveny moduly tuhosti.

Asfaltové směsi, ve kterých byl dávkován R-materiál, měly příznivý vliv na odolnost proti trvalým deformacím. Přírůstek hloubky koleje (WTS_{AIR}) stanovený zkouškou pojízdní kolem vyšel u asfaltových směsí s obsahem R-materiálu až o 50% příznivěji, než u směsí bez R-materiálu. Poměrná hloubka vyjeté koleje (PRD_{AIR}) byla zhruba o 0,5% vyšší u asfaltové směsi bez recyklátu. Tuto skutečnost lze objasnit pravděpodobně tím, že v asfaltovém recyklátu bylo obsaženo zestárlé pojivo, které bylo „tvrdé“, což zapříčinilo menší přírůstek hloubky koleje. Penetrace stanovená na pojivu přítomném v R-materiálu

byla 25 pen, kdežto penetrace stanovená na přidávaném silničním pojivu 50/70 byla 59 pen.

Dalším parametrem, který byl posuzován mezi asfaltovými směsmi s různým obsahem R-materiálu, byla odolnost vůči vodě (*ITSR*). V požadavcích normy ČSN EN 13108-1 [17] je pro ložní vrstvu ACL 22+ minimální hodnota odolnosti proti účinkům vody 70%. Tato hodnota byla dosažena u všech navržených směsí. U směsí s obsahem R-materiálu je hodnota odolnosti vůči vodě v průměru o 10% vyšší, než u směsí bez recyklátu. Ovšem u těles vyrobených ze směsí bez R-materiálu byla pevnost v příčném tahu stanovená na „suchých“ tělesech, výrazně vyšší než pevnost v příčném tahu stanovená na stejných tělesech vyrobených ze směsí s R-materiálem (viz. **Tabulka 27**). Tyto hodnoty se lišily zhruba o 200 kPa. Odolnost vůči vodě souvisí také s odolností proti vzniku mrazových trhlin. Touto problematikou se zabýval student Bc. Radek Komenda, který prováděl zkoušky pro stanovení nízkoteplotních vlastností asfaltových směsí s různým obsahem R-materiálu. Z výsledků zkoušek lze konstatovat, že směsi s vyšším obsahem recyklátu byly porušovány při dosažení nižších teplot. Směsi s obsahem R-materiálu i v tomto případě dosáhly lepších výsledků, než asfaltové směsi bez R-materiálu.

Dále byly na navržených směsích provedeny zpětné rozbory na kamenivu a na pojivu. Po zpětné extrakci byla na pojivu provedena zkouška pro zjištění bodu měknutí metodou kroužek kulička a zkouška penetrace. Zpětné zkoušky byly prováděny z důvodu ujištění, že bylo dávkováním omlazovací přísady pojivo obsažené v R-materiálu dostatečně aktivováno respektive změkčeno, tak aby výsledné pojivo smíchané z pojiva z R-materiálu a nově dávkovaného pojiva dosáhlo parametrů asfaltu 50/70. V kapitole 4.4.5 jsou uvedeny výsledky dosažené na jednotlivých směsích. Po porovnání výsledků získaných zpětnými zkouškami s hodnotami navrženými lze konstatovat, že změkčovadlo STORFLUX do jisté míry funguje. Ovšem pro dosažení optimálních výsledků (parametrů pojiva 50/70) by bylo žádoucí, dávkovat o něco větší množství této přísady.

Z výsledků diplomové práce lze vyvodit, že R-materiál je pro výrobu asfaltových směsí velmi vhodným materiálem. Jsou-li dodrženy podmínky při jeho získávání, následném zpracování a je-li použita vhodná metoda výroby asfaltové směsi s dávkováním R-materiálu, jsou takto vyráběné směsi zcela vyhovující z hlediska hlavních sledovaných funkčních parametrů. Zpětné zabudování „staré vozovky“ do konstrukce vede také ke značným ekonomickým úsporám. Je tedy na místě seznámit odbornou veřejnost s efektivním využitím tohoto materiálu, upravit odpovídající předpisy a zejména pak

přesvědčit investory, kteří se k použití R-materiálu staví často skepticky a považují tento materiál za odpad. Vyšší dávkování R-materiálu představuje nutnost vybavení stávajících obaloven paralelními bubny, což je v současnosti v ČR vysoká investice bez záruky návratnosti. Vedle 3 obaloven s paralelními bubny v celé ČR je např. ve srovnání v sousedním Bavorsku vybaveno 30% všech obaloven tímto zařízením. R-materiál je výrobním firmám ze strany správců poskytován za symbolické 1 EUR/t, avšak ti mají za povinnost všechny takto získaný materiál použít zpět do nových asfaltových směsí. Doufejme, že se podaří i v ČR se tomuto trendu v budoucnu alespoň přiblížit.

Na závěr diplomové práce je v **Tabulce 32** uveden přehled množství materiálu, který byl zpracován při návrhu směsi a při provádění funkčních zkoušek.

Tabulka 32 – Množství zpracovaného materiálu

[g]		Návrh	Desky	ITSR	NTAS	Σ
KAMENIVO	Filer	1640	3500	1210	600	6950
	0/2	8872	18652	6303	4095	37922
	2/4	7432	14652	4873	3645	30602
	4/8	480	3000	660	0	4140
	8/11	5544	12052	3861	2265	23722
	11/16	10072	26652	7821	5325	49870
	16/22	6040	12250	3630	2700	24620
	Σ	177826				
R-materiál 0/22		16800	62500	16500	12000	107800
Asfaltové pojivo		1678	3566	1143	720	7107
STORFLUX		88	325	87	0	500
STORBIT		0	0	0	59,1	59,1
Σ [kg]		293,3				

6 Seznam použité literatury

Normy a předpisy

- [1] ČSN 73 6160. *Zkoušení asfaltových směsí*. Praha: ČNI, 2008, 24 s.
- [2] ČSN 73 6121. *Stavba vozovek - Hutněné asfaltové vrstvy - Provádění a kontrola shody*. Praha: ČNI, 2008, 36 s.
- [3] ČSN EN 1097-2. *Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 2: Metody pro stanovení odolnosti proti drcení*. Praha: ČNI, 1999, 28 s.
- [4] ČSN EN 12591. *Asfalty a asfaltová pojiva - Specifikace pro silniční asfalty*. Praha: ÚNMZ, 2009, 28 s.
- [5] ČSN EN 12697-1. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 1: Obsah rozpustného pojiva*. Praha: ČNI, 2001, 43 s.
- [6] ČSN EN 12697-3. *Asfaltové směsi -Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 3: Znovuzískání extrahovaného pojiva: Rotační vakuové destilační zařízení*. Praha: ČNI, 2006, 16 s.
- [7] ČSN EN 12697-5+A1. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti*. Praha: ČNI, 2007, 24 s.
- [8] ČSN EN 12697-6+A1. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa*. Praha: ČNI, 2007, 16 s.
- [9] ČSN EN 12697-8. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí*. Praha: ČNI, 2004, 12 s.
- [10] ČSN EN 12697-12. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 12: Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě*. Praha: ÚNMZ, 2009, 16 s.

- [11] ČSN EN 12697-22+A1. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 12: Zkouška poježdění kolem*. Praha: ČNI, 2007, 28 s.
- [12] ČSN EN 12697-23. *Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 23: Stanovení pevnosti v příčném tahu*. Praha: ČNI, 2005, 16 s.
- [13] ČSN EN 12697-26. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 26: Tuhost*. Praha: ČNI, 2006, 40 s.
- [14] ČSN EN 12697-29. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 29: Stanovení rozměrů asfaltových zkušebních těles*. Praha: ČNI, 2003, 8 s.
- [15] ČSN EN 12697-33+A1. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 33: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek*. Praha: ČNI, 2007, 20 s.
- [16] ČSN EN 12697-35+A1. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 35: Laboratorní výroba směsi*. Praha: ČNI, 2007, 12 s.
- [17] ČSN EN 13108-1. *Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 1: Asfaltový beton*. Praha: ČNI, 2008, 73 s.
- [18] ČSN EN 13108-8. *Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály - Část 8: R-materiál*. Praha: ČNI, 2008, 12 s.
- [19] ČSN EN 1426. *Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení penetrace jehlou*. Praha: ČNI, 2007, 16 s.
- [20] ČSN EN 1427. *Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení bodu měknutí - Metoda kroužek a kulička*. Praha: ČNI, 2007, 16 s.
- [21] ČSN EN 933-1. *Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor*. Praha: ČNI, 1998, 12 s.

