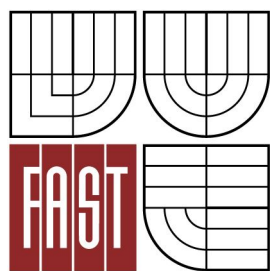




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

NAVRHOVÁNÍ ASFALTOVÝCH SMĚSÍ A ZKOUŠENÍ ODOLNOSTI PROTI TVORBĚ TRVALÝCH DEFORMACÍ

DESIGN OF ASPHALT MIXTURES AND TESTING OF THEIR RESISTANCE AGAINST
PERMANENT DEFERMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR DLOUHÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Dr. Ing. MICHAL VARAUS

BRNO 2013



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 Petr Dlouhý

Název Navrhování asfaltových směsí a zkoušení
odolnosti proti tvorbě trvalých deformací

Vedoucí bakalářské práce doc. Dr. Ing. Michal Varaus

**Datum zadání
bakalářské práce** 30. 11. 2012

**Datum odevzdání
bakalářské práce** 24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

.....
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
Verkehrsflaechenbefestigungen

ČSN 73 6160 Zkoušení asfaltových směsí

ČSN EN 12697-22+A1 Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za
horka - Část 22: Zkouška pojíždění kolem

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

Zásady pro vypracování

Provést návrhy vybraných asfaltových směsí typu asfaltový beton podle českých a německých předpisů. Návrhy směsí budou provedeny dle uvedených předpisů pro srovnatelné dopravní zatížení. V návaznosti na návrhy směsí porovnat jejich odolnost proti tvorbě trvalých deformací.

Předepsané přílohy

.....

doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá zkoušením vstupních materiálů pro návrh asfaltových směsí, kde byly provedeny zkoušky kameniva a asfaltového pojiva. Následně proběhlo navržení dvou asfaltových směsí, české směsi ACO 11+ a německé směsi AC 11 DS. Tyto směsi byly dále zkoušeny na odolnost proti tvorbě trvalých deformací. Dosažené výsledky byly vzájemně porovnány.

Abstract:

The thesis deals with the testing of raw materials for the asphalt intermixtures development, where the tests of aggregates and asphalt binders were performed. Consequently two asphalt mixtures, Czech mixture ACO 11 and German mixture AC 11 DS, were developed. The mixtures were further on tested for resistance against permanent malformation. Accomplished results were reciprocally compared.

Klíčová slova:

Asfaltová směs, asfalt, kamenivo, navrhování asfaltových směsí a zkoušení odolnosti proti tvorbě trvalých deformací

Keywords:

Asphalt mixture, bitumen, aggregate, design of asphalt mixtures and testing of their resistance against permanent deformation

Bibliografická citace VŠKP

DLOUHÝ, Petr. *Navrhování asfaltových směsí a zkoušení odolnosti proti tvorbě trvalých deformací*. Brno, 2013. 65 s. 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 15.5.2013

.....

podpis autora
Petr Dlouhý

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Dr. Ing. Michalovi Varausovi za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi pomohly při vypracování této bakalářské práce a také všem, kteří mi pomohli při vyhotovení zkoušek v laboratoři. Dále nesmím zapomenout poděkovat rodině a přítelkyni za jejich podporu.

V Brně dne 15.5.2013

.....

Petr Dlouhý

Obsah

A ÚVOD	10
B CÍL.....	10
1 VSTUPNÍ MATERIÁLY.....	11
1.1 KAMENIVO.....	11
1.1.1 Zkoušky kameniva:.....	11
1.1.2 ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor	12
1.1.3 ČSN EN 1097-6 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti	24
1.1.4 ČSN EN 933-9 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 9: Posouzení jemných částic – Zkouška methylenovou modří	27
1.1.5 ČSN EN 993-4 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 4: Stanovení tvaru zrn – Tvarový index.....	29
1.1.6 ČSN EN 1097-2 Zkoušení mechanických vlastností kameniva – Část 2: Metody pro stanovení odolnosti proti drcení	31
1.2 POJIVO.....	32
1.2.1 Zkoušky asfaltových pojiv	32
1.2.2 ČSN EN 1426 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou	32
1.2.3 ČSN EN 1427 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička	34
2 Asfaltové směsi.....	35
2.1 Návrh asfaltových směsí.....	35
2.1.1 Obory zrnitosti kameniva.....	35
2.1.2 Navržení čar zrnitosti ACO 11 + a AC 11 DS	36
2.1.3 Návrh množství pojiva.....	38
2.2 Výroba Marshallových těles	40
2.3 Zkoušky asfaltových směsí.....	40

