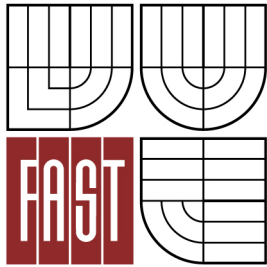




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

ANALÝZA LABORATORNÍ ZKOUŠKY "ŠÍŘENÍ TRHLINY OHYBEM NA PŮLVÁLCOVÉM ZKUŠEBNÍM TĚLESE"

ANALYSIS OF THE LABORATORY TEST "CRACK PROPAGATION BY SEMI-
CIRCULAR BENDING"

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

VÁCLAV PETŘÍČEK

VEDOUČÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Dr. Ing. MICHAL VARAUS

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Václav Petříček

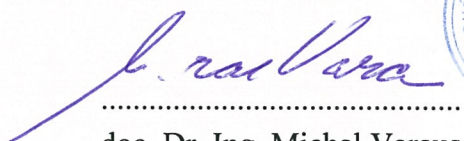
Název Analýza laboratorní zkoušky "Šíření trhliny ohybem na půlválcovém zkušebním tělese"

Vedoucí bakalářské práce doc. Dr. Ing. Michal Varaus

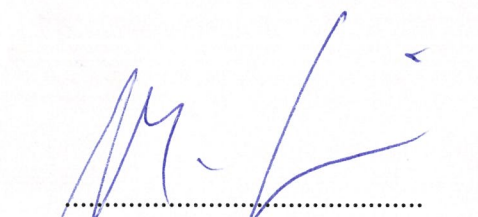
Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2011

Datum odevzdání bakalářské práce 25. 5. 2012

V Brně dne 30. 11. 2011



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



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

Podklady a literatura

ČSN EN 13108-1 Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály - Část 1: Asfaltový beton
TL Asphalt-StB 07 Technische Lieferbedingungen fuer den Bau von

Verkehrsfleachenbefestigungen

ČSN 73 6160 Zkoušení asfaltových směsí

Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 44: Šíření trhliny
zkouškou ohybem

na půlválcovém zkušebním tělese

Sborníky z konferencí - Asfaltové vozovky 2005, 2007, 2009, 2011


Zásady pro vypracování

Převzít výsledky návrhů vybraných asfaltových směsí typu asfaltový beton podle českých a německých předpisů ze souběžně prováděných bakalářských prací. V návaznosti na návrhy směsí porovnat odolnost směsí proti šíření trhlin zkouškou ohybem na půlválcovém zkušebním tělese.

Předepsané přílohy

1. Úvod
2. Návrhy směsí podle českých a německých předpisů
3. Vyhodnocení zkoušek na navržených směsích
4. Závěry

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací
Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací



doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Cílem bakalářské práce je provedení základních laboratorních zkoušek na kamenivu a asfaltovém pojivu, následně navržení české asfaltové směsi ACO 11+ a německé asfaltové směsi AC 11 DS a jejich porovnání po zkoušce odolnosti proti kopírování trhlin.

Klíčová slova

Asfalt, kamenivo, asfaltová směs, návrh směsi, odolnost proti kopírování trhlin, ČSN EN 13 108-1, TL Asphalt – StB 07

Abstract

The objective of this bachelor thesis is to realize the basic laboratory tests of aggregate and asphalt binder, thereafter, to design the Czech asphalt mixture ACO 11+ and the German asphalt mixture AC 11 DS and to compare them after testing for the resistance against crack propagation.

Keywords

Bitumen, aggregate, asphalt mixture, asphalt mixture design, resistance against crack propagation, ČSN EN 13 108-1, TL Asphalt – StB 07

Bibliografická citace VŠKP

PETŘÍČEK, Václav. *Analýza laboratorní zkoušky "Šíření trhliny ohybem na půlválcovém zkušebním tělese"*. Brno, 2012. 77 stran., Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Michal Varaus.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne 16.5.2012

.....

podpis autora
Václav Petříček

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 16.5.2012

.....

podpis autora
Václav Petříček

Tímto bych rád vyjádřil poděkování své rodině za podporu při studiu. A také Doc. Dr. Ing. Michalu Varausovi, Pavlu Strakovi a všem zaměstnancům školní laboratoře VUT FAST za odbornou pomoc a cenné rady při zpracovávání této bakalářské práce.

OBSAH:

1	ÚVOD A UVEDENÍ DO PROBLEMATIKY	11
1.1	Cíl Bakalářské práce.....	11
2	ZKOUŠKY VSTUPNÍCH MATERIÁLŮ.....	12
2.1	Zkoušky kameniva.....	12
2.1.1	Stanovení zrnitosti – Síťový rozbor.....	12
2.1.2	Stanovení tvaru zrn – Tvarový index	22
2.1.3	Stanovení odolnosti proti drcení metodou Los Angeles.....	24
2.1.4	Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti.....	27
2.1.5	Posouzení jemných částic – Zkouška methylenovou modří ...	32
2.1.6	Odolnost kameniva vůči teplotě a zvětrávání - Zkouška síranem hořečnatým	34
2.2	Zkoušky asfaltového pojiva	34
2.2.1	Stanovení penetrace jehlou.....	35
2.2.2	Stanovení bodu měknutí - Metodou kroužek a kulička	37
2.2.3	Stanovení teploty lámavosti podle Fraasse	40
3	NÁVRH ASFALTOÝCH SMĚSÍ	42
3.1	Návrh čáry zrnitosti	42
3.2	Stanovení optimálního množství pojiva	45
3.3	Výroba zkušebních těles.....	47
3.4	Zkoušky asfaltových směsí.....	52
3.4.1	Stanovení objemové hmotnosti nezhuťných asfaltových směsí.....	52
3.4.2	Stanovení objemové hmotnosti asfaltových zkušebních těles	56
3.4.3	Stanovení mezerovitosti asfaltových těles.....	57
4	ZKOUŠENÍ ODOLNOSTI ASFALTOÝCH SMĚSÍ PROTI ŠÍŘENÍ TRHLINY	58
4.1	Postup zkoušky.....	58
4.2	Výroba zkušebních těles	62
4.3	Dosažené výsledky.....	66
4.4	Zkouška ITSR.....	67

5	ZÁVĚR.....	69
6	SEZNAM PUŽITÝCH ZDROJŮ	70
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	71
8	SEZNAM OBRÁZKŮ	72
9	SEZNAM TABULEK.....	75
10	SEZNAM GRAFŮ.....	77

1 ÚVOD A UVEDENÍ DO PROBLEMATIKY

Úvodem bych rád upozornil na fakt, že na této bakalářské práci jsem vzhledem k počtu prováděných zkoušek a jejich časových náročností částečně spolupracoval se svými kolegy Martinem Kalfeřem a Petrem Dlouhým. Vstupní zkoušky kameniva, asfaltového pojiva, návrh a výrobu asfaltových směsí jsme prováděli společně. Následně každý z nás provedl konkrétní zkoušku na navržených směsích. Vzhledem ke zlepšení úrovně a objektivitě této práce uvedu v kapitole 4.4 výsledky zkoušek svých kolegů.

Podnětem k bakalářské práci je existující problém u českých asfaltových směsí, které nedosahují takových trvanlivostí jako německé asfaltové směsi, ale mají větší odolnost proti trvalým deformacím. Tyto směsi jsou však méně odolné proti vzniku trhlin a výtluků. Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti šíření reflexních trhlin nebyla na Ústavu pozemních komunikací doposud provedena, proto její výsledky mohou být cenným přínosem. Výsledky zkoušky mohou napovědět, která směs je odolnější proti šíření trhlin. Toho lze využít především u oprav silničních komunikací porušených prokopírováním reflexních trhlin, takže po navržení odolnější směsi dojde k prodloužení délky životnosti krytu bez trhlin.

Tato bakalářská práce je součástí komplexního posuzování asfaltových směsí dle české normy ČSN EN 13 108-1 a německé TL Asphalt – StB 07 s cílem případné úpravy české normy v rámci pětileté revize. Kromě zkoušky odolnosti asfaltové směsi proti šíření reflexních trhlin byly provedeny i další dvě zkoušky:

- Odolnost asfaltové směsi proti účinkům vody
- Odolnost asfaltové směsi proti tvorbě trvalých deformací, tak aby byly získány co možná nejpřesnější informace o posuzovaných směsích.

1.1 Cíl Bakalářské práce

- Návrh asfaltových směsí dle českých a německých norem ze stejných vstupních materiálů
- Porovnání jejich vlastností při provedených zkouškách
- Seznámení se zkouškou odolnosti asfaltových směsí proti šíření reflexních trhlin

2 ZKOUŠKY VSTUPNÍCH MATERIÁLŮ

V této kapitole jsou uvedeny popisy a výsledky laboratorních zkoušek provedených na použitém kamenivu a asfaltovém pojivu.

Asfaltové pojivo (silniční asfalt 50/70) bylo pořízeno v pardubické rafinérii Paramo, a.s.

2.1 Zkoušky kameniva

Kamenivo, které je obaleno asfaltovým pojivem tvoří hlavní nosnou kostru každé hutněné asfaltové směsi. Proto má zcela nezpochybnitelně klíčový význam při návrhu asfaltových směsí. Je potřeba vybírat kamenivo dobrých vlastností, odolností proti drcení a odolností proti ohlazování.

Pro výrobu asfaltových směsí byly použity frakce kameniva 0 – 4, 4 – 8, 8 – 11 a vápenná moučka (filer). Kamenivo bylo dovezeno z kamenolomu Luleč, následně uskladněno ve skladovacích prostorách silniční laboratoře. Před tím, než byly na kamenivu provedeny základní kontrolní zkoušky, bylo ručně homogenizováno, aby nedošlo k negativnímu ovlivnění výsledků (obr. 1, 2).

2.1.1 Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor

- Podstata zkoušky

Cílem zkoušky je roztřídit a oddělit materiál pomocí sady sít se čtvercovými oky do několika frakcí se sestupnou velikostí otvorů. [1]

- Postup zkoušky

Z již předem homogenizovaného kameniva se odebere zkušební navážka, jejíž hmotnost je závislá na velikosti frakce (tab. 1). Tato navážka se vysuší v laboratorní sušárně při teplotě $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ do ustálené hmotnosti. Nechá se vychladnout, zváží se a zaznamená hmotnost jako M_1 (obr. 3).

Následně je zkušební navážka promývána vodou za účelem oddělení částic menších jak 0,063 mm. K tomuto postupu se používá síto 63 μm , na které je nasazeno jedno i více ochranných sít v závislosti na množství a velikosti zkoušené frakce, aby nedošlo k porušení síta 63 μm . U této zkoušky bylo použito síto 1 mm a 4 mm.

Zkušební síta jsou umístěna tak, aby roztok, který protéká zkušebním sítem mohl odtékat do odpadu. Praní probíhá tak dlouho, dokud voda protékající sítem 63 µm je čirá (obr. 4, 6).

Poté se zůstatek na síti 63 µm vysuší při teplotě (110 ± 5) °C do ustálené hmotnosti. Nechá se vychladnout, zváží se a zaznamená hmotnost jako M_2 .

Vypraný a vysušený vzorek se nasype na síta, která jsou sestavena do sloupce (obr. 5). Sloupec sestává ze sítí spolu sestavených, přičemž síto nahoře má největší otvory a postupně dolů jsou síta s menšími otvory. Na horním sítu je víko na dolním je dno. U této zkoušky byla použita síta frakci 63 µm až 16 mm. Soustava sítí se mechanicky otřásá, poté jsou postupně jednotlivá síta odebírána. Nejprve se odebere síto s největšími otvory a ručně se na jednotlivých sítích ještě dokončí prosévání, aby nedošlo ke ztrátám materiálu je použito dno a víko. Veškerý materiál, který propadne sítem se přidá na následující síto před pokračováním prosévání na tomto síti.

Zváží se zůstatky na jednotlivých sítích a zaznamenají se jako $R_1, R_2, R_3 \dots R_i$. Pokud propadly sítem 63 µm jemné částice na dno, zaznamená se jejich hmotnost jako P .

Veškeré hmotnosti se zaznamenají do zkušebního protokolu. Vypočtou se hmotnosti zůstatků na každém síti jako procento hmotnosti původní vysušené navážky M_1 . Vypočtou se součtová procenta hmotnosti původní navážky, které propadly každým sítem od shora dolů kromě síta 63 µm. Vypočte se procento jemných částic (f), které propadly sítem 63 µm. [1]

- Výpočet a vyjádření výsledků

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

Kde M_1 je hmotnost vysušené zkušební navážky, v gramech

M_2 je hmotnost vysušeného zůstatku na síti 63 µm, v gramech

P je hmotnost propadu jemných částic na dně, v gramech

Součet hmotností R_i a P se nesmí lišit o více než 1% od hmotnosti M_2 , jinak se zkouška musí opakovat. [1]

Velikost zrna kameniva D (největší) [mm]	Hmotnost zkušební navážky (nejmenší) [kg]
16	2,6
8	0,2
<4	0,2

Tab. 1: Hmotnost zkušebních navážek pro hutné kamenivo [1]

- Výsledky zkoušky

Frakce : vápenná moučka (filer)

1. Stanovení obsahu jemných částic

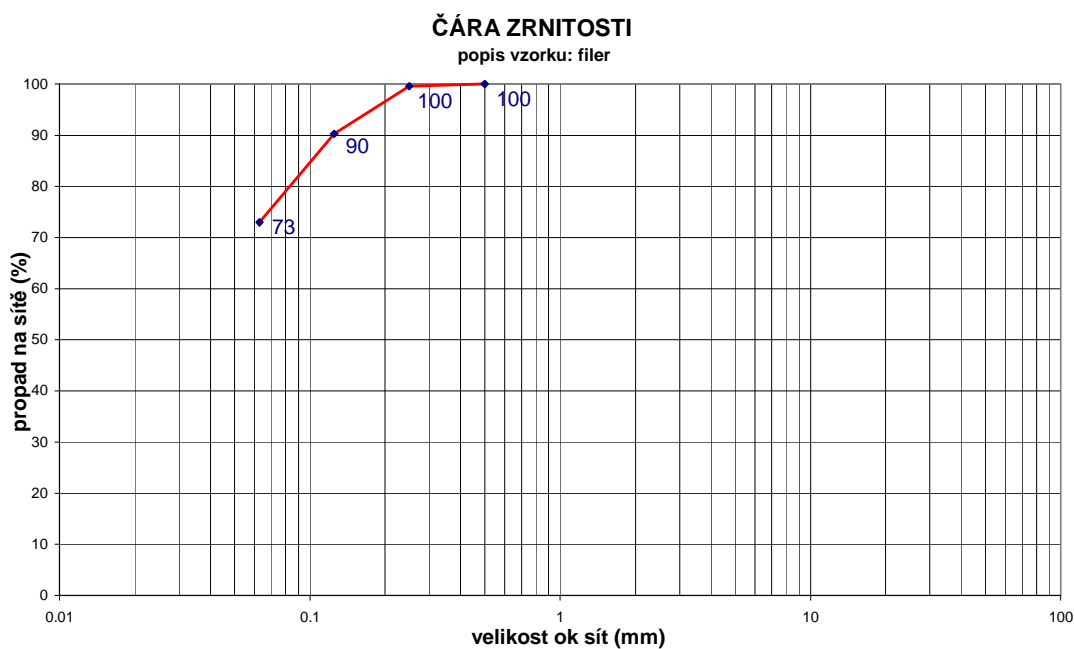
Hmotnost vysušené navážky před promýváním M_1 [g]:	261,7
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm M_2 [g]:	73,8
Hmotnost propadu jemných částic na dně P [g]:	2,65
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$ [%]	72,82