- [22] ČSN EN 933-4. *Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 4: Stanovení tvaru zrn - Tvarový index*. Praha: ČNI, 2008, 12 s.
- [23] TP 151. *Asfaltové směsi s vysokým modulem tuhosti (VMT)*. Praha: MD-OSI, 2010, 32 s. Dostupné z: < <http://www.pjpk.cz/TP%20151.pdf>>
- [24] TP 170. *Navrhování vozovek pozemních komunikací*. Praha: MD ČR, 2004, 100 s. Dostupné z: < <http://www.pjpk.cz/TP%20170.pdf>>
- [25] TP 210. *Užití recyklovaných stavebních demoličních materiálů do pozemních komunikací*. Brno: VUT v Brně, 2004, 23 s. Dostupné z: <<http://www.pjpk.cz/TP%20210.pdf>>
- [26] TP 238. *Nízkoteplotní asfaltové směsi (NTAS)*. Praha: Ministerstvo dopravy - Odbor pozemních komunikací, 2011, 30 s. Dostupné z: < <http://www.pjpk.cz/TP%20238.pdf>>

WEB, články, ostatní zdroje

- [27] Asfalty a asfaltové výrobky. *Petroleum.cz* [online]. © 2007-2013 [cit. 2013-01-07]. Dostupné z: < <http://www.petroleum.cz/vyrobky/asfalty.aspx> >
- [28] DAŠEK, O. *Vliv míry zhutnění na funkční charakteristiky asfaltových směsí: diplomová práce*. Brno, 2006. VUT Brno. Fakulta stavební. Ústav pozemních komunikací. VUT v Brně, FAST, 2006
- [29] *Recycling of asphalt* [online]. 2008 [cit. 2013-01-10]. ISSN EAPA TC-12-N805. Dostupné z: <http://www.asphalt.de/media/exe/134/d78cc98563d758d57e910b2f9a50ac65/wiederverwenden_version2009-x.pdf>

- [30] Silniční fréza WIRTGEN W 1900. *Autoline* [online]. © 2002-2013 [cit. 2013-01-07]. Dostupné z: <<http://autoline-eu.cz/sf/stavebni-stroje-silnicni-freza-WIRTGEN-W-1900-12083015105827239400.html>>
- [31] Silniční výrobky. *Veselý Znojmo* [online]. 2007 [cit. 2013-01-07]. Dostupné z: <<http://www.vesely-znojmo.com/old/index.php?a=32#3>>
- [32] STORIMPLEX. *PRODUKTDATENBLATT: STORFLUX*. Glinde, 2009. Dostupné z: <http://www.storimpex.de/fileadmin/download/storflux/Produktdatenblatt_Storflux.pdf>
- [33] VALENTIN, Jan. *Recyklace asfaltových vozovek*. Praha, 2011. Dostupné z: <<http://d2051.fsv.cvut.cz/predmety/stpk/recyklaceasfaltovychvozovek.pdf>>
- [34] VARAUS, Michal. *Pozemní komunikace II. Modul BM02 – Modul 2: Kamenivo*. Brno: VUT, Fakulta stavební, [2005]. 17 s.
- [35] VARAUS, Michal. *Asfaltové směsi v Evropě 2012: Opětovné využití materiálů a recyklace* [prezentace]. 2012, 59 s. [cit. 7.1.2013].
- [36] VARAUS, Michal. *Recyklace netuhých vozovek* [prezentace]. 2012, 61 s. [cit. 7.1.2013].
- [37] Zeolit - Frakce. *Bakterie, enzymy pro čisté jezírko, septik - Subio* [online]. © 2010 [cit. 2013-01-07]. Dostupné z: <<http://www.subio.cz/zeolit-frakce/>>

7 Seznam použitých zkratek a symbolů

Písmena latinské abecedy

ACL	asfaltový beton pro ložní vrstvu
B_{min}	minimální obsah rozpustného pojiva (% obj.)
B_{vol}	minimální obsah rozpustného pojiva (% hm.)
d	velikost dolního zrna/síta
D	velikost horního zrna/síta
$d_{5\ 000}$	hloubka vyjeté koleje po 5000 cyklech
DK	drobné kamenivo
DTK	drobné těžené kamenivo
E	šířka zrna (při stanovení tvarového indexu kameniva)
E^*	komplexní modul
E_1	reálná složka charakterizující pružné vlastnosti
E_2	imaginární složka charakterizující vazké vlastnosti
F	odolnost proti rozmrazování
f_x	obsah jemných částic
G_{XY}	zrnitost (propad horním sítem)/(propad dolním sítem)
ITS_d	pevnost v příčném tahu stanovená na "suchých" tělesech
$ITSR$	poměr pevnosti v příčném tahu
ITS_w	pevnost v příčném tahu stanovená na "mokrých" tělesech
K	korekční faktor
K_1	redukční součinitel závislý na rozměrech zkušební tělesa (m^{-1})
KK	kroužek - kulička metoda pro stanovení bodu měknutí asfaltového pojiva
L	délka zrna (při stanovení tvarového indexu kameniva)
LA	součinitel Los Angeles
MS	trvanlivost síranem hořečnatým
MZK	mechanicky zpevněné kamenivo
n	součinitel sytosti
$NTAS$	nízkoteplotní asfaltové směsi
p	teoretické množství pojiva (kg/100 kg)
p^*	teoretické množství pojiva (%)
P_0	naměřená velikost maximální amplitudy budící síly
PRD_{AIR}	poměrná hloubka koleje
RAP	anglická zkratka R-materiálu

S	modul tuhosti
SB	odolnost proti rozpadavosti čediče
SI	tvarový index
SK	směs kameniva
STK	směs těžného kameniva
$\check{S}D$	šterkodrt'
TKP	technické kvalitativní podmínky
TP	technické podmínky
V	Rozpínavost kameniva z ocelové strusky
VFB_{max}	maximální stupeň vyplnění mezer
VFB_{min}	minimální stupeň vyplnění mezer
V_m	mezerovitost asfaltové směsi
V_p	objem pyknometru
VT_{TA}	teplota hutnění nízkoteplotních asfaltových směsí
WA	součinitel nasákavosti
WTS_{AIR}	přírůstek hloubky koleje
y_0	velikost maximální amplitudy průhybu volného konce tělesa

Písmena řecké abecedy

ε	měrný povrch kameniva
ε_0	amplituda maximálního přetvoření
ρ_{bssd}	objemová hmotnost zhutněné asfaltové směsi
ρ_d	objemová hmotnost kameniva
ρ_{mv}	maximální objemová hmotnost asfaltové směsi
ρ_w	objemová hmotnost vody
σ_0	amplituda maximálního napětí
ψ	fázový úhel posunu průhybů a síly ($^{\circ}$)
ω	úhlová rychlost (s^{-1})