2.3.1	ČSN EN 12697-5+A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti	41
2.3.2	ČSN EN 12697-6+A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušeb. tělesa.....	44
2.3.3	ČSN EN 12697-8 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí.....	46
3	Odolnost asfaltových směsí proti tvorbě trvalých deformací.....	47
3.1	ČSN EN 12697-33 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 33: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek	47
3.1.1	Příprava zkušebního tělesa:.....	48
3.1.2	Způsob hutnění lamelovým zhutňovačem	49
3.1.3	Odstranění formy.....	49
3.2	ČSN EN 12697-22 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 22: Zkouška poježdění kolem	50
3.2.1	Malá zkušební zařízení:	50
3.2.2	Odběr a příprava zkušebního tělesa.....	51
3.2.3	Postup pro provedení jednoho měření	51
3.2.4	Výpočet a vyjádření výsledků:	52
3.2.5	Naměřené hodnoty a vyhodnocení:	53
D	Závěr:	60
4	Seznam použité literatury	61
5	Seznam použitých zkratk a symbolů	62
6	Seznam obrázků.....	62
7	Seznam tabulek	62
8	Seznam grafů	65

A ÚVOD

V této práci byly provedeny zkoušky kameniva, asfaltového pojiva a byl zpracován návrh a uskutečněna samotná výroba asfaltových směsí. Na české a německé směsi jsem provedl zkoušku odolnosti asfaltové směsi proti tvorbě trvalých deformací.

České směsi v porovnání s německými dosahují větší odolnosti proti tvorbě trvalých deformací, ale nedosahují takových odolností proti vzniku trhlin a výtluků.

Dále bych chtěl upozornit na fakt, že souběžně s touto bakalářskou prací byly zpracovány další dvě bakalářské práce kolegů Martina Kalfeřta a Václava Petříčka, které byly obhájeny minulý rok. Kvůli objektivitě této práce uvedu v závěru výsledky mých kolegů, kteří prováděli zkoušky odolnosti asfaltové směsi proti účinkům vody a odolnosti asfaltové směsi proti šíření reflexních trhlin.

B CÍL

Cílem bakalářské práce je zpracovat teoretické a praktické návrhy dvou asfaltových směsí ze stejných vstupních materiálů dle české a německé normy pro stejné dopravní zatížení. Dále je cílem porovnat jejich vzájemné výsledky a vlastnosti zejména s ohledem na odolnost asfaltových směsí proti tvorbě trvalých deformací.

1 VSTUPNÍ MATERIÁLY

Vstupní materiály do asfaltových směsí tvoří plniva a pojiva. Jako plnivo se nejčastěji používá kamenivo různých frakcí, filer a také R-materiál. Funkci pojiva tvoří různé typy asfaltových pojiv.

1.1 KAMENIVO

Do asfaltových směsí se používá drcené kamenivo s různou velikostí zrn. Pro směsi do maximální velikosti zrna 11 mm se nejčastěji používají frakce 0/4, 4/8, 8/11 a dále se přidává vápencová moučka (filer). Kamenivo do asfaltových směsí se zkouší dle evropských norem.

1.1.1 Zkoušky kameniva:

Dále jsou uvedeny normy, které se používají pro zkoušení kameniva při návrhu asfaltové směsi. Normy, které se používaly v praktické části, jsou podrobněji rozepsány v dalších kapitolách.

- ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor
- ČSN EN 1097-6 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti
- ČSN EN 933-9 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 9: Posouzení jemných částí – Zkouška methylenovou modří
- ČSN EN 933-10 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 10: Posouzení jemných částí – Zrnitost fileru
- ČSN EN 933-4 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 4: Stanovení tvaru zrn – Tvarový index
- ČSN EN 1097-2 Zkoušení mechanických vlastností kameniva – Část 2: Metody pro stanovení odolnosti proti drcení
- ČSN EN 1367-2 Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání – Část 2 Zkoušení síranem hořčnatým

1.1.2 ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: **Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor**

Podstata zkoušky:

Zkouška se skládá z roztržení a oddělení materiálu pomocí sady sít do několika frakcí se sestupnou velikostí otvorů. Otvory sít a počet sít jsou vybrány dle druhu vzorků a požadované přesnosti.