Tab. 2: Stanovení obsahu jemných částic fileru

2. Stanovení zrnitosti:

Velikost ok sít [mm]	Zbytky [g]	Zbytky [%]hm.	Celkové zbytky [%]hm.	Propad [%]hm.
0.5	0,0	0	0	100
0.25	1,2	0	0	100
0.125	24,3	9	10	90
0.063	45,1	17	27	73
Dno	síťový rozbor P	2,7	73	100.0
Dno	jemné částice (M1 - M2)	188,0		
Celkem	261,1			

Tab.3: Stanovení zrnitosti fileru



Graf. 1: Čára zrnitosti fileru

Frakce : 0 - 4

1. Stanovení obsahu jemných částic

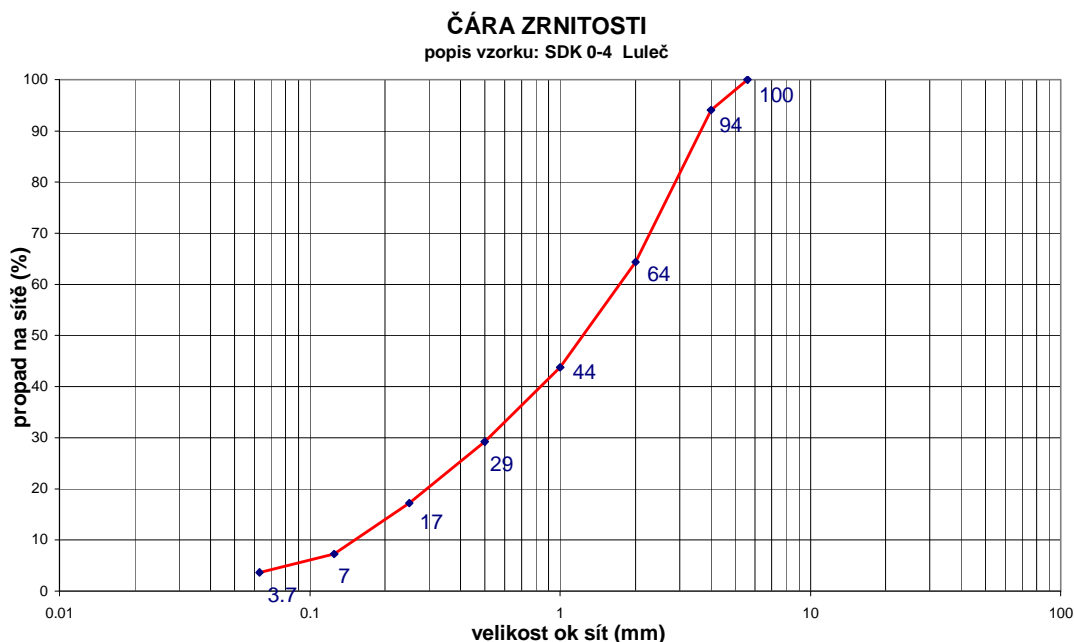
Hmotnost vysušené navážky před promýváním M_1 [g]:	275,3
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm M_2 [g]:	265,9
Hmotnost propadu jemných částic na dně P [g]:	0,0
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$ [%]	3,4

Tab. 4: Stanovení obsahu jemných částic frakce 0 - 4

2. Stanovení zrnitosti:

Velikost ok sít	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad	
[mm]	[g]	[%]hm.	[%]hm.	[%]hm.	
16	0,0	0	0	100	
11.2	0,0	0	0	100	
8	0,0	0	0	100	
4	16,3	6	6	94	
2	81,7	30	36	64	
1	57,2	21	56	44	
0.5	38,9	14	71	29	
0.25	33,3	12	83	17	
0.125	28,3	10	93	7	
0.063	10,1	4	96,6	3,4	
Dno	sítový rozbor P	0,0	3,4	100.0	0.0
Dno	jemné částice (M1 - M2)	9,4			
Celkem		275,1			

Tab. 5: Stanovení zrnitosti frakce 0 - 4



Graf. 2: Čára zrnitosti frakce 0 - 4

Frakce : 4 - 8

1. Stanovení obsahu jemných částic

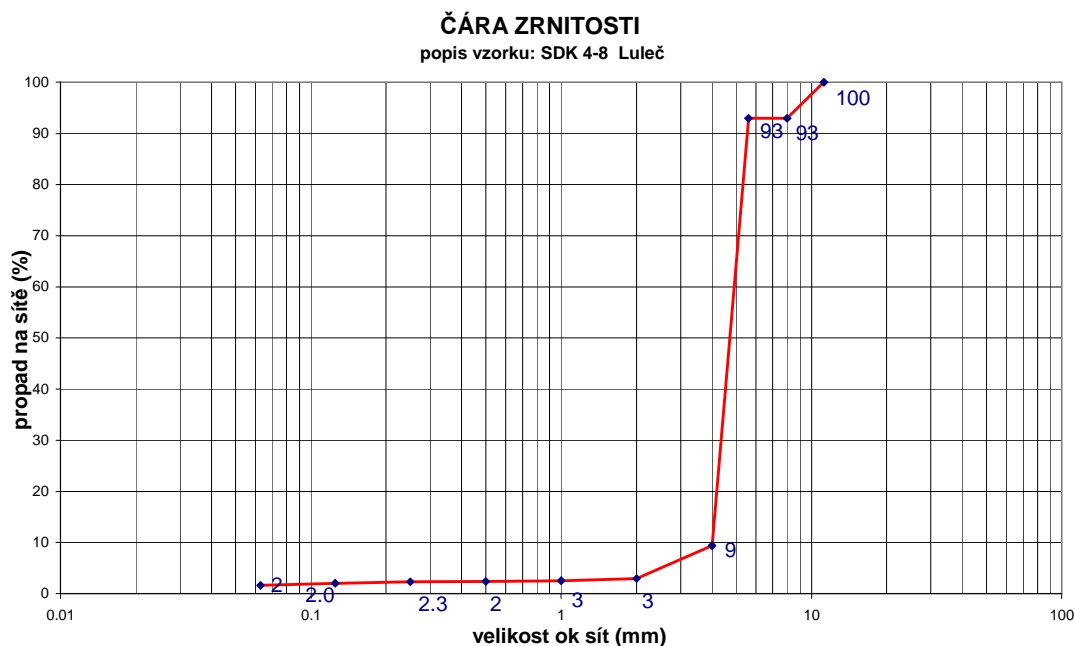
Hmotnost vysušené navážky před promýváním M_1 [g]:	726,6
Hmotnost vysušeného zůstatku na síť 0,063mm M_2 [g]:	714,9
Hmotnost propadu jemných částic na dně P [g]:	0.30
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$ (%)	1,65

Tab. 6: Stanovení obsahu jemných částic frakce 4 - 8

2. Stanovení zrnitosti:

Velikost ok sít	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad	
[mm]	[g]	[%]hm.	[%]hm.	[%]hm.	
16	0.0	0	0	100	
11.2	0,0	0	0	100	
8	51,4	7	7	93	
4	606,3	84	91	9	
2	46,4	6	97	3	
1	3,2	0	97	3	
0.5	0,9	0	98	2	
0.25	1,0	0	98	2	
0.125	1,9	0	98	2	
0.063	2,8	0	98	2	
Dno	síťový rozbor P	0,3	1,7	100.0	0.0
Dno	jemné částice (M1 - M2)	11,7			
Celkem		725,8			

Tab. 7: Stanovení zrnitosti frakce 4 - 8



Graf. 3: Čára zrnitosti frakce 4 - 8

Frakce : 8 - 11

1. Stanovení obsahu jemných částic

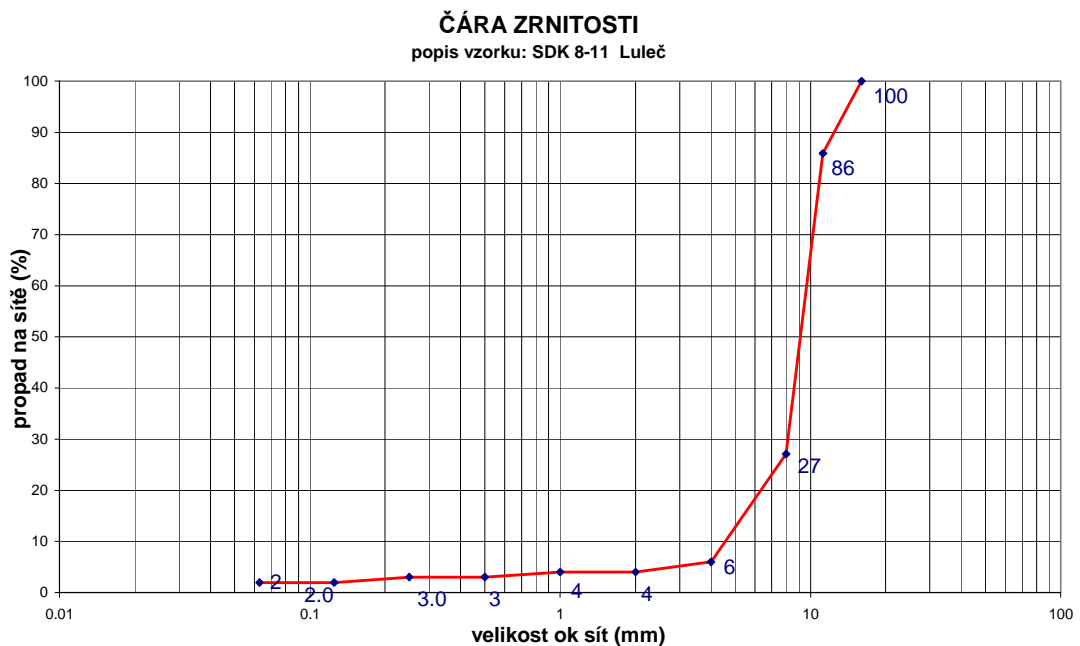
Hmotnost vysušené navážky před promýváním M_1 [g]:	1552.3
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm M_2 [g]:	1524.4
Hmotnost propadu jemných částic na dně P [g]:	0.95
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$ (%)	1.86

Tab. 8: Stanovení obsahu jemných částic frakce 8 - 11

2. Stanovení zrnitosti:

Velikost ok sít	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]	[g]	[%]hm.	[%]hm.	[%]hm.
16	0.0	0	0	100
11.2	219,4	14	14	86
8	912.4	59	73	27
4	326.7	21	94	6
2	26.7	2	96	4
1	10.1	1	96	4
0.5	5.5	0	97	3
0.25	6.2	0	97	3
0.125	8.2	1	98	2
0.063	8.2	1	98	2
Dno	síťový rozbor P	1.0	1.9	100.0
Dno	jemné částice (M1 - M2)	27.9		
Celkem		1552.1		

Tab. 9: Stanovení zrnitosti frakce 8 - 11



Graf. 4: Čára zrnitosti frakce 8 - 11

- Fotodokumentace



Obr.: 1: Homogenizace kameniva



Obr.: 2: Homogenizace kameniva



Obr.: 3: Vážení kameniva



Obr.: 4: Promývání kameniva



Obr.: 5: Sítový rozbor- sada sít na vibračním přístroji



Obr.: 6: Promývání fileru

2.1.2 Stanovení tvaru zrn – Tvarový index

- Podstata zkoušky

Jednotlivá zrna ve vzorku hrubého kameniva jsou roztřídována na základě poměru jejich délky L ke tloušťce E pomocí dvoučelistového posuvného měřítka.

Tvarový index se vypočte jako hmotnostní podíl zrn, jejichž poměr rozměrů L/E je větší než 3 (tzv. nekubická zrna) a vyjádří jako procento celkové hmotnosti zkoušených zrn. [2]

- Postup zkoušky

Zkouška tvarového indexu byla provedena na kamenivu frakce 4 – 8 a 8 – 11. Nejprve byly odebrány zkušební navážky, které byly promytím zbaveny jemných částic. Vyřadí se zrna, která propadnou zkušebním sítem 4 mm (pro frakci 4 - 8), potažmo 8 mm (pro frakci 8 - 11).

Vzorek se vysuší při teplotě $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ do ustálené hmotnosti. Poté se odváží zkušební navážka. Pro frakci 4 – 8 je dle (tab. 10) 100 g a pro frakci 8 – 11 1000 g. Hodnoty se zaznamenají jako M_1 . [2]

Horní velikost zrna D [mm]	Hmotnost zkušební navážky (nejmenší) [kg]
16	1
8	0,1

Tab. 10: Hmotnost zkušebních navážek [2]

Následuje ruční měření všech zrn pomocí dvoučelistového posuvného měřítka (obr. 7), kdy se posoudí délka L a tloušťka E každého zrna. Zrna, která mají rozměrový součinitel $L/E > 3$. Tato zrna jsou klasifikována jako nekubického tvaru a zaznamenává se jejich hmotnost jako M_2 . [2]

- Výpočet a vyjádření výsledků

Tvarový index se vypočte podle následujícího vztahu :

$$SI = \frac{M_2}{M_1} \times 100$$

Kde M_1 je hmotnost zkušební navážky, v g

M_2 je hmotnost nekubických zrn, v g [2]

- Výsledky zkoušky

Frakce	Tvarový index <i>SI</i> [%]
4 – 8	30,5
8 – 11	19,45

Tab. 11: Tvarový index frakcí kameniva

Zkouška odhalila, že kamenivo frakce 4 – 8 je nevyhovující. Kamenivo frakce 8 -11 je vyhovující.

- Fotodokumentace



Obr. 7: Posuvné měřítko



Obr. 8: Roztříděné kamenivo po provedení zkoušky

2.1.3 Stanovení odolnosti proti drcení metodou Los Angeles

- Podstata zkoušky

Vzorek kameniva se omílá ocelovými koulemi při otáčení bubnu. Po předepsaném počtu otáčení bubnu se zjistí množství materiálu, který zůstane na síti 1,6 mm. [3]

- Postup zkoušky

Zkouška odolnosti proti drcení byla provedena na kamenivu frakce 8 – 11. A to tak, že byla odebrána zkušební navážka, která byla promyta, zbavena všech jemných částic a zrn kameniva menších jak 8 mm. Následně byla vysušena při (110 ± 5) °C do ustálené hmotnosti a nechala se vychladnout při teplotě laboratorního prostředí. Z takto připravené zkušební navážky byl odměřen zkušební vzorek od hmotnosti (5000 ± 5) g.