8 Seznam obrázků

Obr. 1 – Vývoj ceny ropy od roku 1946 (zahrnující vliv inflace) [36].....	9
Obr. 2 – Skládka R-materiálu (obalovna FRONĚK)	11
Obr. 3 – Nomogram pro grafické určení maximálně možného přidání R-materiálu [29] ..	13
Obr. 4 – Silniční fréza [30]	15
Obr. 5 – Stacionární technologická linka.....	16
Obr. 6 – Šaržová obalovna – přímé dávkování R-materiálu [36]	17
Obr. 7 – Schéma obalovny s paralelním bubnem [36].....	18
Obr. 8 – Způsoby zpracování metodou Drum-mix	19
Obr. 9 – Pokládka – technologie RESHAPE	20
Obr. 10 – Pokládka – technologie REPAVE	21
Obr. 11 – Pokládka – technologie REMIX (REMIX PLUS).....	21
Obr. 12 – Rozdíl v pracovním postupu metody REMIX a REMIX PLUS.....	22
Obr. 13 – Recyklační souprava při dávkování cementové suspenze a asf. emulze [36]	23
Obr. 14 – Recyklační souprava [36]	23
Obr. 15 – Šaržová obalovna s odděleným přidáváním R-materiálu [29]	24
Obr. 16 – Šaržová obalovna se společným dávkováním R-materiálu [29]	25
Obr. 17 – Šaržová obalovna dávkováním R-materiálu do sušícího bubnu [29].....	26
Obr. 18 – Šaržová obalovna - ohřev R-mat. v odděleném zařiz. (paralelním bubnu) [29].	26
Obr. 19 – Kontinuální obalovna se společným ohřevem materiálů [29]	27
Obr. 20 – Kontinuální obalovna s odděleným ohřevem R-materiálu [29]	28
Obr. 21 – Frakce zeolitu [37]	32
Obr. 22 – Laboratorní třepačky použité při stanovení zrnitosti kameniva	34
Obr. 23 – Křivka zrnitosti frakce 11/16	36
Obr. 24 – Křivka zrnitosti vápencové moučky	36
Obr. 25 – Křivka zrnitosti frakce 0/2	37
Obr. 26 – Křivka zrnitosti frakce 2/4	37
Obr. 27 – Křivka zrnitosti frakce 4/8	38
Obr. 28 – Křivka zrnitosti frakce 8/11	38
Obr. 29 – Křivka zrnitosti frakce 16/22	39
Obr. 30 – Dvoučelistové posuvné měřítko pro měření tvarového indexu [22].....	39
Obr. 31 – Otlukový buben (vnitřní průměr 711 ± 5 mm, vnitřní délka 508 ± 5 mm) [34].	41
Obr. 32 – Penetrometr a nádobka s asf. pojivem	45

Obr. 33 – Zkouška pro stanovení bodu měknutí asf. pojiva metodou kroužek – kulička ..	47
Obr. 34 – Zařízení pro extrakci asfaltového pojiva	49
Obr. 35 – Křivka zrnitosti R-materiálu frakce 0/22	50
Obr. 36 – Zařízení použita při výrobě asfaltové směsi	53
Obr. 37 – Postup stanovení maximální objemové hmotnosti nezhutněné asf. směsi	54
Obr. 38 – Hutnicí pěst pro výrobu těles a Marshallova tělesa.....	57
Obr. 39 – Srovnání čar zrnit. návrhu a zpětného síťového rozboru směsi se 70% R-mat...	60
Obr. 40 – Lamelový zhutňovač a desky vyrobené pro zkoušku	64
Obr. 41 – Příprava desek a vyjížděč kolejí	66
Obr. 42 – Ukázka zatíženého kola	66
Obr. 43 – Lis pro zkoušku v příčném tahu a detail uchycení zkoušeného tělesa	72
Obr. 44 – Zatěžovací diagram zkoušky v příčném tahu	72
Obr. 45 – Řezačka k výrobě těles a trapezoidy.....	76
Obr. 46 – Zařízení pro provádění zjištění modulů tuhosti asfaltových směsí [28].....	78
Obr. 47 – Graf pro stanovení teploty hutnění NTAS [26]	82

9 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Nejvyšší přípustný obsah R-mat v % hmotnosti v asfaltové směsi [17]	10
Tabulka 2 – Snížení nákladů dle množství přidaného R-materiálu [36]	11
Tabulka 3 – Charakteristiky R-materiálu [29]	13
Tabulka 4 – Možnosti vhodného přidání R-materiálu dle typu vrstvy [29]	14
Tabulka 5 – Vlastnosti změkčovadla STORFLUX [32]	28
Tabulka 6 – Hmotnost zkušebních navážek pro hutné kamenivo [21]	34
Tabulka 7 – Výsledky síťových rozborů pro jednotlivé frakce kameniva	35
Tabulka 8 – Hmotnost zkušební navážky pro určení tvarového indexu [22]	40
Tabulka 9 – Tvarové indexy pro jednotlivé frakce kameniva	41
Tabulka 10 – Alternativní klasifikace úzkých fr. (dle přílohy A v ČSN EN 1097-2 [3]) ..	42
Tabulka 11 – Přehled výsledků na frakcích kameniva	43
Tabulka 12 – Požadavky na kamenivo do ložních vrstev podle ČSN EN 1043:2004 [17]	43
Tabulka 13 – Výsledky penetrační zkoušky	45
Tabulka 14 – Výsledky zkoušky kroužek - kulička	47
Tabulka 15 – Obsah pojiva v R-materiálu frakce 0/22	51
Tabulka 16 – Výsledky penetrační zkoušky na pojivo obsaženého v R-materiálu	51
Tabulka 17 – Výsledky zkoušky kroužek – kulička pro pojivo obsaženého v R-mat.	51
Tabulka 18 – Požadavky na asfaltové směsi ložních vrstev [17]	52
Tabulka 19 – Výsledky zkoušek pro stanovení maximální objemové hmotnosti	56
Tabulka 20 – Výsledky objemových hmotností jednotlivých směsí	58
Tabulka 21 – Mezerovitosti směsí s různým obsahem R-materiálu	58
Tabulka 22 – Vlastnosti vyextrahovaného pojiva	59
Tabulka 23 – Výpočet návrhového množství pojiva	62
Tabulka 24 – Rozměry, objemové hmotnosti a míra zhutnění vyrobených desek	65
Tabulka 25 – Přehled výsledků zkoušky na trvalé deformace (vyjetí kolejí)	69
Tabulka 26 – Rozměry a hmotnosti Marshallových těles pro zkoušku ITSR	70
Tabulka 27 – Přehled výsledků zkoušky ITSR pro směsi s různým obsahem R-mat.	74
Tabulka 28 – Rozměry a hmotnosti nařezaných trapezoidů	77
Tabulka 29 – Výsledky zkoušky pro stanovení tuhosti směsi s 30% R-materiálu [MPa] .	80
Tabulka 30 – Výsledky zkoušky pro stanovení tuhosti směsi se 70% R-materiálu [MPa]	81
Tabulka 31 – Objemové hmotnosti zhutněné asfaltové směsi s 30% R-materiálu stanovené při různých teplotách hutnění po přidání STORBITU	83
Tabulka 32 – Množství zpracovaného materiálu	86

10 Seznam grafů

Graf 1 – Srovnání výsledného materiálu z technologické linky a odrazového drtiče [35]..	16
Graf 2 – Srovnání objemových hmotností zhutněné a nezhutněné směsi	59
Graf 3 – Průběh hloubky vyjetých kolejí na asfaltové směsi s 0% R-materiálu.....	67
Graf 4 – Průběh hloubky vyjetých kolejí na asfaltové směsi s 30% R-materiálu.....	68
Graf 5 – Průběh hloubky vyjetých kolejí na asfaltové směsi s 50% R-materiálu.....	68
Graf 6 – Průběh hloubky vyjetých kolejí na asfaltové směsi se 70% R-materiálu.....	68
Graf 7 – Grafické vyjádření výsledků zkoušky v příčném tahu (ITSR)	75
Graf 8 – Porovnání asfaltových směsí podle zjištěných parametrů	75
Graf 9 – Výsledky měření modulů tuhosti na směsi s 30% R-materiálu	80
Graf 10 – Výsledky měření modulů tuhosti na směsi se 70% R-materiálu	81
Graf 11 – Stanovení teploty hutnění u asf. směsi s příměsí vosku	83