Postup:

1. Praní:

Zkušební navážka se vloží do nádoby a přidá se dostatečné množství vody, aby kamenivo bylo zcela pod vodou. Vzorek se dostatečně promíchá, aby se dosáhlo dokonalé oddělení jemných částí.

Síto 0,063 mm, které se používá pouze pro tuto zkoušku, se navlhčí z obou stran a na toto síto se nasadí ochranné síto (např. 2mm). Síta se umístí tak, aby roztok, který protéká zkušebním sítem mohl odtékat do odpadu. Pokud je požadováno, může být zadržen ve vhodné nádobě. Obsah nádoby se vylévá na horní síto. Praní pokračuje tak dlouho až je voda protékající sítem 0,063 mm čirá.

Zůstatek na síte 0,063 mm se vysuší při $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ do ustálené hmotnosti. Nechá se vychladnout, zváží se a zaznamená hmotnost jako M_2 . [1]

2. Prosévání:

Vypraný a vysušený materiál (nebo přímo vysušený vzorek) se nasype na síta, která jsou sestavena do sloupce. Sloupec sestává ze sít 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.

Sloupcem sít se ručně nebo mechanicky otrásá, pak se postupně odebírají jednotlivá síta. Nejdříve se odebere síto s největšími otvory a ručně se na jednotlivých sítích ještě dokončí prosévání, přičemž musí být zabráněno ztrátám materiálu, použitím dna a víka. Všechny materiál, který propadne sítem, se přidá na další síto ve sloupci před pokračováním prosévání na tomto síte.

Aby se zabránilo přetížení sít, množství materiálu na každém síti (v gramech) po ukončení prosévání nesmí být větší než:

$$\frac{A \cdot \sqrt{D}}{200}$$

A je plocha síta ve čtverečních milimetrech

d je velikost otvoru síta v milimetrech

Jestliže některý ze vzorků na síti přesáhne tuto hodnotu, použije se jeden z následujících postupů:

- a) zůstatek se rozdělí na díly menší než je stanovené maximum a odděleně se prosévá
- b) část vzorku, který propadl nejbližší za vyšší sítí, se zmenší děličem vzorků nebo kvartací a v prosévání se pokračuje na zmenšeném vzorku, přičemž se toto zmenšení musí vzít v úvahu při výpočtu. [1]

3. Vážení:

Zváží se zůstatek na síti s největšími otvory a zaznamená se jeho hmotnost jako R_1 . Stejná operace se provede se zůstatkem na dalším síti a zaznamená se jeho hmotnost jako R_2 . Pokračuje se stejným způsobem s dalšími sítí ve sloupci k zjištění zůstatku na jednotlivých sítích a tyto se zaznamenají jako hmotnosti $R_3, R_4, \dots, R_n$. Pokud propadly sítí jemné částice na dno, zaznamená se jejich hmotnost jako P. [1]

Výpočet a vyjádření výsledků

Výpočty:

Všechny hmotnosti se zaznamenají ve zkušebním protokolu, jehož příklad je uveden v příloze C. Vypočtou se hmotnosti zůstatků na každém síti jako procento hmotnosti původní vysušené navážky M_1 . Vypočtou se součtová procenta hmotnosti původní navážky, která propadla každým sítí od shora dolů kromě síta 0,063 mm

Vypočte se procento jemných částic (f), které propadly sítí 0,063 mm podle následujícího vztahu,

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

kde M_1 je hmotnost vysušené zkušební navážky, v kilogramech

M_2 hmotnost vysušeného zůstatku na síť 0,063, v kilogramech

P hmotnost propadu jemných částic na dně, v kilogramech [1]

Naměřené hodnoty a vyhodnocení:

1. Stanovení obsahu jemných částic

Tabulka 1: Stanovení obsahu jemných částic fileru vzorek č. 1

Filer vzorek č. 1	
Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1):	0,2748 kg
Hmotnost vysušeného zůstatku na síť 0,063mm (M_2):	0,0767 kg
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	0,0024kg
Obsah jemných částic:	73,0 %
$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$	

2. Stanovení zrnitosti:

Tabulka 2: Stanovení zrnitosti fileru vzorek č.1

Filer vzorek č. 1				
Velikost ok sít [mm]	Zbytky [g]	Zbytky [%]hm.	Celkové zbytky [%]hm.	Propad [%]hm.
2	0,0	0	0	100
1	0,0	0	0	100
0,5	0,0	0	0	100
0,25	1,2	0	0	100
0,125	25,4	9	10	90
0,063	46,8	17,1	26,8	73,2
Dno	Sítový rozbor P	2,4	73,2	0,0
Dno	Jemné částice ($M_1 - M_2$)	198,1		
Celkem		273,9		