Ještě předtím, než naplníme buben zkušební navážkou, je nutné zkontrolovat jeho čistotu, popřípadě ho pomocí smetáčku zbavit všech jemných částic, které by mohly ovlivnit přesnost výsledků zkoušky. Nejdříve se do bubnu dle (tab. 12) vloží 10 ocelových koulí, pak zkušební navážka (obr. 9, 11). Víkem se uzavře otvor bubnu (obr.12), který se následně 500 krát otočí při stejnoměrné rychlosti mezi 31 otáček / minutu až 33 otáček / minutu.

Po ukončení otáčení bubnu vyjmeme kamenivo a koule do misky, která musí být umístěna přímo pod bubnem, aby nedošlo ke ztrátě materiálu (obr. 13). Následně je pomocí smetáčku vymeten vnitřek bubnu, tak abychom eliminovali ztrátu jemných částic. Pak se opatrně vyjmou z misky ocelové koule, které jsou také pečlivě očištěny.

Následuje síťový rozbor materiálu, nejprve je provedeno promytí zkoušené navážky s použitím síta 1,6 mm (obr. 10). Zůstatek na síti 1,6 mm se vysuší při ustálené teplotě (110 ± 5) °C do ustálené hmotnosti a zaznamená se výsledek. [3]

- Výpočet a vyjádření výsledků

$$LA = \frac{500 - m}{50}$$

Kde m je hmotnost zůstatku na síti 1,6 mm, v gramech [3]

Klasifikace frakce [mm]	Počet koulí	Hmotnost náplně koulí [g]
4 až 8	8	3410 až 3540
6,3 až 10	9	3840 až 3980
8 až 12	10	4260 až 4420

Tab. 12: Alternativní klasifikace úzkých frakcí [3]

- Výsledky zkoušky

Zaznamenaná hmotnost zůstatku na síti 1,6 mm je 4097,3 g

Frakce	Index LA [%]
8 - 11	18,05

Tab. 13: Odolnost proti drcení frakce kameniva

Kamenivo vyhovělo na odolnost proti drcení.

- Fotodokumentace



Obr. 9: Vsypaní kameniva do bubnu



Obr. 10: Promývání kameniva na síti 1,6 mm



Obr. 11: Kamenivo a ocelové koule v otloukacím bubnu



Obr. 12: Otloukací buben pro provedení zkoušky LA



Obr. 13: Částečně podrcené kamenivo po provedené zkoušce

2.1.4 Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti

- Podstata zkoušky

Objemová hmotnost zrn se vypočte z poměru hmotnosti k objemu. Hmotnost se stanoví zvážením vodou nasycené a povrchově osušené zkušební navážky a opět zvážením po vysušení v sušárně. Objem se stanoví z hmotnosti vytlačené vody, vážením při pyknometrické metodě. [4]

- Postup zkoušky

Nejprve proběhl odběr vzorků kameniva a to frakcí 4 – 8 mm a 8 – 11 mm, hmotnost zkušební navážky nesmí být menší než hmotnost uvedená v (tab. 14).

Zkušební navážka se promyje na sítu 4 mm, aby se odstranila všechna jemná zrna. Vzorek se nechá okapat (obr. 14).

Zkušební navážka se vloží do vody o teplotě $(22 \pm 3) ^\circ\text{C}$ v pyknometru (obr. 16) a vzduchové bubliny se odstraní jemným přealováním a protřepáváním pyknometru. Pyknometr se ponechá ve vodní lázni o teplotě $(22 \pm 3) ^\circ\text{C}$ po dobu $(24 \pm 0,5)$ hodin (obr. 17). Po uplynutí doby nasákavosti se pyknometr vyjme z vodní lázně a zbytek vzduchových bublin se odstraní jemným přealováním a třepáním.

Pyknometr se naplní vodou přesně po rysku na hrdle pyknometru, poté se povrchově osuší a zváží (M_2). Zaznamená se teplota vody.

Kamenivo se vyjme z vody a nechá se několik minut okapat, pro rychlejší osušení kameniva se může použít suchých utěrek. Pyknometr se přeplní vodou a přikryje se víkem tak jako dříve. Pak se povrchově osuší a zváží (M_3).

Kamenivo se lehce povrchově usuší a nechá se v okolním vzduchu bez slunečního tepla nebo jiných zdrojů tepla tak dlouho, dokud nezmizí vodní film, avšak kamenivo má ještě mokrý vzhled (obr. 18).

Nasáklé a povrchově osušené kamenivo se zváží (M_1) (obr. 19). Pak se kamenivo vysuší při teplotě $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ do ustálené hmotnosti (M_4). [4]

- Výpočet a vyjádření výsledků

- Objemová hmotnost zrn ρ_a

$$\rho_a = \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)} \text{ [Mg/m}^3\text{]}$$

- Objemová hmotnost zrn po vysušení v sušárně ρ_{rd}

$$\rho_{rd} = \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)} \text{ [Mg/m}^3\text{]}$$

- Objemová hmotnost zrn nasycených vodou a povrchově osušených ρ_{ssd}

$$\rho_a = \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)} \text{ [Mg/m}^3\text{]}$$

- Nasákavost vodou

$$WA_{24} = \frac{100 \cdot x (M_1 - M_4)}{M_4} \text{ [%]}$$

Kde M_1 je hmotnost vodou nasyceného a povrchově osušeného kameniva, v gramech

M_2 je hmotnost pyknometru obsahujícího vzorek kameniva nasyceného vodou, v gramech

M_3 je hmotnost pyknometru naplněného pouze vodou, v gramech

M_4 je hmotnost v sušárně vysušené zkušební navážky na vzduchu, v gramech

Nevětší frakce kameniva [mm]	Nejmenší hmotnost zkušební navážky [kg]
31,5	5
16	2
8	1

Tab. 14: Nejmenší hmotnost zkušebních navážek [4]

- Výsledky zkoušky

Pyknometr	Vzorek	M ₁ [g]	M ₂ [g]	M ₃ [g]	M ₄ [g]
I	4 - 8	1261,5	2744,5	1970,6	1230,6
II	4 - 8	1227,4	2758,6	2007,2	1194,5
III	8 - 11	1306,8	2791,5	1984,2	1283,1
V	8 - 11	1422,1	2890	2013,8	1392

Tab. 15: Hmotnosti kameniva

Pyknometr	Vzorek	ρ_a [Mg/m ³]	ρ_{rd} [Mg/m ³]	ρ_{ssd} [Mg/m ³]	WA ₂₄ [%]
I	4 - 8	2,69	2,52	2,59	2,5
II	4 - 8	2,70	2,51	2,58	2,8
III	8 - 11	2,70	2,57	2,62	1,8
V	8 - 11	2,70	2,55	2,61	2,2

Tab. 16: Objemové hmotnosti a nasákavost kameniva

Kde ρ_a je objemová hmotnost zrn, v Mg/m³

ρ_{rd} je objemová hmotnost zrn po vysušení v sušárně, v Mg/m³

ρ_{ssd} je objemová hmotnost zrn nasycených vodou a povrchově osušených, v Mg/m³

WA₂₄ je nasákavost vodou, v % [4]

Kamenivo nevyhovělo na nasákavost, proto bude provedena zkouška síranem hořečnatým.

- Fotodokumentace



Obr. 14: Nасыpaní kameniva do pyknometru



Obr. 15: Plnění pyknometru vodou



Obr. 16: Pyknometry naplněné kamenivem



Obr. 17: Pycnometry penetrovány ve vodní lázni



Obr. 18: Povrchové osušení kameniva



Obr. 19: Vážení kameniva

2.1.5 Posouzení jemných částic – Zkouška methylenovou modří

- Podstata zkoušky

Do suspenze zkušební navážky s vodou se přidá roztok methylenové modře. Adsorpce barevného roztoku zkušební navážkou je po každém přidání roztoku kontrolováno zkouškou zbarvení filtračního papíru k zjištění přítomnosti nevázaného barviva. Pokud je přítomnost nevázaného barviva potvrzena, vypočte se hodnota methylenové modře (MB) a vyjádří se v gramech barviva adsorbovaných jedním kilogramem zkoušené frakce. [5]

- Postup zkoušky

Pro tuto zkoušku je zapotřebí frakce 0 – 2 mm, kterou je třeba získat z frakce 0 – 4 mm. Nejprve se vzorek vysuší při teplotě (110 ± 5) °C do ustálené hmotnosti. Suchý redukovaný vzorek se proseje sítem 2 mm. Odstraní se všechna zrna, která zůstala na síti 2 mm. Ze zrn, které propadly sítem 2 mm připravíme navážku o hmotnosti minimálně 200 g a zaznamenáme ji jako hmotnost M_1 s přesností na 1 g.

Do kádinky se nalije (500 ± 5) ml destilované vody a přidá se vysušená zkušební navážka, vše se důkladně promíchá stěrkou. Byretu naplníme roztokem methylenové modře $(10,0 \pm 0,1)$ g / litr. Připraví se mísící zařízení s rychlostí 600 otáček za minutu a ponoří se asi 10 mm nad dno kádinky (obr. 20).

Zapne se mísidlo a obsah kádinky se promíchává po dobu 5 minut při rychlosti (600 ± 60) otáček za minutu. Následně se vstříkne dávka 5 ml roztoku barviva do kádinky, po uplynutí 1 minuty se provede zkouška zbarvení na filtračním papírku. Na který se nanese pomocí skleněné tyčinky kapka roztoku a zkoumá se zbarvení, které nastává uprostřed ukládání materiálu, vytváří jasně modrou barvu (obr. 21). Zkouška se považuje za pozitivní, jestliže ve vlhké oblasti se vytvoří trvalý kroužek světle modré barvy šířky asi 1 mm okolo středu ukládky materiálu. Do té doby než nastane tento jev se přidává roztok po 5 ml dávkách a 1 minutu se nechá promíchávat, poté se opět provede zkouška zbarvení. Pokud není zkouška pozitivní, postup s přidáním roztoku se opakuje. [5]

- Výpočet a vyjádření výsledků

Zaznamená se celkový objem roztoku barviva V_1 , které bylo nutno dodat, aby kroužek vydržel po dobu 5 minut, s přesností na 1 ml.

Hodnota methylenové modře MB, vyjádřena v gramech barviva na jeden kilogram 0 - 2 mm frakce se vypočte podle následujícího vztahu:

$$MB = \frac{V_1}{M_1} \times 10$$

Kde M_1 je hmotnost zkušební navážky, v gramech

V_1 je celkový objem vstříknutého roztoku barviva, v mililitrech [5]

- Výsledky zkoušky

M_1 [g]	V_1 [ml]	MB
228,3	15	0,67

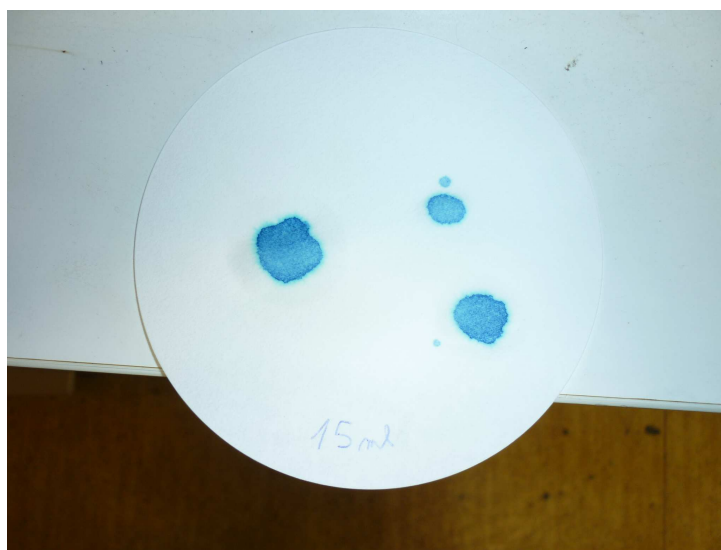
Tab. 17: Výsledek zkoušky – posouzení jemných částic

Zkouška na posouzení obsahu jemných částí vyhověla.

- Fotodokumentace



Obr. 20: Kádinka a míchačka



Obr. 21: Výsledek zkoušky

2.1.6 Odolnost kameniva vůči teplotě a zvětrávání – Zkouška síranem hořečnatým

- Podstata zkoušky

Laboratorní vzorek kameniva velikosti frakce 10 mm až 14 mm je vystaven působení pěti cyklů ponoření do standardního roztoku síranu hořečnatého s následným vysušením v sušárně při teplotě $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Laboratorní vzorek kameniva vlivem tohoto působení se rozrušuje opakovanou krystalizací a rehydratací síranu hořečnatého v pórech zrn kameniva. Postupné narušování vlivem tohoto působení je zjišťováno množstvím odpadlého materiálu ze zrn kameniva, který má velikost menší než 10 mm. [6]

- Postup zkoušky

Vzhledem k časové náročnosti této zkoušky nebylo možné tuto zkoušku v rámci bakalářské práce provést.

2.2 Zkoušky asfaltového pojiva

- 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 polyméry, emulgování, rozpouštění atd. [7]

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 hutnění asfaltové vrstvy. [8]

2.2.1 Stanovení penetrace jehlou

- Podstata zkoušky

Zkouška je založena na měření hloubky proniknutí jehly penetrometru do zkoušeného vzorku asfaltu při teplotě $(25 \pm 0,1)$ °C a celkové zátěži 100 g působící na jehlu za dobu 5 s. [9]

- Postup zkoušky

Příprava vzorku. Zkušební nádobku naplníme asfaltem, který si předem předehejeme v sušárně tak, aby byl dostatečně kapalný. Nádobka se plní do výšky 5 mm pod okraj (obr. 22). Případné vzduchové bublinky se odstraní opatrně promícháváním vzorku skleněnou tyčinkou. Abychom zabránili znečištění vzorku, zakryjeme nádobku a necháme ochladit na vzduchu po dobu 1,0 až 2,0 hod. Po ochlazení umístíme vzorek do vodní lázně s řízenou teplotou a necháme temperovat na perforované podložce na teplotu $25 \pm 0,1$ °C (obr. 23).

Zkontrolujeme, zda se deska penetrometru nachází ve vodorovné poloze, případně ji do této polohy uvedeme pomocí stavěcích šroubů. Do malé vodní lázně s vodou vytemperovanou na $25 \pm 0,1$ °C, umístěné na desce penetrometru, se vloží předem vytemperovaná zkušební nádobka se vzorkem, přičemž vrstva vody nad povrchem vzorku asfaltu musí být nejméně 10 mm. Jehla se zasune do tyče penetrometru a upevní se utažením matice. Hrot jehly nastavíme přesně na dotek povrchu asfaltu a nastavíme stupnici penetrometru na nulu (obr. 24). Tímto máme připraveno měření. Jehla (zatížení 100g) se následně uvolní a po 5 vteřinách se odečte hodnota na stupnici penetrometru. Stanovení se provádí 3x, přičemž jednotlivé vpichy musí být vzdáleny od sebe i od stěn zkušební nádoby nejméně 10 mm. Každé stanovení se provádí čistou jehlou. [9]

- Výsledky zkoušky

Jako výsledek se uvede penetrace (aritmetický průměr všech tří měření) v desetínách milimetru (tab. 18).