11 Seznam příloh

Příloha P. 1 – Protokol o zkoušce zrnitosti.....	98
Příloha P. 2 – Průtoková odstředivka	99
Příloha P. 3 – Přístroj k destilaci asfaltového pojiva.....	100
Příloha P. 4 – Hustota vody v závislosti na teplotě	101
Příloha P. 5 – Záznamy ze zkoušky pojíždění kolem.....	102
Příloha P. 6 – Protokol o zkoušce asfaltové směsi bez R-materiálu	102
Příloha P. 7 – Protokol o zkoušce asfaltové směsi s obsahem 30% R-materiálu.....	102
Příloha P. 8 – Protokol o zkoušce asfaltové směsi s obsahem 50% R-materiálu.....	102
Příloha P. 9 – Protokol o zkoušce asfaltové směsi s obsahem 70% R-materiálu.....	102
Příloha P. 10 – Protokol o zkoušce NAS s obsahem 30% R-materiálu	102
Příloha P. 11 – Protokol o zkoušce NAS s obsahem 50% R-materiálu	102

12 Přílohy

Příloha P. 1 – Protokol o zkoušce zrnitosti

PROTOKOL O ZKOUŠCE ZRNITOSTI

ZRNITOST - SÍTOVÝ ROZBOR EN 933-1	LABORATOŘ: ÚPKO
Identifikace vzorku: frakce 11/16	Datum: 27.5.2012 Pracovník: PAVLIČÍK
Použitá metoda: praní a prosévání za sucha	

Celková vysušená hmotnost M_1 (g) = **2650,8**

Vysušená hmotnost po vyprání M_2 (g) = **2633,6**

Vysušená hmotnost jemných částic odstraněna praním $M_1 - M_2 =$ **17,2**

Otvor síta mm	Hmotnost zůstatku materiálu (R_i) g	Procento zůstatku materiálu $R_i/M_1 \times 100$ %	Součtové procento propadu $100 - (R_i/M_1 \times 100)$ %
22,4	0	0,0	100
16	84,5	3,2	97
11,2	1729,8	65,3	32
8	673,4	25,4	6
4	135,6	5,1	1
2	4,6	0,2	1
1	0,3	0,0	1
0,5	0,2	0,0	1
0,25	0,4	0,0	1
0,125	1,4	0,1	1
0,063	2,1	0,1	1

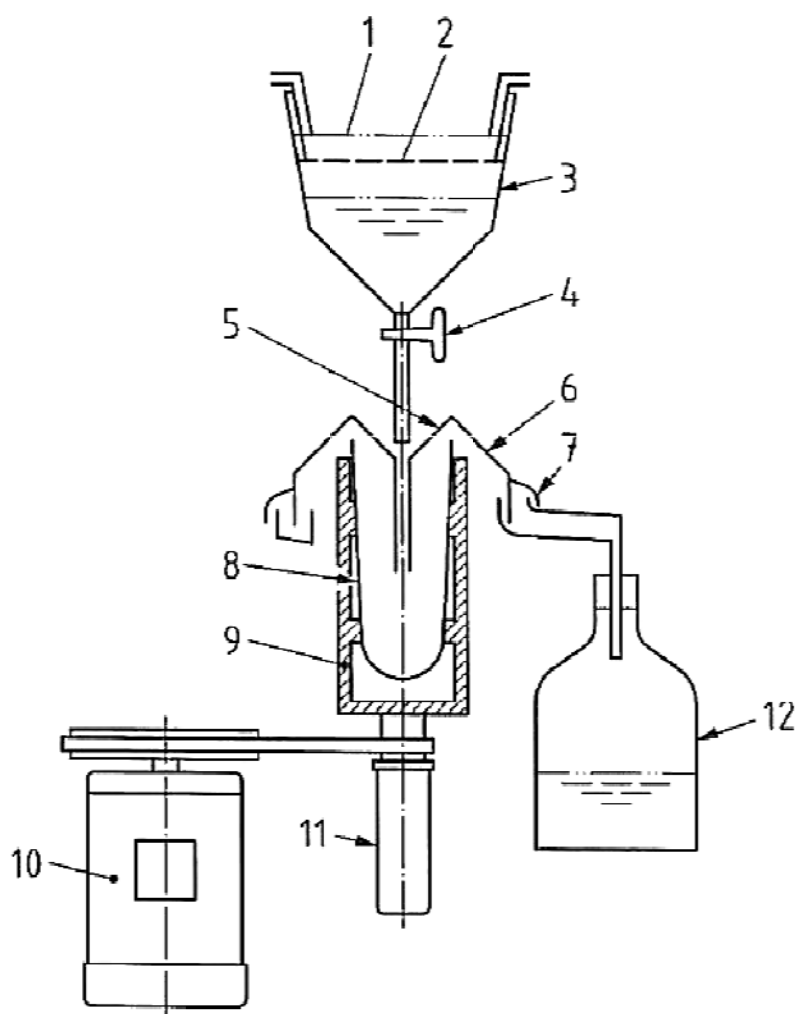
Materiál na dně P =	1,3
---------------------	-----

Procento jemných částic (f) propad sítím 0,063 mm

$$\frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 = \mathbf{0,7}$$

$\Sigma R_i + P =$	2633,6	Poznámky:
$\frac{M_2 - (\Sigma R_i + P)}{M_2} \times 100 =$	0	

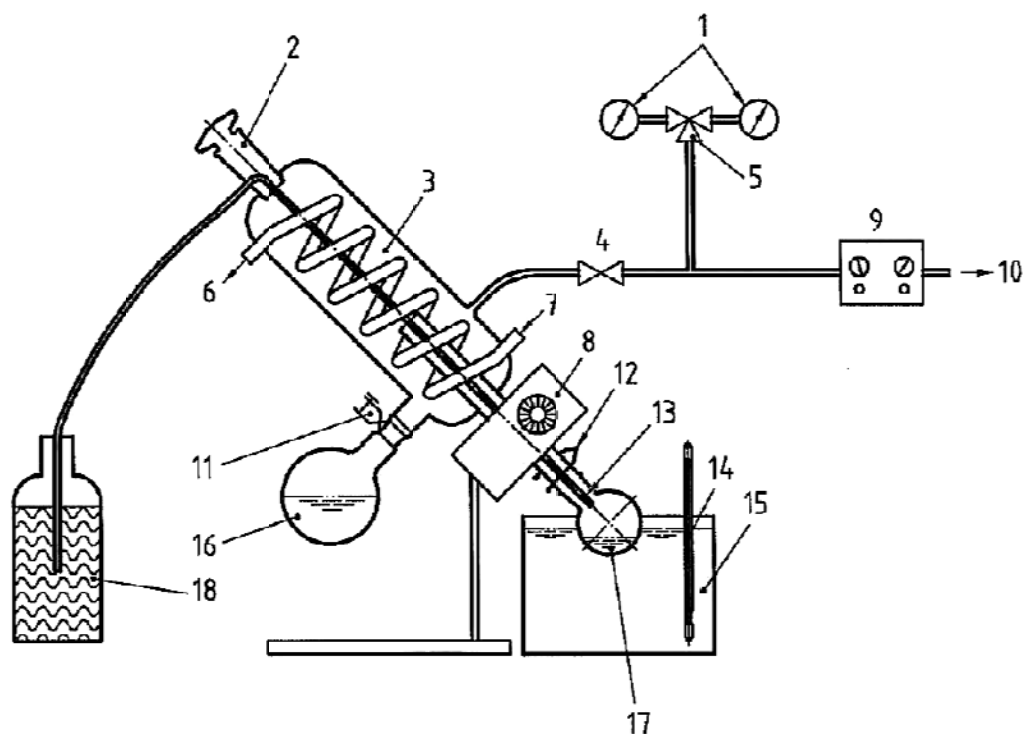
Příloha P. 2 – Průtoková odstředivka



LEGENDA:

- 1 síto s velikostí otvorů 2 mm (volitelné)
- 2 síto s velikostí otvorů 0,063 mm
- 3 plnicí nálevka
- 4 regulační kohout toku
- 5 nálevka pro plnění nádoby odstředivky kapalinou
- 6 kryt zachycující odstředěnou kapalinu a převádějící ji do 7
- 7 nádrž odstředivky
- 8 vyměnitelná hliníková nádoba
- 9 rotující držák nádoby
- 10 elektromotor
- 11 hřídel podstavy
- 12 sběrná nádoba

Příloha P. 3 – Přístroj k destilaci asfaltového pojiva



LEGENDA:

- | | |
|------------------------------------|---|
| 1 manometr | 10 přívod k vakuové vývěvě |
| 2 nasávací kohout | 11 šroubovací svorka |
| 3 chladič | 12 pružinová svorka |
| 4 pomocný přívod vzduchu | 13 výtoková trunice (konec přibližně v horní třetině baňky) |
| 5 přepínací ventil | 14 teploměr |
| 6 vývod vody | 15 olejová lázeň |
| 7 přívod vody | 16 jímací baňka |
| 8 motor s řízením rychlosti otáček | 17 rotující destilační baňka |
| 9 regulátor sníženého tlaku | 18 asfaltový roztok |

Příloha P. 4 – Hustota vody v závislosti na teplotě

Teplota vody [°C]	Korekční faktor <i>K</i>	Hustota vody kg/m³
10	1,0027	999,8
11	1,0026	999,7
12	1,0025	999,6
13	1,0023	999,4
14	1,0022	999,3
15	1,0021	999,2
16	1,0019	999,0
17	1,0017	998,8
18	1,0016	998,7
19	1,0014	998,5
20	1,0012	998,3
21	1,0010	998,1
22	1,0007	997,8
23	1,0005	997,6
24	1,0003	997,4
25	1,0000	997,1
26	0,9997	996,8
27	0,9995	996,6
28	0,9992	996,3
29	0,9989	996,0
30	0,9986	995,7

Příloha P. 5 – Záznamy ze zkoušky poježdění kolem

Asfaltová směs s 0% R-materiálu					Asfaltová směs s 30% R-materiálu				
Počet cyklů	Teplota	Hloubka koleje d_{il}	Hloubka koleje d_{ip}	Průměrná hloubka koleje $(d_{il}+d_{ip})/2$	Počet cyklů	Teplota	Hloubka koleje d_{il}	Hloubka koleje d_{ip}	Průměrná hloubka koleje $(d_{il}+d_{ip})/2$
	°C	[mm]	[mm]	[mm]		°C	[mm]	[mm]	[mm]
0	50,1	0,00	0,00	0,00	0	50,1	0,00	0,00	0,00
250	50,0	0,43	0,40	0,42	250	50,0	0,33	0,33	0,33
500	49,9	0,53	0,49	0,51	500	49,9	0,37	0,42	0,40
750	50,0	0,58	0,54	0,56	750	50,0	0,40	0,46	0,43
1000	49,9	0,63	0,57	0,60	1000	50,0	0,41	0,53	0,47
1250	50,0	0,67	0,61	0,64	1250	50,1	0,44	0,55	0,50
1500	50,0	0,71	0,63	0,67	1500	50,0	0,47	0,55	0,51
1750	50,1	0,74	0,65	0,70	1750	50,1	0,49	0,56	0,53
2000	50,0	0,77	0,68	0,73	2000	50,0	0,50	0,57	0,54
2250	50,0	0,79	0,70	0,75	2250	50,1	0,52	0,61	0,57
2500	50,1	0,83	0,71	0,77	2500	50,0	0,53	0,60	0,57
2750	50,1	0,85	0,73	0,79	2750	50,1	0,55	0,61	0,58
3000	50,1	0,88	0,73	0,81	3000	50,0	0,56	0,62	0,59
3250	50,0	0,92	0,76	0,84	3250	50,1	0,59	0,61	0,60
3500	50,0	0,93	0,76	0,85	3500	50,1	0,60	0,63	0,62
3750	50,1	0,95	0,77	0,86	3750	50,1	0,61	0,64	0,63
4000	50,1	0,97	0,78	0,88	4000	50,1	0,62	0,65	0,64
4250	50,1	0,99	0,78	0,89	4250	50,1	0,63	0,66	0,65
4500	50,2	1,01	0,79	0,90	4500	50,1	0,65	0,66	0,66
4750	50,1	1,01	0,81	0,91	4750	50,0	0,65	0,67	0,66
5000	50,1	1,03	0,83	0,93	5000	50,1	0,66	0,66	0,66
5250	50,1	1,04	0,83	0,94	5250	50,1	0,68	0,67	0,68
5500	50,1	1,05	0,84	0,95	5500	50,2	0,68	0,67	0,68
5750	50,1	1,06	0,84	0,95	5750	50,2	0,68	0,68	0,68
6000	50,1	1,08	0,85	0,97	6000	50,1	0,70	0,68	0,69
6250	50,2	1,09	0,86	0,98	6250	50,1	0,69	0,69	0,69
6500	50,1	1,10	0,87	0,99	6500	50,1	0,70	0,68	0,69
6750	50,1	1,11	0,88	1,00	6750	50,2	0,72	0,69	0,71
7000	50,1	1,12	0,89	1,01	7000	50,0	0,71	0,70	0,71
7250	50,1	1,12	0,89	1,01	7250	50,2	0,72	0,70	0,71
7500	50,1	1,13	0,89	1,01	7500	50,1	0,73	0,71	0,72
7750	50,2	1,14	0,91	1,03	7750	50,1	0,73	0,71	0,72
8000	50,2	1,16	0,94	1,05	8000	50,1	0,74	0,73	0,74
8250	50,1	1,16	0,94	1,05	8250	50,1	0,75	0,72	0,74
8500	50,1	1,17	0,94	1,06	8500	50,1	0,75	0,73	0,74
8750	50,1	1,18	0,95	1,07	8750	50,2	0,77	0,72	0,75
9000	50,1	1,19	0,95	1,07	9000	50,2	0,77	0,73	0,75
9250	50,2	1,20	0,96	1,08	9250	50,1	0,76	0,73	0,75
9500	50,2	1,20	0,99	1,10	9500	50,1	0,77	0,73	0,75
9750	50,1	1,22	0,98	1,10	9750	50,1	0,77	0,73	0,75
10000	50,2	1,22	0,98	1,10	10000	50,2	0,77	0,74	0,76