1. Stanovení obsahu jemných částic

Tabulka 3: Stanovení obsahu jemných částic fileru vzorek č. 2

Filer vzorek č. 2	
Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1):	0,2486 kg
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2):	0,0708 kg
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	0,0029kg
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$	72,7 %

2. Stanovení zrnitosti:

Tabulka 4: Stanovení zrnitosti fileru vzorek č.2

Filer vzorek č. 2					
Velikost ok sít [mm]		Zbytky [g]	Zbytky [%]hm.	Celkové zbytky [%]hm.	Propad [%]hm.
16		0,0	0	0	100
11,2		0,0	0	0	100
8		0,0	0	0	100
5,6		0,0	0	0	100
4		0,0	0	0	100
2		0,0	0	0	100
1		0,0	0	0	100
0,5		0,0	0	0	100
0,25		1,1	0	0	100
0,125		23,2	9	10	90
0,063		43,3	17,4	27,2	72,8
Dno	Sítový rozbor P	2,9	72,8	100,0	0,0
Dno	Jemné částice ($M_1 - M_2$)	177,8			
Celkem		248,3			

1. Stanovení obsahu jemných částic

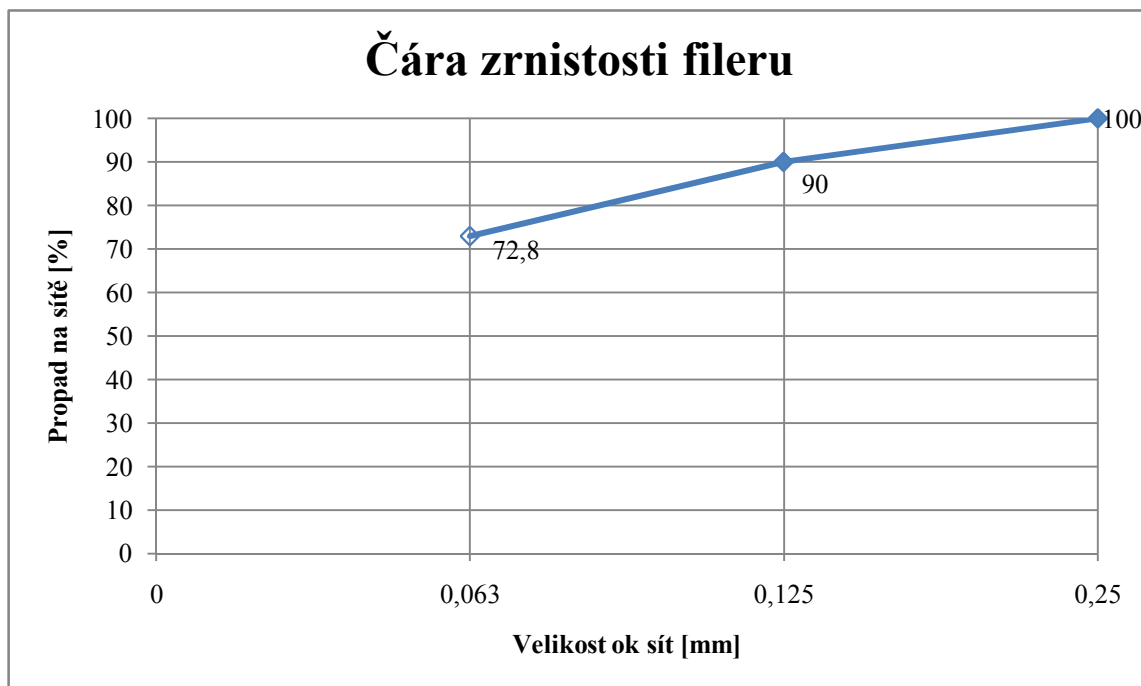
Tabulka 5: Stanovení obsahu jemných částic fileru průměr z vzorků č.1 a č. 2

Filer průměr z vzorků č. 1 a č. 2	
Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1):	0,2617 kg
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2):	0,0738 kg
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	0,00265kg
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$	72,8 %