Penetrace – vpich č.1 [x 0,1 mm]	Penetrace – vpich č.2 [x 0,1 mm]	Penetrace – vpich č.3 [x 0,1 mm]	Penetrace – Ø [x 0,1 mm]
67	68	67	67,33

Tab.: 18: Výsledky zkoušky penetrace

- Fotodokumentace



Obr. 22: Nalítí asfaltového pojiva



Obr. 23: Temperování asfaltového pojiva



Obr. 24: Nastavení jehly těsně nad povrch asfaltového pojiva

2.2.2 Stanovení bodu měknutí - Metodou kroužek a kulička

- Podstata zkoušky

Bod měknutí metodou kroužek - kulička je teplota, při které asfalt nacházející se v kroužku předepsaných rozměrů za podmínek zkoušky změkne do takové míry, že se tlakem ocelové kuličky protáhne na stanovenou míru (dotkne se spodní destičky zkušebního zařízení). [10]

- Postup zkoušky

Mosazné kroužky na stanovení bodu měknutí se ohřejí přibližně na teplotu roztaveného asfaltu a položí se na kovovou destičku natřenou jemnou vrstvičkou tuku (krém), abychom po ochlazení asfalt lépe sundali. Předehřátý asfalt nalijeme do připravených kroužků s mírným přebytkem nad horním okrajem kroužku. Takto připravené vzorky necháme chladnout 30 minut při laboratorní teplotě. Po ochlazení zahřátým nožem seřízneme přečnívající vrstvu asfaltu tak, aby povrch asfaltu byl hladký a zarovnaný s okrajem kroužku (obr. 25).

Kroužky se vzorkem se vloží do otvorů horní destičky přístroje a do otvoru uprostřed destičky se umístí teploměr tak, aby nejnižší bod rtuťové nádoby teploměru byl na úrovni spodní plochy asfaltu v kroužcích. Na kroužky se vzorkem asfaltu se umístí centrovací prstence a celý stojan se společně se zkušebními kuličkami ponoří do skleněné kádinky s destilovanou vodou ochlazenou na teplotu (5 ± 1) °C tak, aby její hladina převyšovala asi o 5 cm horní okraj kroužků. Po uplynutí 15 minut vyjmeme stojan a do středu plochy asfaltu v každém kroužku uložíme zkušební kuličky (obr. 27). Poté stojan spustíme zpět do nádoby, kterou umístíme na topnou desku a zahříváme tak, aby teplota vody v nádobě stoupala stejnoměrně rychlostí ($5 \pm 0,5$) °C za minutu (obr.26). [10]

- Výsledky zkoušky

Pro každý kroužek a kuličku se zaznamená teplota na teploměru v okamžiku, kdy se vzorek protáhne pod tlakem kuličky tak, že se dotkne spodní destičky (obr. 28, 29). Jako výsledek se uvede průměr teplot z obou stanovení (tab. 19).[10]

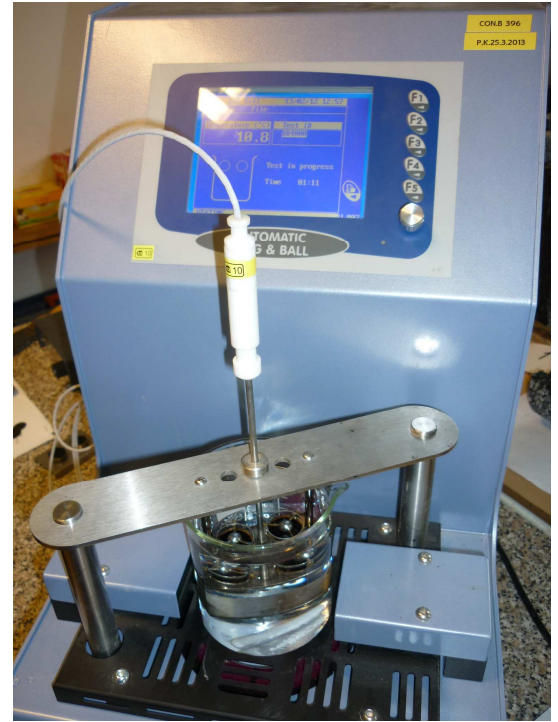
Teplota bodu měknutí - levá kulička [°C]	Teplota bodu měknutí - pravá kulička [°C]	Ø teplota bodu měknutí [°C]
48,2	47,6	47,9

Tab.: 19: Stanovení bodu měknutí

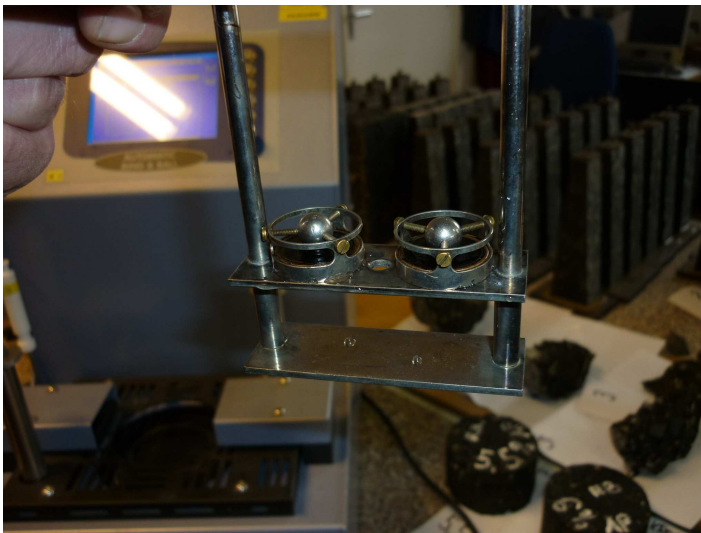
- Fotodokumentace



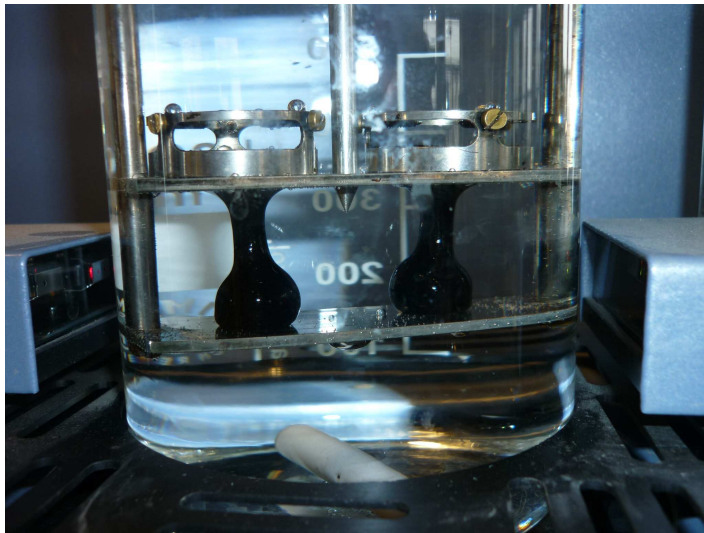
Obr. 25: Seřiznutí přebytečného pojiva



Obr. 26: Zkušební zařízení



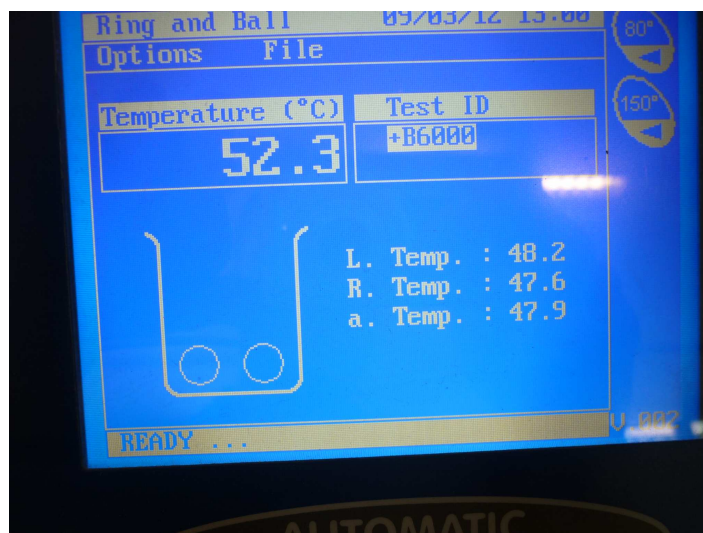
Obr. 27: Zkušební vzorky před provedenou zkouškou



Obr. 28: Protážení asfaltového pojiva po skončení zkoušky



Obr. 29: Protážení asfaltového pojiva – úspěšně provedená zkouška



Obr. 30: Záznam výsledků zkoušky

2.2.3 Stanovení teploty lámavosti podle Fraasse

- Podstata zkoušky

Bod lámavosti je nejvyšší teplota ve °C, při které tenká vrstva vzorku asfaltu nanesená na zkušební ocelovém plíšku předepsaných rozměrů při jeho prohýbání a ochlazování za stanovených podmínek praskne nebo popraská. [11]

- Postup zkoušky

Zkušební plíšek se odmastí toluenem, očistí, vysuší a zváží s přesností nejméně 0,01 g. Zkouškou na ohyb se určí, na kterou stranu se plíšek ohýbá, a na vydutou stranu se nanese (0,40 ± 0,01) g roztaveného asfaltu (obr. 31). Plíšek se položí na zahřátou desku tavicího zařízení, zahřeje se tak, aby nedošlo k jeho přehřátí a asfalt se rovnoměrně rozlije po celém povrchu plíšku (obr. 32, 33). Takto připravený plíšek se opatrně sejme z tavicího zařízení, a na vodorovné chladné podložce se nechá chladit při laboratorní teplotě po dobu 30 min.

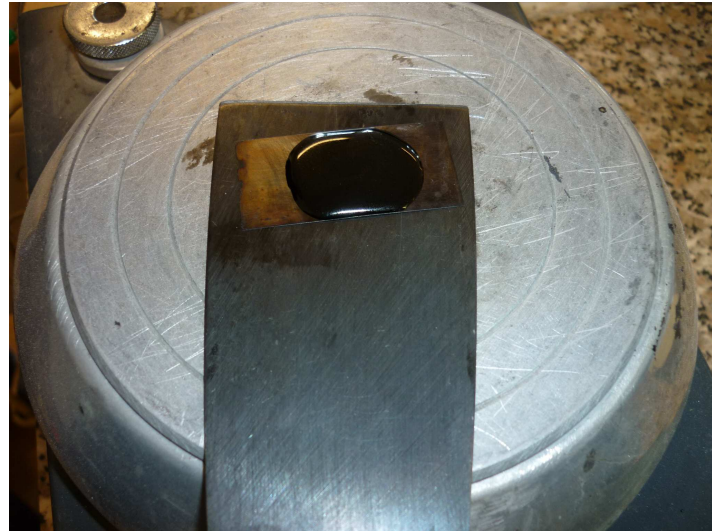
Plíšek pokrytý asfaltem se uloží do úchytek ohýbacího zařízení, přičemž se dbá na to, aby nedošlo k případnému porušení asfaltového povrchu. Ohýbací zařízení se vloží do skleněné zkumavky přístroje, na jejíž dno se předtím opatrně nasype malé množství sušidla. Teploměr se do zkumavky vloží tak, aby jeho lihová nádobka byla za plíškem uprostřed mezi upínacími patkami. Zkušební zkumavka se vloží do Dewarovy nádoby naplněné etanolem do výšky nejméně 100 mm. Předepsané snižování teploty (1 °C/min) se dosáhne postupným přidáváním pevného oxidu uhličitýho. Rychlost ochlazování je úměrná rozdílu teplot vzorku a lázně. Pro dosažení potřebné rychlosti ochlazování je třeba tento rozdíl udržovat v rozmezí cca 8 - 12 °C. Plíšek se začne ohýbat a narovnávat při teplotě o 10 °C vyšší, než je předpokládaná teplota lámavosti asfaltu. Ohýbání a narovnávání plíšku se provádí rovnoměrným otáčením kličky ohýbacího zařízení rychlostí 1 obrátka za 1 s až na doraz a zpět. Mezi pravidelným opakováním ohýbání se zařízení ponechá v klidu ve výchozí poloze po dobu (38 ± 2) s. Povrch asfaltu se pozoruje ve světle lampy umístěné nejméně 10 cm od přístroje.

Jako bod lámavosti se zaznamená teplota v okamžiku vzniku první trhliny na povrchu asfaltu zaokrouhlená na 1 °C. Podle výsledků první zkoušky se koriguje počátek ohýbání při další zkoušce. Výsledný bod lámavosti je aritmetický průměr tří měření zaokrouhlený na celé číslo. [11]

- Výsledky zkoušky

Z důvodu nesehnání pevného oxidu uhličitého (suchého ledu) nebylo možné tuto zkoušku v rámci bakalářské práce dokončit.

- Fotodokumentace



*Obr. 32: Postupné roztavování
asfaltového pojiva*

Obr. 31: Připravené asfaltové pojivo



Obr. 33: Roztavené asfaltové pojivo

3 NÁVRH ASFALTOVÝCH SMĚSÍ DLE ČSN 736160

Návrh složení asfaltové směsi vychází z požadavků příslušných technických norem, které předepisují druh a kvalitu stavebních materiálů, požadavky na složení asfaltové směsi a její fyzikální a fyzikálně mechanické vlastnosti. Materiály pro asfaltové směsi se zkoušejí podle platných zkušebních norem.

Při návrhu asfaltové směsi se stanoví zrnitost jednotlivých frakcí kameniva a provede se:

- Návrh čáry zrnitosti
- Stanovení optimálního množství pojiva [12]

3.1 Návrh čáry zrnitosti

Při sestavení návrhu směsi kameniva pro asfaltovou směs je cílem dosáhnout toho, aby výsledná čára zrnitosti směsi kameniva ležela uvnitř příslušného oboru zrnitosti (tab. 20, 21) a odpovídala účelu použití směsi.

Ke stanovení čáry zrnitosti směsi kameniva je nutné znát čáry zrnitosti jednotlivých frakcí kameniva a přidavného fileru (graf 1, 2, 3, 4).

Odhadem nebo na základě předchozích návrhů se zvolí procentuální zastoupení každé frakce ve směsi kameniva.

Podle zvoleného procentuálního zastoupení se u každé frakce redukuje propad na jednotlivých sítích přenásobením procentuálního zastoupení každé použité frakce a odpovídajícího propadu této frakce na příslušném síti. Pod sloupcem každého síta se sečte celkový propad výsledné směsi (tab. 22, 23).

Posoudí se, zda vypočítaná čára zrnitosti směsi kameniva leží uvnitř oboru zrnitosti, tj. mezi horní mezní čarou zrnitosti a dolní mezní čarou zrnitosti příslušné asfaltové směsi (graf 5) a odpovídá dalším požadavkům a zkušenostem.

V případě, že navržená čára zrnitosti směsi kameniva nevyhovuje, opakuje se výpočet se změnou zvoleného procentuálního zastoupení frakcí.