Asfaltová směs s 50% R-materiálu					Asfaltová směs se 70% R-materiálu				
Počet cyklů	Teplota	Hloubka koleje d_{il}	Hloubka koleje d_{ip}	Průměrná hloubka koleje $(d_{il}+d_{ip})/2$	Počet cyklů	Teplota	Hloubka koleje d_{il}	Hloubka koleje d_{ip}	Průměrná hloubka koleje $(d_{il}+d_{ip})/2$
	°C	[mm]	[mm]	[mm]		°C	[mm]	[mm]	[mm]
0	50,2	0,00	0,00	0,00	0	50,0	0,00	0,00	0,00
250	50,0	0,26	0,31	0,29	250	49,9	0,21	0,24	0,23
500	49,9	0,32	0,37	0,35	500	50,0	0,50	0,34	0,42
750	50,0	0,37	0,41	0,39	750	50,1	0,58	0,38	0,48
1000	50,0	0,39	0,43	0,41	1000	50,0	0,62	0,41	0,52
1250	50,0	0,40	0,45	0,43	1250	50,0	0,68	0,42	0,55
1500	50,1	0,42	0,48	0,45	1500	50,0	0,71	0,44	0,58
1750	50,0	0,43	0,49	0,46	1750	50,0	0,72	0,46	0,59
2000	50,0	0,45	0,52	0,49	2000	50,0	0,75	0,46	0,61
2250	50,1	0,47	0,53	0,50	2250	50,1	0,77	0,48	0,63
2500	50,0	0,49	0,54	0,52	2500	50,0	0,78	0,49	0,64
2750	50,1	0,48	0,55	0,52	2750	50,2	0,81	0,51	0,66
3000	50,0	0,50	0,56	0,53	3000	50,0	0,84	0,52	0,68
3250	50,0	0,50	0,58	0,54	3250	50,1	0,84	0,54	0,69
3500	50,0	0,51	0,59	0,55	3500	50,2	0,85	0,55	0,70
3750	50,1	0,51	0,60	0,56	3750	50,1	0,88	0,56	0,72
4000	50,1	0,51	0,60	0,56	4000	50,1	0,89	0,56	0,73
4250	50,1	0,52	0,61	0,57	4250	50,1	0,90	0,58	0,74
4500	50,2	0,54	0,62	0,58	4500	50,1	0,92	0,58	0,75
4750	50,2	0,53	0,63	0,58	4750	50,1	0,92	0,59	0,76
5000	50,2	0,55	0,63	0,59	5000	50,0	0,95	0,60	0,78
5250	50,1	0,54	0,64	0,59	5250	50,2	0,94	0,61	0,78
5500	50,1	0,55	0,64	0,60	5500	50,1	0,95	0,60	0,78
5750	50,1	0,56	0,66	0,61	5750	50,1	0,95	0,61	0,78
6000	50,1	0,57	0,66	0,62	6000	50,1	0,96	0,62	0,79
6250	50,1	0,57	0,66	0,62	6250	50,2	0,97	0,62	0,80
6500	50,1	0,58	0,67	0,63	6500	50,1	0,99	0,62	0,81
6750	50,1	0,61	0,67	0,64	6750	50,1	0,99	0,63	0,81
7000	50,1	0,60	0,67	0,64	7000	50,1	1,00	0,63	0,82
7250	50,2	0,60	0,68	0,64	7250	50,1	0,99	0,64	0,82
7500	50,0	0,59	0,68	0,64	7500	50,1	1,00	0,65	0,83
7750	50,2	0,60	0,68	0,64	7750	50,2	1,01	0,66	0,84
8000	50,2	0,61	0,70	0,66	8000	50,1	1,01	0,65	0,83
8250	50,2	0,61	0,70	0,66	8250	50,1	1,00	0,65	0,83
8500	50,1	0,61	0,70	0,66	8500	50,2	1,02	0,64	0,83
8750	50,1	0,62	0,70	0,66	8750	50,1	1,03	0,66	0,85
9000	50,2	0,61	0,70	0,66	9000	50,1	1,03	0,66	0,85
9250	50,1	0,62	0,70	0,66	9250	50,1	1,01	0,67	0,84
9500	50,1	0,62	0,71	0,67	9500	50,2	1,04	0,66	0,85
9750	50,1	0,62	0,71	0,67	9750	50,1	1,03	0,66	0,85
10000	49,6	0,63	0,71	0,67	10000	50,1	1,05	0,66	0,86

V následujících *Přílohách P. 6 až P. 11* jsou uvedeny receptury jednotlivých směsí s různým obsah R-materiálu

3. Návrhové vstupní složení směsi

ACL 22 +

3.1. Zastoupení jednotlivých frakcí ve směsi kameniva:

Filer	Velké Hydčice	7,0 %
Kameniva:	DDK 0/2 Sýkořice	30,0 %
	HDK 2/5 Sýkořice	20,0 %
	HDK 8/11 Brant	16,0 %
	HDK 11/16 Brant	18,0 %
	HDK 16/22 Brant	9,0 %
	R-materiál	0,0 %
Podíl těženého kameniva:		0,0 %
Max. povolené množství:		50 %

3.2. Výrobní teplota směsi:

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

3.3. Počet úderů Marshallova pěchu:

Počet úderů: 2 x 50

3.4. Čára zrnitosti návrhového vstupního složení směsi:

Vel. síta [mm]	Čára zrnitosti (propad zrn % hmot.)		
	Navržená	Dolní mez	Horní mez
31,5	100	100	100
22,4	99	90	100
16	92	70	95
11,2	76		
8	62	46	72
5,6	52		
4	42		
2	31	18	43
1	23		
0,5	18		
0,25	14		
0,125	11	4	15
0,063	8,8	3	9

Poznámka: Hodnoty horní a dolní mezní čáry zrnitosti dle ČSN EN 13108-1



3.5. Parametry navrhované asfaltové směsi (směs vyrobena v laboratoři):

B _{min}	B _{min}	B _{vol}	ρ _b	ρ _{mV}	V	VMA	VFB	ρ _d	ITSR	PRD _{AIR}	WTS _{AIR}
[kg/100 kg]	[%]	[v % obj.]	[kg.m-3]	[kg.m-3]	[%]	[%]	[%]	[kg.m-3]	[%]	[%]	[°]
4,28	4,1	9,8	2433	2596	6,3	16,1	61				
4,60	4,4	10,5	2442	2582	5,4	16,0	66	2778	80,0	1,6	0,034
4,93	4,7	11,3	2454	2569	4,5	15,8	72				
Hodnoty požadované ČSN EN 13108-1											
---	(min. 4,0)	min. 9,2	---	---	4,0 - 6,0	---	(55-74)	---	min. 70	-	-

Poznámka: Hodnoty pro výsledné optimum pojiva jsou vyznačeny tučně s podtiskem.

Hodnota výsledného optima pojiva = 4,4 %. Směrodatný obsah rozpustného pojiva pro kontrolní zkoušky = 4,2 %.

3.6. Návrhové vstupní složení směsi

filer	Velké Hydčice	6,7 %
DDK 0/2	Sýkořice	28,7 %
HDK 2/5	Sýkořice	19,1 %
HDK 8/11	Brant	15,3 %
HDK 11/16	Brant	17,2 %
HDK 16/22	Brant	8,6 %
R-materiál		0,0 %
přidávaný asfalt	50/70	4,4 %
Celkem		100 %

Wetfix - 0,2 % z přidávaného množství pojiva

3. Návrhové vstupní složení směsi

ACL 22 +

3.1. Zastoupení jednotlivých frakcí ve směsi kameniva:

Filer	Velké Hydčice	3,0 %
Kameniva:	DDK 0/2 Sýkořice	17,3 %
	HDK 2/5 Sýkořice	14,3 %
	HDK 8/11 Brant	9,1 %
	HDK 11/16 Brant	17,9 %
	HDK 16/22 Brant	10,0 %
	R-materiál	28,4 %
Podíl těžného kameniva:		0 %
Max. povolené množství:		50 %

3.2. Výrobní teplota směsi:

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

3.3. Počet úderů Marshallova pěchu:

Počet úderů: 2 x 50

3.4. Čára zrnitosti návrhového vstupního složení směsi:

Vel. síta [mm]	Čára zrnitosti (propad zm % hmot.)		
	Navržená	Dolní mez	Horní mez
31,5	100	100	100
22,4	99	90	100
16	90	70	95
11,2	73		
8	60	46	72
5,6	52		
4	41		
2	30	18	43
1	22		
0,5	17		
0,25	12		
0,125	10	4	15
0,063	7,7	3	9

Poznámka: Hodnoty horní a dolní mezní čáry zrnitosti dle ČSN EN 13108-1



3.5. Parametry navrhované asfaltové směsi (směs vyrobena v laboratoři):

B _{min}	B _{min}	B _{vol}	ρ _b	ρ _{mV}	V	VMA	VFB	ρ _d	ITSR	PRD _{AIR}	WTS _{AIR}
[kg/100 kg]	[%]	[v % obj.]	[kg.m-3]	[kg.m-3]	[%]	[%]	[%]	[kg.m-3]	[%]	[%]	[°]
4,28	4,1	9,6	2405	2577	6,7	16,3	59				
4,60	4,4	10,4	2418	2565	5,7	16,2	65	2757	94,0	1,1	0,019
4,93	4,7	11,2	2431	2549	4,6	15,8	71				
Hodnoty požadované ČSN EN 13108-1											
---	(min. 4,0)	min. 9,2	---	---	4,0 - 6,0	---	(55-71)	---	min. 70	-	-

Poznámka: Hodnoty pro výsledné optimum pojiva jsou vyznačeny tučně s podtiskem.