2. Stanovení zrnitosti:

Tabulka 6: Stanovení zrnitosti fileru průměr z vzorků č.1 a č.2

Filer průměr z vzorků č. 1 a č. 2					
Velikost ok sít [mm]		Zbytky [g]	Zbytky [%]hm.	Celkové zbytky [%]hm.	Propad [%]hm.
16		0,0	0	0	100
11,2		0,0	0	0	100
8		0,0	0	0	100
4		0,0	0	0	100
2		0,0	0	0	100
1		0,0	0	0	100
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	72,8
Dno	Sítový rozbor P	2,7	72,8	100,0	0,0
Dno	Jemné částice ($M_1 - M_2$)	188,0			
Celkem		261,1			



Graf 1: Čára zrnitosti fileru

1. Stanovení obsahu jemných částic

Tabulka 7: Stanovení obsahu jemných částic frakce 0/4 vzorek č.1

Frakce 0/4 vzorek č. 1	
Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1):	0,2989 kg
Hmotnost vysušeného zůstatku na síť 0,063mm (M_2):	0,2879 kg
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	0,0000 kg
Obsah jemných částic:	3,7 %
$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$	

2. Stanovení zrnitosti:

Tabulka 8: Stanovení zrnitosti frakce 0/4 vzorek č.1

Frakce 0/4 vzorek č. 1					
Velikost ok sít [mm]		Zbytky [g]	Zbytky [%]hm.	Celkové zbytky [%]hm.	Propad [%]hm.
16		0,0	0	0	100
11,2		0,0	0	0	100
8		0,0	0	0	100
4		17,7	6	6	94
2		88,7	30	36	64
1		61,5	21	56	44
0,5		43,4	15	71	29
0,25		35,8	12	83	17
0,125		29,8	10	93	7
0,063		10,7	3,6	96,3	3,7
Dno	Sítový rozbor P	0,0	3,7	100,0	0,0
Dno	Jemné částice (M ₁ -M ₂)	11,0			
Celkem		298,6			

1. Stanovení obsahu jemných částic

Tabulka 9: Stanovení obsahu jemných částic frakce 0/4 vzorek č.3

Frakce 0/4 vzorek č. 3	
Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M ₁):	0,2516 kg
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M ₂):	0,2439 kg
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	0,0000 kg
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$	3,1 %

2. Stanovení zrnitosti:

Tabulka 10: Stanovení zrnitosti frakce 0/4 vzorek č.3

Frakce 0/4 vzorek č. 3				
Velikost ok sít [mm]	Zbytky [g]	Zbytky [%]hm.	Celkové zbytky [%]hm.	Propad [%]hm.
16	0,0	0	0	100
11,2	0,0	0	0	100
8	0,0	0	0	100
4	14,8	6	6	94
2	74,7	30	36	64
1	52,9	21	57	43
0,5	34,4	14	70	30
0,25	30,8	12	83	17
0,125	26,8	11	93	7
0,063	9,4	3,7	96,9	3,1
Dno	Sítový rozbor P	0,0	3,1	0,0
Dno	Jemné částice (M ₁ -M ₂)	7,7		
Celkem		251,5		

1. Stanovení obsahu jemných částic

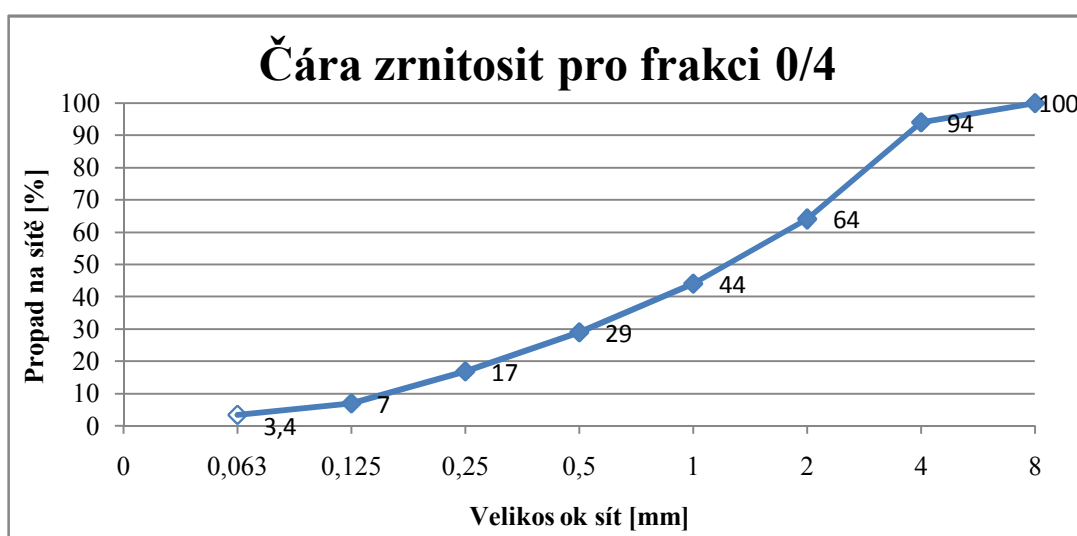
Tabulka 11: Stanovení obsahu jemných částic frakce 0/4 průměr z vzorků č. 1 a č. 3