Numerický postup při návrhu čáry zrnitosti je vhodné kontrolovat i grafickým způsobem. [12]

ACO 11+

Meze	16	11	8	4	2	0,125	0,063
Horní	100	100	90	68	49	14	11
Dolní	100	90	70	42	24	4	3

Tab. 20: Meze zrnitosti kameniva pro ACO 11+

AC 11 DS

Meze	16	11	8	5,6	2	0,125	0,063
Horní	100	100	85	75	50	17	9
Dolní	100	90	70	62	40	7	5

Tab. 21: Meze zrnitosti kameniva pro AC 11 DS

ACO 11 +

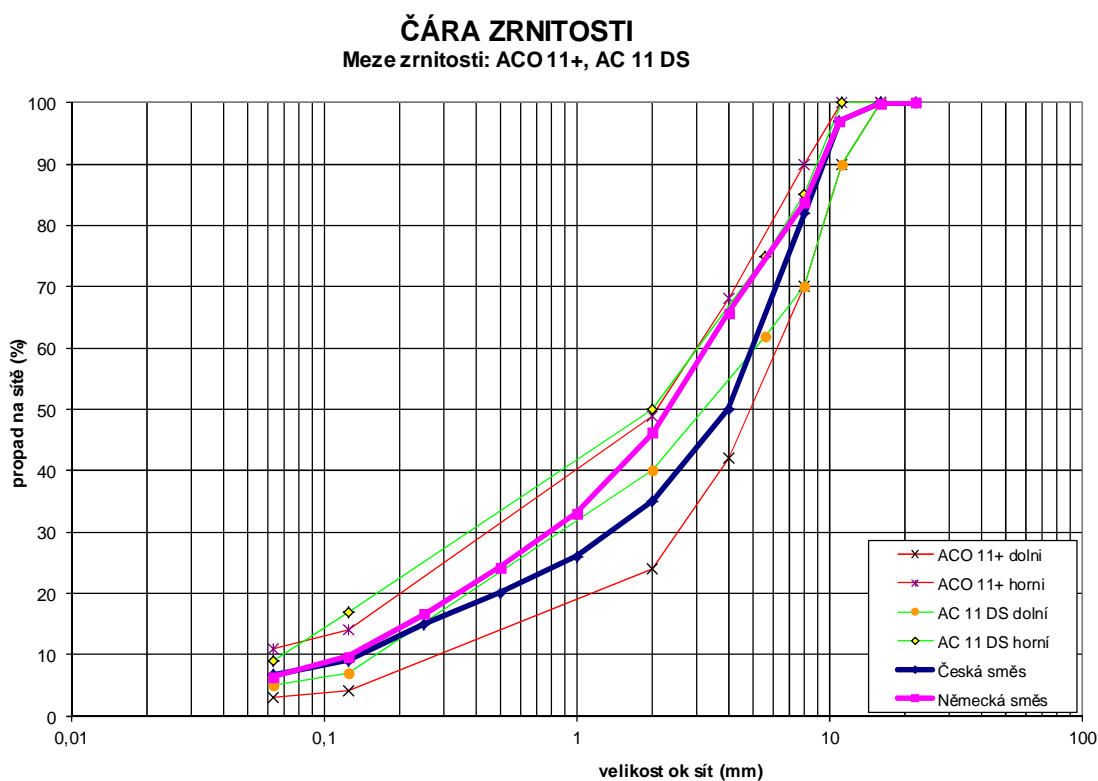
Frakce kameniva	Propad sítím										Navržené dávkování
	[%]										
	16	11	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063	[%]
8 – 11	100	86	27	6	4	4	3	3	2	1,9	22
4 – 8	100	100	93	9	3	3	2	2	2	1,7	30
0 - 4	100	100	100	94	64	44	29	17	7	3,4	42
filer	100	100	100	100	100	100	100	100	90	73	6
celkem	100	97	82	50	35	26	20	15	9	6,7	100

Tab. 22: Navržené dávkování kameniva pro ACO 11+

AC 11 DS

Frakce kameniva	Propad sítím										Navržené dávkování [%]
	[%]										
	16	11	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063	
8 – 11	100	86	27	6	4	4	3	3	2	1,9	21
4 – 8	100	100	93	9	3	3	2	2	2	1,7	12
0 - 4	100	100	100	94	64	44	29	17	7	3,4	62
filer	100	100	100	100	100	100	100	100	90	73	5
celkem	100	97	84	66	46	33	24	17	10	6,3	100

Tab. 23: : Navržené dávkování kameniva pro AC 11 DS



Graf. 5: Navržené čáry zrnitosti pro ACO 11+ a AC 11 DS

3.2 Stanovení optimálního množství pojiva

Pro stanovení teoretického optimálního množství pojiva v asfaltové směsi se využije výpočet podle součinitele sytosti, podle konstant nebo se využije dřívějších zkušeností.

Součinitel sytosti asfaltové směsi n – číslo, jímž se upravuje tloušťka asfaltového filmu při výpočtu podle součinitele sytosti. Násobí je jím pátá odmocnina měrného povrchu uvažované směsi kameniva. [12]

- Výpočet podle koeficientu sytosti

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

Kde ε je měrný povrch, v m^2/kg

G je podíl kameniva v % hmotnosti, které zadrží síto 8

g je podíl kameniva v % hmotnosti, které propadne sítem 8 a zadrží síto 4

S je podíl kameniva v % hmotnosti, které propadne sítem 4 a zadrží síto 0,25

s je podíl kameniva v % hmotnosti, které propadne sítem 0,25 a zadrží síto 0,063

f je podíl kameniva v % hmotnosti, které propadne sítem 0,063

- Teoretické množství pojiva

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

Kde **p** je teoretické množství pojiva v kg asfaltu/100 kg kameniva

n je součinitel sytosti,

ε je měrný povrch kameniva v $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$

ρ_a je objemová hmotnost kameniva stanovená podle ČSN EN 1097-6 v Mg/m^3

Součinitel sytosti n nabývá podle druhu a užití asfaltové směsi ve vozovce hodnot 3,10 a 3,40. Hodnota 3,40 se používá pro směsi určené pro běžně používané obrusné vrstvy, hodnota 3,10 pro ostatní případy. [12]

- Objemová hmotnost kameniva

$$\rho_a = \frac{q}{\frac{100}{\rho_{mw}} - \frac{A_p}{h_{20}}}$$

- Kde ρ_a je objemová hmotnost kameniva
 q je obsah kameniva v asfaltové směsi, v %
 ρ_{mw} je objemová hmotnost nezhuštěné směsi, v kg/m^3
 A_p je obsah asfaltu v asfaltové směsi, v %
 h_{20} je objemová hmotnost asfaltu, v kg/m^3 [12]

- Výsledky

ACO 11+

G	g	S	s	f	n	ρ_{mw}	A_p	h_{20}	q	ρ_a	ϵ	p
[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[-]	[Mg/m^3]	[%]	[kg/m^3]	[%]	[Mg/m^3]	[m^2/kg]	[%]
18	32	35	8,3	6,7	3,4	2,4262	6,0	1020	94	2,66	11,6167	5,53

Tab. 24: Stanovení optimálního množství pojiva pro ACO 11+

AC 11 DS

G	g	S	s	f	n	ρ_{mw}	A_p	h_{20}	q	ρ_a	ϵ	p
[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[-]	[Mg/m^3]	[%]	[kg/m^3]	[%]	[Mg/m^3]	[m^2/kg]	[%]
16	18	49	10,7	6,3	3,4	2,4099	6,4	1020	93,6	2,66	11,6872	5,54

Tab. 25: Stanovení optimálního množství pojiva pro AC 11 DS

- Vyhodnocení výsledků

Jako optimální množství asfaltového pojiva podle výpočtu vyšlo pro ACO 11+ 5,53 % a pro AC 11 DS 5,54 % z celkové hmotnosti směsi. Avšak pro následující zkoušky na asfaltových směsích v této bakalářské práci byly po konzultaci a dle předchozích zkušeností použity tyto hodnoty optimálního množství pojiva: Pro ACO 11+ 6,0 % a pro AC 11 DS 6,4 %.

3.3 Výroba zkušebních těles

- Základní informace

Pro českou asfaltovou směs ACO 11+ byly postupně vyrobeny 4 sady Marshallových těles o obsahu 5,8 % ; 5,9 % ; 6,0 % ; 6,1 % asfaltového pojiva z hmotnosti směsi. Každá sada obsahuje 4 zkušební tělesa.

Pro německou asfaltovou směs AC 11 DS byly vyrobeny 2 sady Marshallových těles o obsahu 6,1 % ; 6,4 % asfaltového pojiva z hmotnosti směsi. Každá sada obsahuje 4 zkušební tělesa.

- Výroba Marshallových těles

Nejprve se jednotlivé frakce kameniva vloží vysušit do sušárny při teplotě $(110 \pm 5) \text{ }^{\circ}\text{C}$ do ustálené hmotnosti. Vysušené kamenivo se nadávkuje do připravených nádob a společně s asfaltovým pojivem (obr. 34) se vloží do laboratorní sušárny a nechá se nahřát na požadovanou teplotu. Pro směs ACO 11+ je teplota míchání $160 \text{ }^{\circ}\text{C}$ německá směs AC 11 DS má požadovanou teplotu míchání $145 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Po dosažení této teploty se kamenivo přesypá do přehřátého kotlíku a k němu bylo přilito požadované množství asfaltového pojiva (obr. 35). Ihned následovalo zamíchání pomocí míchačky (obr. 36, 37, 38, 39). Vyrobená asfaltová směs se vysypala na podložku (obr. 40), na které byla směs ještě ručně promíchána. Následně je asfaltová směs nadávkována do připravených plechových nádob (obr. 41) a opět vložena do laboratorní sušárny. Směs se nahřeje na požadovanou teplotu hutnění, pro českou směs ACO 11+ je teplota $150 \text{ }^{\circ}\text{C}$, pro AC 11 DS $135 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Do sušárny jsou společně s asfaltovou směsí vloženy i části Marshallova pěchu, aby byla nahřata na stejnou teplotu a nedocházelo tak k ochlazení směsi. Po dosažení teploty se směs vloží do Marshallova pěchu (obr. 42, 43) a jsou hutněna Marshallova tělesa 50 úderů z každé strany (obr. 44). Po vychladnutí směsi se tělesa vytlačí a označí (obr. 45). Následně byla tělesa uskladněna v prostorách silniční laboratoře (obr. 46, 47, 48) a byly na nich provedeny základní zkoušky:

- stanovení objemové hmotnosti
- stanovení mezerovitosti

- Fotodokumentace



Obr. 34: Rozehřátí asfaltového pojiva



Obr. 35: Lití asfaltového pojiva do kameniva



Obr. 36: Míchání asfaltové směsi



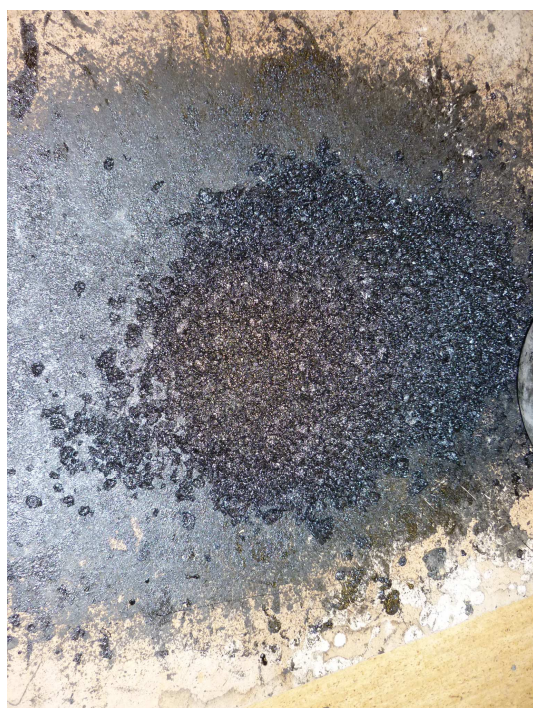
Obr. 37: Míchání asfaltové směs



Obr. 38: Míchání asfaltové směsi



Obr. 39: Míchání asfaltové směs



Obr. 40: Promíchání asfaltové směsi na podložce



Obr. 41: Vážení asfaltové směsi



Obr. 42: Vsypaní asfaltové směsi do pěchu Obr. 43: Úprava asfaltové směsi
v pěchu



Obr. 44: Marshallovo hutnicí zařízení Obr. 45: Vytlačení těles



Obr. 46: Hotová Marshallova tělesa – ACO 11+ 5,8



Obr. 47: Hotová Marshallova tělesa – 24 zkušebních těles



Obr. 48: Hotová Marshallova tělesa – 24 zkušebních těles

3.4 Zkoušky asfaltových směsí

3.4.1 Stanovení objemové hmotnosti nezhuťných směsí

- Podstata zkoušky

Maximální objemová hmotnost se společně s objemovou hmotností používá k výpočtu obsahu mezer ve zhuťném vzorku a dalších vlastností zhuťné asfaltové směsi, které se vztahují k jejímu objemu. 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 nebo rozpouštědla vytěsněného vzorkem v pyknometru. [13]

- Postup zkoušky

Zkouška byla provedena podle volumetrického postupu. Nejprve se stanoví hmotnost (m_1) prázdného pyknometru s nástavcem o známém objemu (V_p). Vysušený zkušební vzorek (obr. 49, 50) se umístí do pyknometru a temperuje se na okolní teplotu. Poté se znovu stanoví jeho hmotnost s nástavcem (m_2). Pyknometr se naplní odzdušněnou vodou maximálně do výšky 30 mm pod okraj. Zachycený vzduch se odstraní použitím vakua, které má za následek zbytkový tlak 4 kPa nebo méně, po dobu (15 ± 1) minuta (obr. 51, 52). Nástavec pyknometru nebo zátka se nasadí po opatrném naplnění pyknometru odzdušněnou vodou až téměř po referenční značku nástavce nebo zátky tak, aby nedošlo k vniknutí vzduchu.

Pyknometr se umístí do vodní lázně s rovnoměrnou zkušební teplotou ($25 \pm 1,0$) °C na dobu nejméně 30 minut, ne však déle než na 180 min, aby se dosáhlo vyrovnání teploty vzorku a vody v pyknometru s teplotou vody ve vodní lázni. Voda ve vodní lázni musí dosahovat přibližně do výšky 20 mm pod okraj pyknometru. Pyknometr se doplní vodou po značku na nástavci (obr. 53). Voda v nádobě pro doplňování pyknometru musí mít stejnou zkušební teplotu jako je zkušební teplota vodní lázně. Změří se teplota vody a z (tab. 26) se určí hustota vody (ρ_w).