Hodnota výsledného optima pojiva = 4,4 %. Směrodatný obsah rozpustného pojiva pro kontrolní zkoušky = 4,2 %.

Přidávané množství pojiva pro optimum 4,4 % je 2,8 %.

3.6. Návrhové vstupní složení směsi

filer	Velké Hydčice	2,8 %
DDK 0/2	Sýkořice	16,2 %
HDK 2/5	Sýkořice	13,4 %
HDK 8/11	Brant	8,5 %
HDK 11/16	Brant	16,9 %
HDK 16/22	Brant	9,4 %
R-materiál		30,0 %
přidávaný asfalt	50/70	2,8 %
Celkem		100 %

Storflux - dávkování 1 % z množství asfaltu v R-materiálu na snížení bodu měknutí o 1 °C

Wetfix - 0,2 % z přidávaného množství pojiva

3. Návrhové vstupní složení směsi

ACL 22 +

3.1. Zastoupení jednotlivých frakcí ve směsi kameniva:

Filer	Velké Hydčice	1,0 %
Kameniva:	DDK 0/2 Sýkořice	10,0 %
	HDK 2/5 Sýkořice	10,0 %
	HDK 8/11 Brant	6,0 %
	HDK 11/16 Brant	17,6 %
	HDK 16/22 Brant	8,0 %
	R-materiál	47,4 %
Podíl těženého kameniva:		0 %
Max. povolené množství:		50 %

3.2. Výrobní teplota směsi:

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

3.3. Počet úderů Marshallova pěchu:

Počet úderů: 2 x 50

3.4. Čára zrnitosti návrhového vstupního složení směsi:

Vel. síta [mm]	Čára zrnitosti (propad zrn % hmot.)		
	Navržená	Dolní mez	Horní mez
31,5	100	100	100
22,4	99	90	100
16	91	70	95
11,2	74		
8	60	46	72
5,6	52		
4	42		
2	30	18	43
1	22		
0,5	17		
0,25	12		
0,125	9	4	15
0,063	7,5	3	9

Poznámka: Hodnoty horní a dolní mezní čáry zrnitosti dle ČSN EN 13108-1



3.5. Parametry navrhované asfaltové směsi (směs vyrobena v laboratoři):

B _{min}	B _{min}	B _{vol}	ρ _b	ρ _{mv}	V	VMA	VFB	ρ _a	ITSR	PRD _{AIR}	WTS _{AIR}
[kg/100 kg]	[%]	[v % obj.]	[kg.m-3]	[kg.m-3]	[%]	[%]	[%]	[kg.m-3]	[%]	[%]	[°]
4,28	4,1	9,6	2432	2570	5,4	15,1	65				
4,60	4,4	10,4	2449	2558	4,3	14,8	71	2749	86,0	1,0	0,016
4,93	4,7	11,2	2460	2541	3,2	14,5	78				
Hodnoty požadované ČSN EN 13108-1											
---	(min. 4,0)	min. 9,2	---	---	4,0 - 6,0	---	(55-71)	---	min. 70	-	-

Poznámka: Hodnoty pro výsledné optimum pojiva jsou vyznačeny tučně s podtiskem.

Hodnota výsledného optima pojiva = 4,4 %. Směrodatný obsah rozpustného pojiva pro kontrolní zkoušky = 4,2 %.

Přidávané množství pojiva pro optimum 4,4 % je 1,8 %.

3.6. Návrhové vstupní složení směsi

filer	Velké Hydčice	0,9 %
DDK 0/2	Sýkořice	9,2 %
HDK 2/5	Sýkořice	9,2 %
HDK 8/11	Brant	5,5 %
HDK 11/16	Brant	16,1 %
HDK 16/22	Brant	7,3 %
R-materiál		50,0 %
přidávaný asfalt	50/70	1,8 %
Celkem		100 %

Storflux - dávkování 1 % z množství asfaltu v R-materiálu na snížení bodu měknutí o 1 °C

Wetfix - 0,2 % z přidávaného množství pojiva

3. Návrhové vstupní složení směsi

ACL 22 +

3.1. Zastoupení jednotlivých frakcí ve směsi kameniva:

Filer	Velké Hydčice	0,0 %
Kameniva:	DDK 0/2 Sýkořice	0,0 %
	HDK 4/8 Brant	6,0 %
	HDK 8/11 Brant	4,0 %
	HDK 11/16 Brant	17,6 %
	HDK 16/22 Brant	6,0 %
	R-materiál	66,4 %
Podíl těžného kameniva:		0 %
Max. povolené množství:		50 %

3.2. Výrobní teplota směsi:

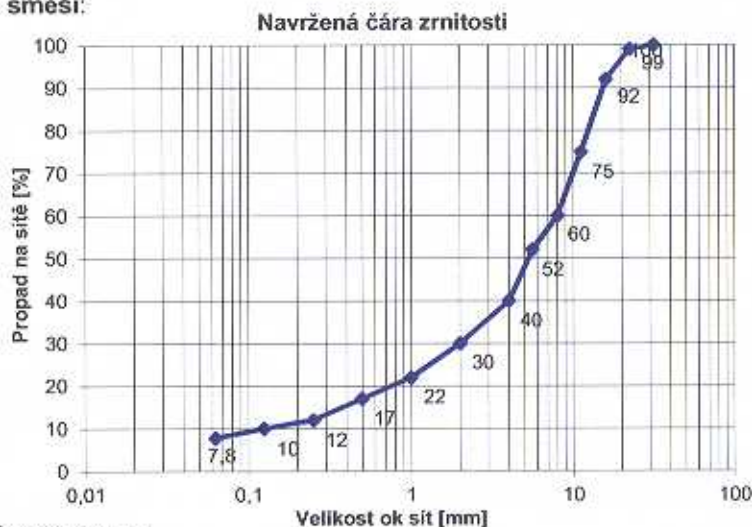
Teplota míchání:	160 °C
Teplota hutnění:	150 °C

3.3. Počet úderů Marshallova pěchu:

Počet úderů: 2 x 50

3.4. Čára zrnitosti návrhového vstupního složení směsi:

Vel. síta [mm]	Čára zrnitosti (propad zrn % hmot.)		
	Navržená	Dolní mez	Horní mez
31,5	100	100	100
22,4	99	90	100
16	92	70	95
11,2	75		
8	60	46	72
5,6	52		
4	40		
2	30	18	43
1	22		
0,5	17		
0,25	12		
0,125	10	4	15
0,063	7,8	3	9



Poznámka: Hodnoty horní a dolní mezní čáry zrnitosti dle ČSN EN 13108-1

3.5. Parametry navrhované asfaltové směsi (směs vyrobena v laboratoři):

B _{min}	B _{min}	B _{vol}	ρ _b	ρ _m	V	VMA	VFB	ρ _c	ITSR	PRD _{AIR}	WTS _{AIR}
[kg/100 kg]	[%]	[v % obj.]	[kg.m-3]	[kg.m-3]	[%]	[%]	[%]	[kg.m-3]	[%]	[%]	[°]
4,28	4,1	9,7	2421	2567	5,7	15,4	63				
4,60	4,4	10,5	2436	2555	4,7	15,2	69	2745	93,0	1,3	0,016
4,93	4,7	11,2	2445	2546	4,0	15,2	74				
Hodnoty požadované ČSN EN 13108-1											
---	(min. 4,0)	min. 9,2	---	---	4,0 - 6,0	---	(55-71)	---	min. 70	-	-

Poznámka: Hodnoty pro výsledné optimum pojiva jsou vyznačeny tučně s podtiskem.

Hodnota výsledného optima pojiva = 4,4 %. Směrodatný obsah rozpustného pojiva pro kontrolní zkoušky = 4,2 %.

Přidávané množství pojiva pro optimum 4,4 % je 0,8 %.