Pyknometr se vyjme z vodní lázně, z vnější strany se osuší a ihned se stanoví jeho hmotnost (m_3). [13]

- Výpočet a vyjádření výsledků

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

Kde ρ_{mv} je maximální objemová hmotnost asfaltové směsi v kg/m^3 stanovená volumetrickým postupem s přesností $0,1 \text{ kg/m}^3$
 m_1 je hmotnost pyknometru, nástavce a pružiny, v g
 m_2 je hmotnost pyknometru, nástavce a pružiny a zkušební vzorku, v g
 m_3 je hmotnost pyknometru, nástavce a pružiny a zkušební vzorku a vody, v g
 V_p je objem pyknometru při naplnění po referenční značce nástavce, v m^3
 ρ_w je hustota vody při zkušební teplotě v kg/m^3 s přesností $0,1 \text{ kg/m}^3$ [13]

Teplota vody [°C]	Korekční faktor K	Hustota vody [kg/m^3]
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

Tab. 26: Hustota vody [13]

- Výsledky zkoušky

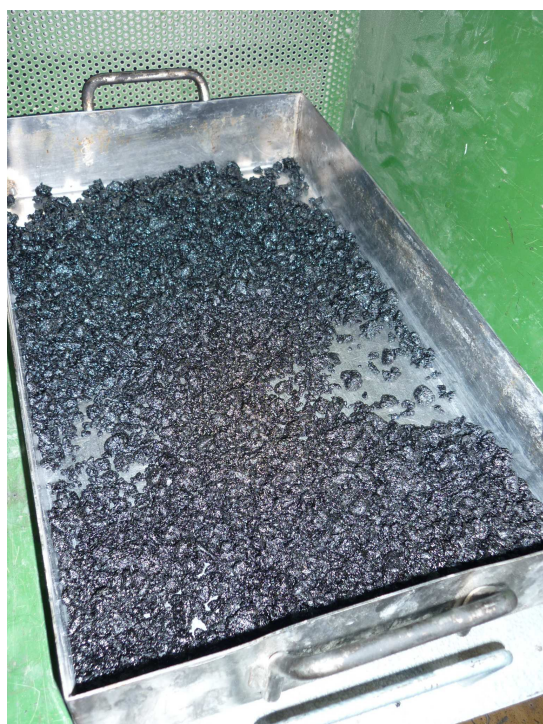
Česká směs ACO 11+							ρ_{mv} [kg/m ³]	ρ_{mv} [kg/m ³]
pyknom.	obsah asfaltu [%]	m ₁ [g]	m ₂ [g]	m ₃ [g]	V _p [m ³]	ρ_{mv} [kg/m ³]		
I	5,8	667,5	1804,6	2636,6	1305,586	2413,374	2418,17	
II		694,7	1894,4	2711,8	1314,913	2422,972		
III	5,9	685,1	1731,4	2599,7	1301,374	2430,15	2432,66	
V		693,0	1763,2	2644,2	1323,037	2435,18		
III	6,0	685,1	1777,5	2626,2	1301,374	2426,47	2426,23	
V		693,0	1857,7	2698,2	1323,037	2425,99		
III	6,1	685,1	1736,9	2601	1301,374	2419,261	2418,82	
V		693,0	1710,7	2610,3	1323,037	2418,37		

Tab. 27: Objemová hmotnost nezhuťných směsí ACO 11+

Německá směs AC 11 DS							ρ_{mv} [kg/m ³]	ρ_{mv} [kg/m ³]
pyknom.	obsah asfaltu [%]	m ₁ [g]	m ₂ [g]	m ₃ [g]	V _p [m ³]	ρ_{mv} [kg/m ³]		
I	6,1	667,5	1641,6	2542,8	1305,586	2424,552	2423,23	
II		694,7	1812,5	2663,4	1314,913	2421,901		
III	6,4	685,1	1580,4	2506,7	1301,374	2404,265	2409,91	
V		693,0	1577	2531,3	1323,037	2415,555		

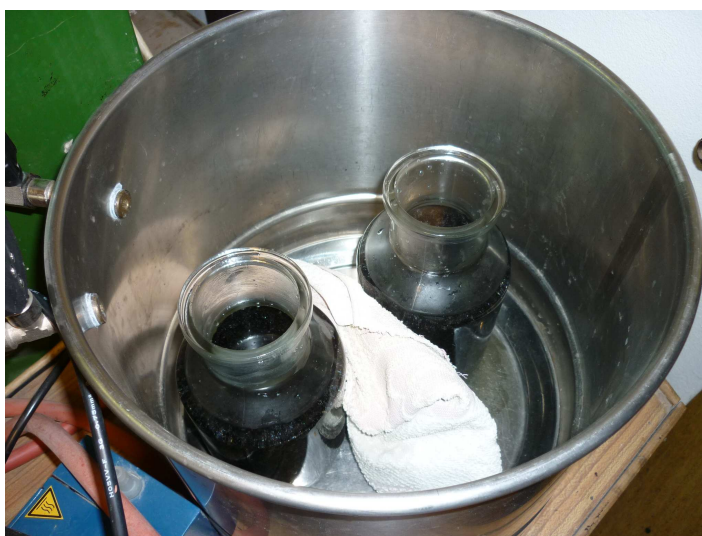
Tab. 28: Objemová hmotnost nezhuťných směsí AC 11 DS

- Fotodokumentace



Obr. 49: Ochlazování asfaltové směsi

Obr. 50: Rozdělení asfaltové směsi



Obr. 51: Pycnometry v tlakové nádobě



Obr. 52: Tlaková nádoba



Obr. 53: Pycnometr s asfaltovou směsí

3.4.2 Stanovení objemové hmotnosti asfaltových zkušebních těles

- Podstata zkoušky

Zkouška provedena na Marshallových zkušebních tělesech. Nejprve jsou Marshallova tělesa zvážena na suchu, poté pod vodou a následně povrchově osušená. [14]

- Postup zkoušky

Stanoví se hmotnost suchého zkušebního tělesa (m_1).

Stanoví se hustota vody při zkušební teplotě s přesností na $0,1 \text{ kg/m}^3$ (ρ_w) podle (tab. 26). Zkušební těleso se ponoří do vodní lázně temperované na známé zkušební teplotě. Těleso se ponechá dostatečně dlouho sytit vodou tak, aby se jeho hmotnost po nasycení ustálila na konstantní hodnotě. (Jako minimální doba k nasycení se uvažuje 30 minut).

Stanoví se hmotnost ponořeného, nasyceného zkušebního tělesa (m_2), přičemž se dbá, aby na povrchu tělesa neulpívaly žádné vzduchové bublinky nebo z něj nevycházely při vážení.

Těleso se vyjme z vody, povrchově osuší (z povrchu se odstraní kapky vody) otřením vlhkou jelenicí, nebo jinou vhodnou textilií.

Hmotnost tělesa nasyceného vodou (m_3) se stanoví okamžitě po povrchovém osušení na vzduchu. [14]

- Výpočet a vyjádření výsledků

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

Kde ρ_{bssd} je objemová hmotnost – nasycený suchý povrch (SSD),
v kg/m^3

m_1 je hmotnost suchého tělesa, v g

m_2 je hmotnost tělesa ve vodě, v g

m_3 je hmotnost tělesa nasyceného vodou a povrchově osušeného,
v g

ρ_w je hustota vody při zkušební teplotě v kg/m^3 s přesností 0,1
 kg/m^3 [14]

- Výsledky zkoušky

ACO 11+ 6,0

Vzorek	m ₁ [g]	m ₂ [g]	m ₃ [g]	ρ _w [kg/m ³]	ρ _{bssd} [kg/m ³]	Øρ _{bssd} [kg/m ³]
I	1212,8	699,2	1213,6	998,3	2353,7	2344,73
II	1218,4	700,6	1219,5		2344,1	
III	1217,5	698,2	1218,5		2336,0	
IV	1218,5	701,1	1219,8		2345,1	

Tab. 29: Objemová hmotnost asfaltových zkušebních těles ACO 11+

AC 11 DS 6,4

Vzorek	m ₁ [g]	m ₂ [g]	m ₃ [g]	ρ _w [kg/m ³]	ρ _{bssd} [kg/m ³]	Øρ _{bssd} [kg/m ³]
I	1216,9	699,2	1218,0	998,3	2341,6	2338,79
II	1215,3	696,5	1215,8		2336,3	
III	1218,3	698,7	1218,8		2338,5	
IV 150°C	1213,2	696,3	1213,6		2341,3	

Tab. 30: Objemová hmotnost asfaltových zkušebních těles AC 11 DS

3.4.3 Stanovení mezerovitosti asfaltových těles

$$V_m = \frac{\rho_{mv} - \rho_{bssd}}{\rho_{mv}} \times 100$$

Kde V_m je mezerovitost s přesností na 0,1%, v %

ρ_{bssd} je objemová hmotnost ztuhlé asfaltové směsi (Marshallova tělesa), v kg/m³

ρ_{mv} je objemová hmotnost neztuhlé asfaltové směsi, v kg/m³[15]

Vzorek	Mezerovitost V_m [%]
ACO 11+ 6,0	3,4
AC 11 DS 6,4	3,0

Tab. 31: Mezerovitost asfaltových směsí

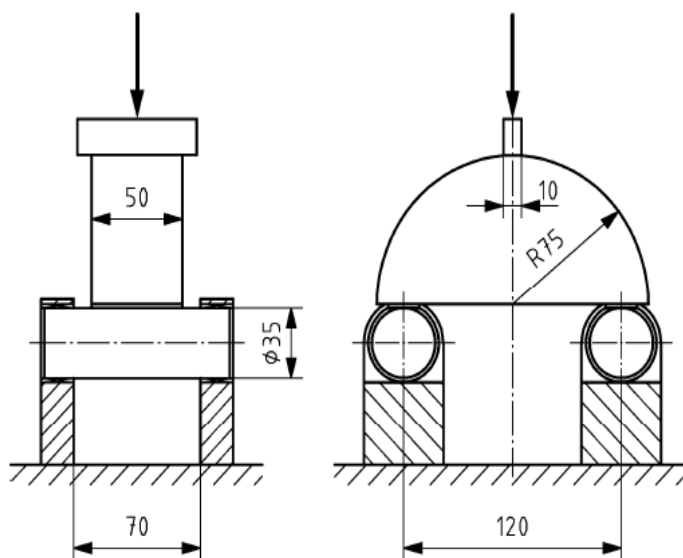
Bylo rozhodnuto, že porovnávané směsi pro zkoušení odolnosti proti šíření trhliny budou ACO 11+ s obsahem asfaltového pojiva 6,0 % z celkové hmotnosti směsi a AC 11 DS s obsahem asfaltového pojiva 6,4 % z celkové hmotnosti směsi.

4 ZKOUŠENÍ ODOLNOSTI ASFALTOVÝCH SMĚSÍ PROTI ŠÍŘENÍ TRHLINY

4.1 Postup zkoušky

- Podstata zkoušky

Půlválcové zkušební těleso s trhlinou uprostřed je zatěžováno ohybem ve třech bodech tak, že střed spodního líce zkušebního tělesa je vystaven napětí v tahu. V průběhu zkoušky se deformace zvyšuje při konstantní rychlosti 5 mm/min. Odpovídající zatížení se zvyšuje na maximální hodnotu F_{\max} , která se přímo vztahuje k odolnosti zkušebního tělesa vůči lomu. V (obr. 54) je uveden příklad zkušebního rámu a zkušebního tělesa.



Obr. 54: Příklad zkušebního rámu a zkušebního tělesa pro zkoušku SCB [16]

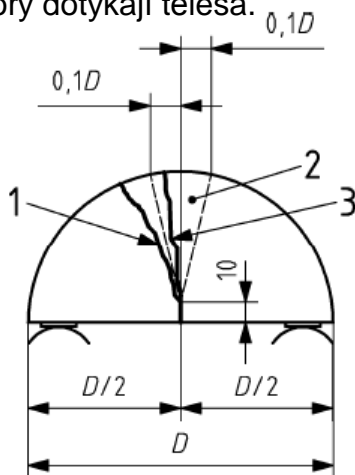
- Průběh zkoušky

Pokud jsou zkušební tělesa zkoušena při teplotě X , pak musí být tělesa uložena do klimatické komory při teplotě $(X \pm 1) ^\circ\text{C}$ po dobu nejméně 4 h. Doporučuje se tuto zkoušku provádět při $X = 0 ^\circ\text{C}$.

Siloměr a zatěžovací pásek se umístí na horní části zkušebního zařízení a válečkové podpory na spodní části zkušebního zařízení.

Zkušební těleso se vyjme z klimatické komory a uloží se do univerzálního zkušebního zařízení mezi zatěžovací pásek a válečkové podpory (obr. 56, 57) pokud možno v co nejkratším čase.

Je třeba se ujistit, že zkušební těleso je umístěno ve středu zkušebního zařízení. Toto lze provést vyznačením značek na povrch zkušebního tělesa do míst, kde se podpory dotýkají tělesa.



Obr. 55: – Kritérium pro výsledek platné zkoušky

Legenda

- 1 Neplatná zkouška
- 2 Oblast pro platný výsledek zkoušky
- 3 Platná zkouška

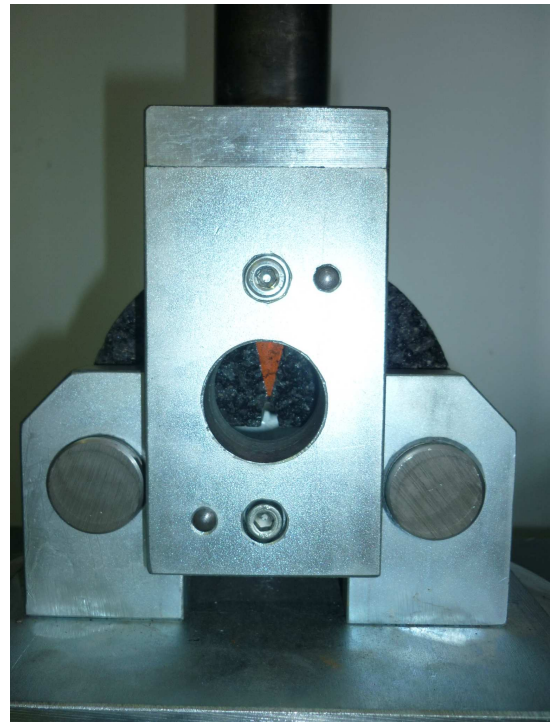
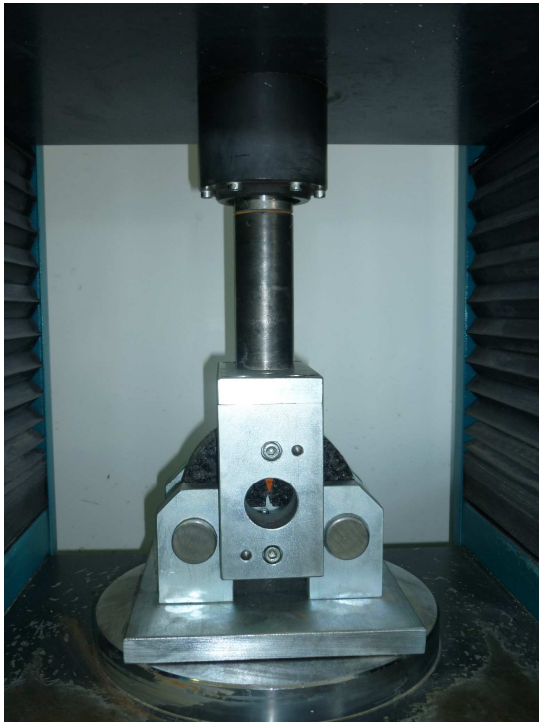
Jakmile je zkušební těleso na místě, zvedne se spodní část zkušebního zařízení tak, aby se zkušební těleso dotýkalo horního zatěžovacího pásku (obr. 56, 57). Svislá deformace se nastaví na nulu a poté se aplikuje přiměřené zatížení na zkušební těleso tak, aby bylo dosaženo rychlosti deformace $(5,0 \pm 0,2)$ mm/min. Zaznamená se síla s přesností na 1 N a svislý posun s přesností na 0,01 mm.

Doba mezi vyjmutím vzorku z klimatické komory a porušením vzorku musí být menší než 60 s.

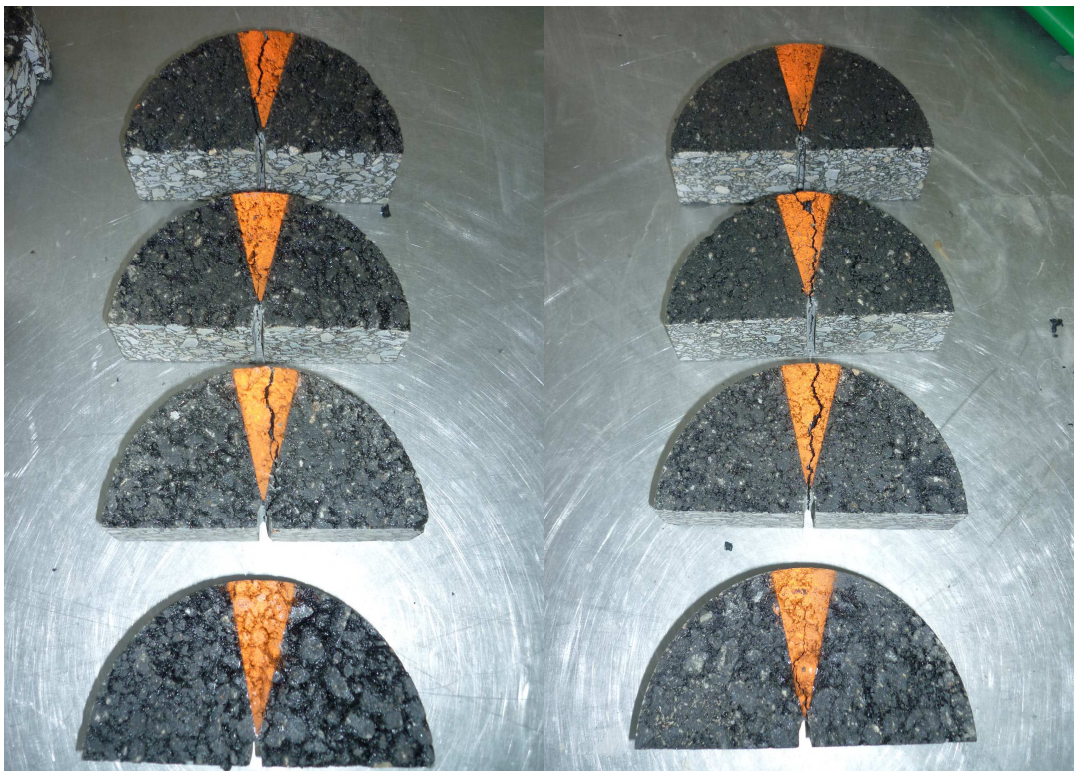
Síla F a svislý posun se vynese v závislosti na čase od zahájení zkoušky (graf 6).

Zkouška se považuje za platnou, pokud se trhлина vyskytuje v oblasti ± 15 mm (= 10 % průměru zkušebního tělesa) od středu zatěžovacího pásku. Pokud je trhлина vně této plochy (obr. 55, 59), pak má být zkoušeno další zkušební těleso. Zkouška musí být provedena nejméně na čtyřech zkušebních tělesech s platnými výsledky (obr. 58). [16]

- Fotodokumentace



Obr. 56, 57: Půlválcové těleso ve zkušebním lisu



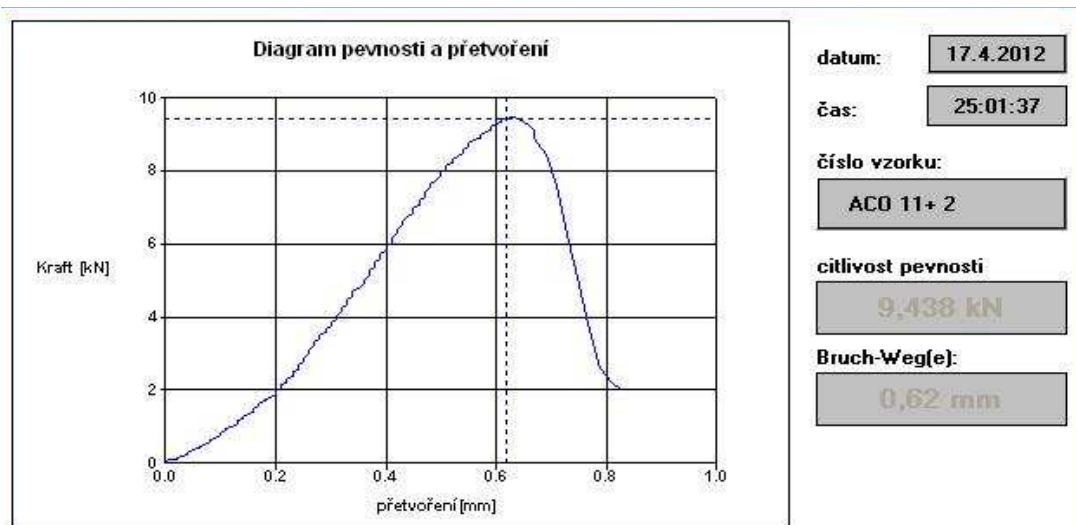
Obr. 58: Zkušební tělesa po provedené zkoušce, vlevo ACO 11+, vpravo AC 11 DS



Obr. 59: – Průběh trhliny po provedené zkoušce u AC 11 DS



Obr. 60: – Rozlomené půlválcové těleso – rozlomené kamenivo



Graf. 6: – Diagram pevnosti a přetvoření pro ACO 11 +

4.2 Výroba zkušebních těles

Nejprve byly vyrobeny české a německé asfaltové směsi dle předem navržených postupů. (Kapitola 3)

Navážka byla vypočítána na desku o rozměrech 0,26 x 0,32 x 0,05 m. Z vypočítané navážky se namíchala směs při teplotě pro ACO 11+ 160 °C a AC 11 DS 145 °C a následně byla zhutněna v lamelovém zhutňovači (obr. 62) při teplotě 150 °C pro ACO 11+ a 135 °C.

Tímto postupem byly vyrobeny dvě desky (obr. 63) pro českou a německou směs, ze kterých bylo pomocí jádrového vývrtu (obr. 64) vyříznuty čtyři válcová tělesa o průměru (150 ± 1) mm a výšce (50 ± 3) mm (obr. 66).

Takto vyrobená tělesa byla rozříznuta na pile s diamantovým kotoučem (obr. 67), takže se získalo osm půlválcových zkušebních těles. Čtyři pro českou směs a čtyři pro německou směs (obr. 68, 69). Ve středu zkušebních těles byla vyřezána drážka N, a to na šířku ($0,35 \pm 0,10$) mm a hloubku ($10,0 \pm 1,0$) mm.

Vzorek	Mezerovitost V_m - Marshall [%]	Mezerovitost V_m - zk. deska [%]
ACO 11 +	3,4	2,5
AC 11 DS	3,0	2,9

Tab. 32: Porovnání mezerovitosti: Marshall x zkušební deska

ACO 11+

Vzorek	D_1 [mm]	D_2 [mm]	$\varnothing D$ [mm]	t_1 [mm]	t_2 [mm]	t_3 [mm]	$\varnothing t$ [mm]
I	150,0	150,0	150,0	49,9	50,0	50,0	50,0
II	150,1	150,2	150,2	50,0	49,8	49,8	49,9
III	150,0	150,1	150,1	49,7	49,6	49,7	49,7
IV	150,0	150,1	150,1	49,6	49,5	49,5	49,5

Tab. 33: Rozměry zkušebních půlválcových těles ACO 11+

Vzorek	h_1 [mm]	h_2 [mm]	$\varnothing W$ [mm]	a_1 [mm]	a_2 [mm]	$\varnothing a$ [mm]
I	72,9	73,4	73,2	9,1	9,2	9,2
II	73,9	73,5	73,7	10,5	10,3	10,4
III	73,5	73,8	73,7	9,6	9,6	9,6
IV	73,9	73,7	73,8	10,1	10,1	10,1

Tab. 34: Rozměry zkušebních půlválcových těles ACO 11+

AC 11 DS

Vzorek	D ₁ [mm]	D ₂ [mm]	ØD [mm]	t ₁ [mm]	t ₂ [mm]	t ₃ [mm]	Øt [mm]
I	150,0	150,1	150,1	52,9	52,8	52,9	52,9
II	150,0	149,9	150,0	52,4	52,4	52,2	52,3
III	150,0	150,1	150,1	49,6	50,0	50,0	49,9
IV	150,0	150,0	150,0	50,0	49,6	49,7	49,8

Tab. 35: Rozměry zkušebních půlválcových těles AC 11 DS

Vzorek	h ₁ [mm]	h ₂ [mm]	ØW [mm]	a ₁ [mm]	a ₂ [mm]	Øa [mm]
I	73,4	73,5	73,5	10,0	10,0	10,0
II	72,6	72,5	72,6	9,3	9,4	10,4
III	73,0	72,7	72,9	9,2	9,3	9,3
IV	73,1	73,5	73,3	9,7	9,7	9,7

Tab. 36: Rozměry zkušebních půlválcových těles AC 11 DS

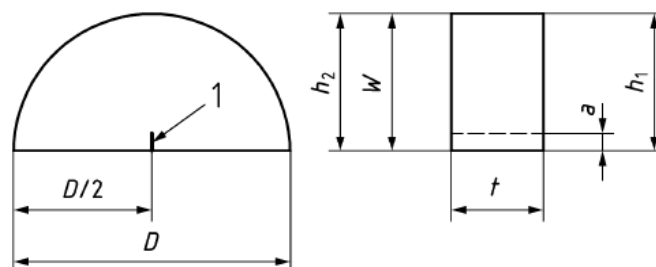
Kde **D** je průměr zkušebního tělesa, měřen na dvou místech podél jeho nejdelší strany, v mm

t je tloušťka zkušebního tělesa měřená na dvou koncích spodního líce (t₁ a t₂) a nahoře (pod zatěžovacím páskem t₃), v mm

h je výška zkušebního tělesa měřená na každé straně (h₁ a h₂), jako průměrná hodnota se zaznamená W, v mm

a je hloubka drážky, v mm

- Fotodokumentace



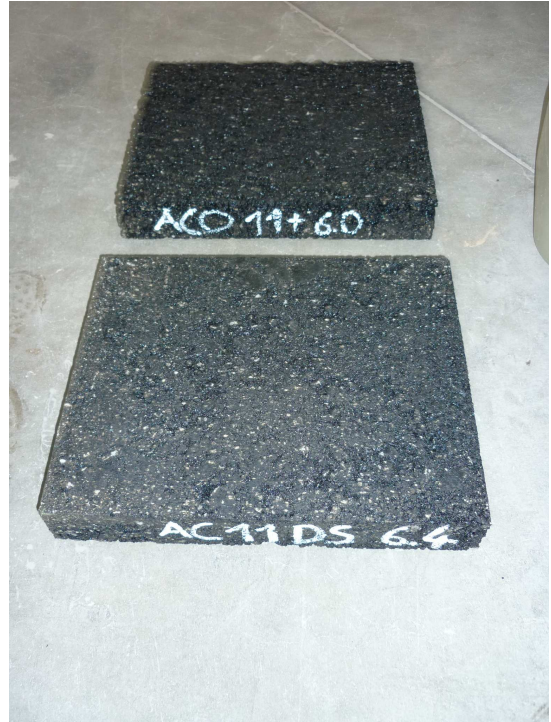
Obr. 61: Rozměry zkušebního tělesa

Legenda:

1 – drážka [16]



Obr. 62: Lamelový zhutňovač



Obr. 63: Vyrobené desky



Obr. 64: Jádrový vývrt



Obr. 65: Deska po jádrových vývrtech



Obr. 66: Zkušební válcová tělesa



Obr. 67: Rozříznutí válcových těles



Obr. 68: Půlválcová tělesa AC 11 DS



Obr. 69: Půlválcová tělesa ACO

11+

4.3 Dosažené výsledky

$$\varepsilon_{\max,i} = \frac{\Delta W_i}{W_i} \times 100 \%$$

$$\sigma_{\max,i} = \frac{4,263 \times F_{\max,i}}{D_i \times t_i} \quad \text{N/mm}^2$$

$$K_{Ic,i} = \sigma_{\max,i} \cdot f\left(\frac{a_i}{W_i}\right) \quad \text{N/mm}^{1,5}$$

$$f\left(\frac{a_i}{W_i}\right) = 5,956 \quad (\text{pro } 9 < \varnothing a < 11 \text{ mm a } 70 < \varnothing W < 75 \text{ mm}) \quad [16]$$

ACO 11+

Vzorek	F_{\max} [N]	ΔW [mm]	ε_{\max} [%]	σ_{\max} [N/mm ²]	K_{Ic} [N/mm ^{1,5}]	$\varnothing K_{Ic}$ [N/mm ^{1,5}]
I	9330,0	1,33	1,82	5,30	31,59	31,56
II	9438,0	0,62	0,84	5,37	31,97	
III	9642,0	1,18	1,60	5,51	32,82	
IV	8733,0	0,54	0,73	5,01	29,84	

Tab. 37: Dosažené výsledky po zkoušce šíření trhliny pro ACO 11+

AC 11 DS

Vzorek	F_{\max} [N]	ΔW [mm]	ε_{\max} [%]	σ_{\max} [N/mm ²]	K_{Ic} [N/mm ^{1,5}]	$\varnothing K_{Ic}$ [N/mm ^{1,5}]
I	9006,0	0,67	0,91	4,84	28,80	30,09
II	9669,0	0,80	1,10	5,25	31,29	
III	8218,0	0,84	1,15	4,68	27,86	
IV	9534,0	0,81	1,11	5,44	32,41	

Tab. 38: Dosažené výsledky po zkoušce šíření trhliny pro AC 11 DS

Kde F_{\max} je maximální zatížení, v N

ΔW je svislá deformace, v mm

ε_{\max} je přetvoření, v %

σ_{\max} je maximální napětí při porušení, v N/mm²

K_{Ic} je odolnost vůči lomu zkušebního tělesa, v N/mm^{1,5} [16]

4.4 Zkouška odolnosti tělesa vůči působení vody

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

$$ITS = \frac{2P}{\pi \times D \times H}$$

Kde **ITSR** je poměr pevnosti v příčném tahu, v %

ITS_w je průměrná pevnost v příčném tahu skupiny „mokrých“ zkušebních těles, v kPa

ITS_d je průměrná pevnost v příčném tahu skupiny „suchých“ zkušebních těles, v kPa

P je maximální zatížení, v N

D je průměr zkušebního tělesa, v mm

H je výška zkušebního tělesa, v mm

ε_{max} je přetvoření, v % [17]

ACO 11+ Mokrý vzorky:

Vzorky	P _{max} [N]	ε _{max} [%]	ITS _w [kPa]	Ø ITS _w [kPa]
IV	7856,00	1,23	0,771	0,799
V	7915,00	1,55	0,777	
VI	8667,00	1,28	0,849	

Tab. 39: Pevnost v příčném tahu ACO 11+ „Mokrý vzorky“

AC 11 DS Mokrý vzorky:

Vzorky	P _{max} [N]	ε _{max} [%]	ITS _w [kPa]	Ø ITS _w [kPa]
IV	6360,00	1,05	0,621	0,610
V	5936,00	1,10	0,586	
VI	6323,00	1,42	0,621	

Tab. 40: Pevnost v příčném tahu AC 11DS „Mokrý vzorky“

ACO 11+ Suché vzorky

Vzorky	P_{\max} [N]	ϵ_{\max} [%]	ITS_w [kPa]	$\emptyset ITS_w$ [kPa]
IV	14020,00	2,30	1,370	1,586
V	16520,00	2,15	1,623	
VI	17820,00	2,12	1,765	

Tab. 41: Pevnost v příčném tahu ACO 11+ „Suché vzorky“

ACO 11+ Suché vzorky

Vzorky	P_{\max} [N]	ϵ_{\max} [%]	ITS_w [kPa]	$\emptyset ITS_w$ [kPa]
IV	15950,00	2,33	1,582	1,625
V	16420,00	2,25	1,619	
VI	16980,00	2,11	1,673	

Tab. 42: Pevnost v příčném tahu AC 11 DS „Suché vzorky“

Vzorky	ITSR [%]
ACO 11+	50,38
AC 11 DS	37,52

Tab. 43: Poměr pevností v příčném tahu

Zkouška prokázala, že česká směs ACO 11+ je výrazně odolnější na poměr pevností v příčném tahu než německá směs AC 11 DS.