3.6. Návrhové vstupní složení směsi

filer	Velké Hydčice	0,0 %
DDK 0/2	Sýkořice	0,0 %
HDK 4/8	Brant	5,3 %
HDK 8/11	Brant	3,5 %
HDK 11/16	Brant	15,6 %
HDK 16/22	Brant	4,8 %
R-materiál		70,0 %
přidávaný asfalt	50/70	0,8 %
Celkem		100 %

Storflux - dávkování 1 % z množství asfaltu v R-materiálu na snížení bodu měknutí o 1 °C

Wetfix - 0,2 % z přidávaného množství pojiva

3. Návrhové vstupní složení směsi

ACL 22 +

3.1. Zastoupení jednotlivých frakcí ve směsi kameniva:

Filer	Velké Hydčice	3,0 %
Kameniva: DDK 0/2	Sýkořice	17,3 %
HDK 2/5	Sýkořice	14,3 %
HDK 8/11	Brant	9,1 %
HDK 11/16	Brant	17,9 %
HDK 16/22	Brant	10,0 %
R-materiál		28,4 %
Podíl těženeho kameniva:		0 %
Max. povolené množství:		50 %

3.2. Výrobní teplota směsi:

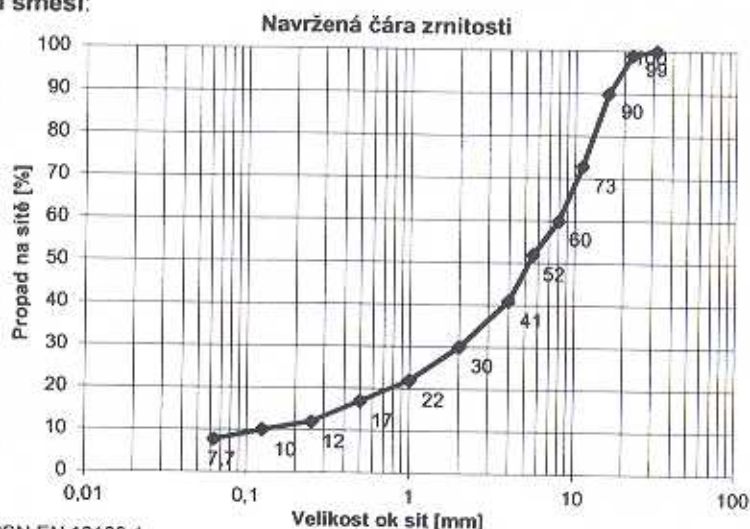
Teplota míchání:	145 °C
Teplota hutnění:	135 °C

3.3. Počet úderů Marshallova pěchu:

Počet úderů: 2 x 50

3.4. Čára zrnitosti návrhového vstupního složení směsi:

Vel. síta [mm]	Čára zrnitosti (propad zrn % hmot.)		
	Navržená	Dolní mez	Horní mez
31,5	100	100	100
22,4	99	90	100
16	90	70	95
11,2	73		
8	60	46	72
5,6	52		
4	41		
2	30	18	43
1	22		
0,5	17		
0,25	12		
0,125	10	4	15
0,063	7,7	3	9



Poznámka: Hodnoty horní a dolní mezní čáry zrnitosti dle ČSN EN 13108-1

3.5. Parametry navrhované asfaltové směsi (směs vyrobena v laboratoři):

B _{min}	B _{min}	B _{vol}	ρ _u	ρ _{mV}	V	VMA	VFB	ρ _g	ITSR	PRD _{AIR}	WTS _{AIR}
[kg/100 kg]	[%]	[v % obj.]	[kg.m-3]	[kg.m-3]	[%]	[%]	[%]	[kg.m-3]	[%]	[%]	[°]
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,60	4,4	10,5	2423	2565	5,5	18,0	65	2757	89,0	1,8	0,022
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hodnoty požadované ČSN EN 13108-1											
---	(min. 4,0)	min. 9,2	---	---	4,0 - 6,0	---	(55-71)	---	min. 70	-	-

Poznámka: Hodnoty pro výsledné optimum pojiva jsou vyznačeny tučně s podtiskem.

Hodnota výsledného optima pojiva = 4,4 %. Směrodatný obsah rozpustného pojiva pro kontrolní zkoušky = 4,2 %.

Přidávané množství pojiva pro optimum 4,4 % je 2,8 %.

3.6. Návrhové vstupní složení směsi

filer	Velké Hydčice	2,8 %
DDK 0/2	Sýkořice	16,2 %
HDK 2/5	Sýkořice	13,4 %
HDK 8/11	Brant	8,5 %
HDK 11/16	Brant	16,9 %
HDK 16/22	Brant	9,4 %
R-materiál		30,0 %
přidávaný asfalt	50/70	2,8 %
Celkem		100 %

Storbit - dávkování 1 % z množství asfaltu v R-materiálu na snížení bodu měknutí o 1 °C

Wetfix - 0,2 % z přidávaného množství pojiva

3. Návrhové vstupní složení směsi ACL 22 +

3.1. Zastoupení jednotlivých frakcí ve směsi kameniva:

Filer	Velké Hydčice	1,0 %
Kameniva:	DDK 0/2 Sýkořice	10,0 %
	HDK 2/5 Sýkořice	10,0 %
	HDK 8/11 Brant	6,0 %
	HDK 11/16 Brant	17,6 %
	HDK 16/22 Brant	8,0 %
	R-materiál	47,4 %
Podíl těženého kameniva:		0,0 %
Max. povolené množství:		50 %

3.2. Výrobní teplota směsi:

Teplota míchání:	145 °C
Teplota hutnění:	135 °C

3.3. Počet úderů Marshallova pěchu:

Počet úderů: 2 x 50

3.4. Čára zrnitosti návrhového vstupního složení směsi:

Vel. síta [mm]	Čára zrnitosti (propad zrn % hmot.)		
	Navržená	Dolní mez	Horní mez
31,5	100	100	100
22,4	99	90	100
16	91	70	95
11,2	74		
8	60	46	72
5,6	52		
4	42		
2	30	18	43
1	22		
0,5	17		
0,25	12		
0,125	9	4	15
0,063	7,5	3	9



Poznámka: Hodnoty horní a dolní mezní čáry zrnitosti dle ČSN EN 13108-1

3.5. Parametry navrhované asfaltové směsi (směs vyrobena v laboratoři):

B _{min}	B _{min}	B _{vol}	ρ _o	ρ _{mv}	V	VMA	VFB	ρ _d	ITSR	PRD _{AIR}	WTS _{AIR}
[kg/100 kg]	[%]	[v % obj.]	[kg.m-3]	[kg.m-3]	[%]	[%]	[%]	[kg.m-3]	[%]	[%]	[°]
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,60	4,4	10,4	2447	2558	4,3	14,9	71	2749	89,0	1,5	0,019
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hodnoty požadované ČSN EN 13108-1											
---	(min. 4,0)	min. 9,2	---	---	4,0 - 6,0	---	(55-71)	---	min. 70	-	-

Poznámka: Hodnoty pro výsledné optimum pojiva jsou vyznačeny tučně s podliskem.
Hodnota výsledného optima pojiva = 4,4 %. Směrodatný obsah rozpustného pojiva pro kontrolní zkoušky = 4,2 %.
Přidávané množství pojiva pro optimum 4,4 % je 1,8 %.

3.6. Návrhové vstupní složení směsi

filer	Velké Hydčice	0,9 %
DDK 0/2	Sýkořice	9,2 %
HDK 2/5	Sýkořice	9,2 %
HDK 8/11	Brant	5,5 %
HDK 11/16	Brant	16,1 %
HDK 16/22	Brant	7,3 %
R-materiál		50 %
přidávaný asfalt	50/70	1,8 %
Celkem		100 %

Storfbít - dávkování 1 % z množství asfaltu v R-materiálu na snížení bodu měknutí o 1 °C
Wetfix - 0,2 % z přidávaného množství pojiva