5 ZÁVĚR

- Zhodnocení měření

Původní očekávání, že česká směs ACO 11+ bude oproti německé směsi AC 11 DS méně odolná na vznik a šíření trhliny se nepotvrdilo. Z výsledků zkoušky je patrné, že ACO 11+ má o něco větší odolnost proti lomu, než druhá navržená směs AC 11 DS. Výsledky obou zkoušek se však od sebe neliší natolik, že by bylo možné tento závěr zevšeobecnit. Prokázání by bylo zapotřebí provést na větším počtu vzorků s kamenivem z různých lokalit a taktéž s různými druhy asfaltových pojiv.

Obdobnou tendenci potvrdila i zkouška odolnosti vůči účinkům vody, kterou provedl Martin Kalfeřt. Výsledky této zkoušky jsou uvedeny v (tab. 43). Petr Dlouhý, který měl provést zkoušku odolnosti směsí proti trvalým deformacím nemohl pro studijní neúspěchy dokončit do termínu odevzdání této bakalářské práce.

- Další poznatky odvozené z dosažených výsledků

Výpočet optimálního množství pojiva dle koeficientu sytosti pro německou směs AC 11 DS mohl být ovlivněn tím, že podle ČSN 73 6160 je uvažováno síto velikosti 4 mm, kdežto německá směs má podle normy TL Asphalt – StB 07 uvažováno síto velikosti 5,6 mm (tab. 20, 21).

To, že vyšla česká směs ACO 11+ nepatrně odolnější, než druhá navržená směs AC 11 DS mohla ovlivnit nízká hodnota mezerovitosti u ACO 11+ (tab. 32). Zjištěná mezerovitost se na Marshallových tělesech se měla porovnávat s tělesy z jádrového výřezu. Tyto hodnoty ovšem nebyly naměřeny, proto se mezerovitost porovnává alespoň na zkušebních deskách, na kterých byla naměřena a ze kterých byla tělesa vyřezána. Je téměř nemožné dosáhnout stejné mezerovitosti u zcela totožně navržených asfaltových směsí. Je velmi pravděpodobné, že při výrobě nové zkušební desky by mohl vyjít rozptyl mezerovitosti $\pm 0,5 \%$.

Dle normy ČSN EN 12697-44 měla být ve zkušebních půlválcových tělesech vyříznuta drážka o tloušťce $(0,35 \pm 0,10)$ mm. Toho ovšem k omezenému technickému vybavení silniční laboratoře nebylo možno dosáhnout. Drážka měřila $(3,0 \pm 0,5)$ mm, avšak její šířka byla shodná u obou druhů posuzovaných směsí.

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ČSN EN 933-1 Stanovení geometrických vlastností kameniva- Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor, Červen 1998
- [2] ČSN EN 933-4 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 4: Stanovení tvaru zrn – Tvarový index, Říjen 2008
- [3] ČSN EN 1097-2 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva- Část 2: Metody pro stanovení odolnosti proti drcení, Červenec 1999
- [4] ČSN EN 1097-6 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti, Říjen 2001
- [5] ČSN EN 933-9 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 9: Posouzení jemných částic – Zkouška methylenovou modří, Září 1999
- [6] ČSN EN 1367-2 Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání – Část 2: Zkouška síranem hořčnatým, Červenec 1999
- [7] Asfalty a asfaltové výrobky. s. 1. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/vyroby/asfalty.aspx>
- [8] Asfaltové silniční výrobky: Silniční asfalty. s. 1. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/vyroby/asfalty-silnicni.aspx>
- [9] Hodnocení asfaltů: Stanovení penetrace jehlou. s. 1. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=asfalty_hodnoceni
- [10] Hodnocení asfaltů: Stanovení bodu měknutí metodou kroužek-kulička (KK). s. 1. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=asfalty_hodnoceni
- [11] Hodnocení asfaltů: III. BOD LÁMAVOSTI. s. 4. Dostupné z: <http://cesmina.vscht.cz/trp/images/Dokuments/Navody-na-laboratore/Hodnoceni-asfaltu-bac+mag.pdf>
- [12] ČSN 73 6160 Zkoušení asfaltových směsí, Duben 2008
- [13] ČSN EN 12697-5+A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti, Prosinec 2007
- [14] ČSN EN 12697-6+A1 A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa, Prosinec 2007

- [15] ČSN EN 12697-8 A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí, Květen 2004
- [16] ČSN EN 12697-44 Asfaltové směsi- Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka- Část 44: Šíření trhliny zkouškou ohybem na půlválcovém zkušebním tělese, Leden 2011
- [17] ČSN EN 12697-12 Asfaltové směsi- Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka- Část 12: Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ACO 11+ : Asfaltový beton do obrusných vrstev, max. zrno velikosti 11, střední kvality, pro třídy dopravní zatížení 2 - 4

AC 11 DS: Asfaltový beton do obrusných vrstev, max. zrno velikosti 11, směs nejvyšší kvality, pro třídy dopravní zatížení 2 - 3

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Homogenizace kameniva	20
Obrázek 2: Homogenizace kameniva	20
Obrázek 3: Vážení kameniva	20
Obrázek 4: Promývání kameniva	20
Obrázek 5: Sítový rozbor- sada sít na vibračním přístroji	21
Obrázek 6: Promývání fileru.....	21
Obrázek 7: Posuvné měřítko.....	23
Obrázek 8: Roztříděné kamenivo po provedení zkoušky	23
Obrázek 9: Vsypaní kameniva do bubnu	25
Obrázek 10: Promývání kameniva na sítu 1,6 mm	25
Obrázek 11: Kamenivo a ocelové koule v otloukacím bubnu.....	26
Obrázek 12: Otloukací buben pro provedení zkoušky LA.....	26
Obrázek 13: Částečně podrcené kamenivo po provedené zkoušce	26
Obrázek 14: Nasypaní kameniva do pyknometru	30
Obrázek 15: Plnění pyknometru vodou.....	30
Obrázek 16: Pyknometry naplněné kamenivem.....	30
Obrázek 17: Pyknometry penetrovány ve vodní lázni	31
Obrázek 18: Povrchové osušení kameniva.....	31
Obrázek 19: <i>Vážení kameniva</i>	31
Obrázek 20: Kádinka a míchačka	33
Obrázek 21: Výsledek zkoušky	33
Obrázek 22: Nalítí asfaltového pojiva.....	36
Obrázek 23: Temperování asfaltového pojiva.....	36
Obrázek 24: Nastavení jehly těsně nad povrch asfaltového pojiva	36

Obrázek 25: Seříznutí přebytečného pojiva	38
Obrázek 26: Zkušební zařízení	38
Obrázek 27: Zkušební vzorky před provedenou zkouškou	38
Obrázek 28: Protážení asfaltového pojiva po skončení zkoušky	39
Obrázek 29: Protážení asfaltového pojiva – úspěšně provedená zkouška	39
Obrázek 30: Záznam výsledků zkoušky.....	39
Obrázek 31: Připravené asfaltové pojivo	41
Obrázek 32: Postupné roztavování asfaltového pojiva	41
Obrázek 33: Roztavené asfaltové pojivo.....	41
Obrázek 34: Rozehřátí asfaltového pojiva	48
Obrázek 35: Lití asfaltového pojiva do kameniva.....	48
Obrázek 36: Míchání asfaltové směsi.....	48
Obrázek 37: Míchání asfaltové směsi.....	48
Obrázek 38: Míchání asfaltové směsi.....	49
Obrázek 39: Míchání asfaltové směsi.....	49
Obrázek 40: Promíchání asfaltové směsi na podložce	49
Obrázek 41: Vážení asfaltové směsi.....	49
Obrázek 42: Vsypaní asfaltové směsi do pěchu	50
Obrázek 43: Úprava asfaltové směsi v pěchu.....	50
Obrázek 44: Marshallovo hutnící zařízení.....	50
Obrázek 45: <i>Vytlačení těles</i>	50
Obrázek 46: Hotová Marshallova tělesa – ACO 11+ 5,8.....	51
Obrázek 47, 48: Hotová Marshallova tělesa – 24 zkušebních těles.....	51
Obrázek 49: Ochlazování asfaltové směsi	54

Obrázek 50: Rozdělení asfaltové směsi.....	54
Obrázek 51: Pyknometry v tlakové nádobě	55
Obrázek 52: <i>Tlaková nádoba</i>	55
Obrázek 53: Pyknometr s asfaltovou směsí.....	55
Obrázek 54: Příklad zkušebního rámu a zkušebního tělesa pro zkoušku SCB	58
Obrázek 55: Kritérium pro výsledek platné zkoušky	59
Obrázek 56: Půlválcové těleso ve zkušebním lisu	60
Obrázek 57: Půlválcové těleso ve zkušebním lisu	60
Obrázek 58: Zkušební tělesa po provedené zkoušce, vlevo ACO 11+, vpravo AC 11 DS	60
Obrázek 59: Průběh trhliny po provedené zkoušce u AC 11 DS	61
Obrázek 60: Rozlomené půlválcové těleso – rozlomené kamenivo	61
Obrázek 61: Rozměry zkušebního tělesa	63
Obrázek 62: Lamelový zhutňovač.....	64
Obrázek 63: Vyrobené desky.....	64
Obrázek 64: Jádrový vývrt	64
Obrázek 65: Deska po jádrových vývrtech.....	64
Obrázek 66: Zkušební válcová tělesa	65
Obrázek 67: Rozříznutí válcových těles.....	65
Obrázek 68: Půlválcová tělesa AC 11 DS.....	65
Obrázek 69: Půlválcová tělesa ACO 11+.....	65

9 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Hmotnost zkušebních navážek pro hutné kamenivo	14
Tabulka 2: Stanovení obsahu jemných částic fileru	14
Tabulka 3: Stanovení zrnitosti fileru	14
Tabulka 4: Stanovení obsahu jemných částic frakce 0 - 4	15
Tabulka 5: Stanovení zrnitosti frakce 0 - 4	16
Tabulka 6: Stanovení obsahu jemných částic frakce 4 - 8	17
Tabulka 7: Stanovení zrnitosti frakce 4 - 8	17
Tabulka 8: Stanovení obsahu jemných částic frakce 8 - 11	18
Tabulka 9: Stanovení zrnitosti frakce 8 - 11	19
Tabulka 10: Hmotnost zkušebních navážek	22
Tabulka 11: Tvarový index frakcí kameniva	23
Tabulka 12: Alternativní klasifikace úzkých frakcí	25
Tabulka 13: Odolnost proti drcení frakce kameniva	25
Tabulka 14: Nejmenší hmotnost zkušebních navážek	28
Tabulka 15: Hmotnosti kameniva	29
Tabulka 16: Objemové hmotnosti a nasákavost kameniva	29
Tabulka 17: Výsledek zkoušky – posouzení jemných částic	33
Tabulka 18: Výsledky zkoušky penetrace	35
Tabulka 19: Stanovení bodu měknutí	37
Tabulka 20: Meze zrnitosti kameniva pro ACO 11+	43
Tabulka 21: Meze zrnitosti kameniva pro AC 11 DS	43
Tabulka 22: Navržené dávkování kameniva pro ACO 11+	43
Tabulka 23: Navržené dávkování kameniva pro AC 11 DS	44
Tabulka 24: Stanovení optimálního množství pojiva pro ACO 11+	46

Tabulka 25: Stanovení optimálního množství pojiva pro AC 11 DS	46
Tabulka 26: <i>Hustota vody</i>	53
Tabulka 27: Objemová hmotnost nezhutněných směsí ACO 11+	54
Tabulka 28: Objemová hmotnost nezhutněných směsí AC 11 DS	54
Tabulka 29: Objemová hmotnost asfaltových zkušebních těles ACO 11+	57
Tabulka 30: Objemová hmotnost asfaltových zkušebních těles AC 11 DS	57
Tabulka 31: Mezerovitost asfaltových směsí	57
Tabulka 32: Porovnání mezerovitosti: Marshall x zkušební	62
Tabulka 33: Rozměry zkušebních půlválcových těles ACO 11+	62
Tabulka 34: Rozměry zkušebních půlválcových těles ACO 11+	62
Tabulka 35: Rozměry zkušebních půlválcových těles AC 11 DS	63
Tabulka 36: Rozměry zkušebních půlválcových těles AC 11 DS	63
Tabulka 37: Objemová hmotnost asfaltových zkušebních těles ACO 11+	65
Tabulka 38: Objemová hmotnost asfaltových zkušebních těles AC 11 DS	65
Tabulka 39: Pevnost v příčném tahu ACO 11+ „Mokrý vzorky“	67
Tabulka 40: Pevnost v příčném tahu AC 11 DS „Mokrý vzorky“	67
Tabulka 41: Pevnost v příčném tahu ACO 11+ „Suché vzorky“	68
Tabulka 42: Pevnost v příčném tahu AC 11 DS „Suché vzorky“	68
Tabulka 43: Poměr pevnosti v příčném tahu“	68

10 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Čára zrnitosti fileru	15
Graf 2: Čára zrnitosti frakce 0 - 4	16
Graf 3: Čára zrnitosti frakce 4 - 8	18
Graf 4: Čára zrnitosti frakce 8 - 11	19
Graf 5: Navržené čáry zrnitosti pro ACO 11+ a AC 11 DS.....	44
Graf 6: Diagram pevnosti a přetvoření pro ACO 11 +	61