Frakce 0/4 průměr z vzorků č. 1 a č. 3	
Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M ₁):	0,2753 kg
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M ₂):	0,2659kg
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	0,0000 kg
Obsah jemných částic:	3,4 %
$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$	

2. Stanovení zrnitosti:

Tabulka 12: Stanovení zrnitosti frakce 0/4 průměr z vzorků č. 1 a č. 3

Frakce 0/4 průměr z vzorků č. 1 a č. 3				
Velikost ok sít [mm]	Zbytky [g]	Zbytky [%]hm.	Celkové zbytky [%]hm.	Propad [%]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
Dno	Jemné částice (M ₁ -M ₂)	9,4		
Celkem		275,1		



Graf 2: Čára zrnitosti pro frakci 0/4

1. Stanovení obsahu jemných částic

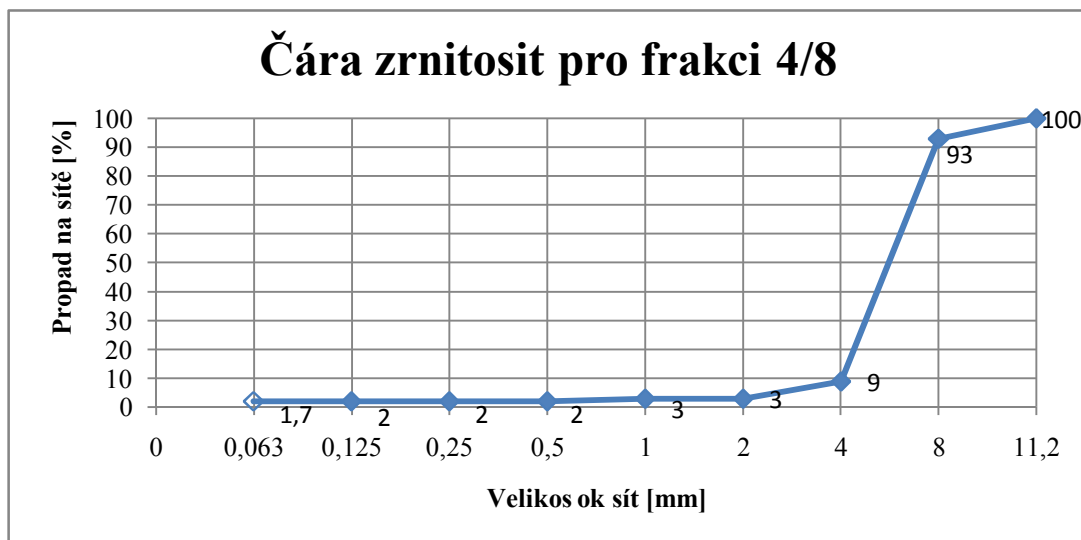
Tabulka 13: Stanovení obsahu jemných částic frakce 4/8 průměr ze dvou vzorků

Frakce 4/8 průměr ze dvou vzorků	
Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1):	0,7266 kg
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2):	0,7149 kg
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	0,0003 kg
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$	1,7%

2. Stanovení zrnitosti:

Tabulka 14: Stanovení zrnitosti frakce 4/8 průměr ze dvou vzorků

Frakce 4/8 průměr ze dvou vzorků					
Velikost ok sít [mm]		Zbytky [g]	Zbytky [%]hm.	Celkové zbytky [%]hm.	Propad [%]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	1,7
Dno	Sítový rozbor P	0,3	1,7	100,0	0,0
Dno	Jemné částice ($M_1 - M_2$)	11,7			
Celkem		725,8			



Graf 3: Čára zrnitosti pro frakci 4/8

1. Stanovení obsahu jemných částic

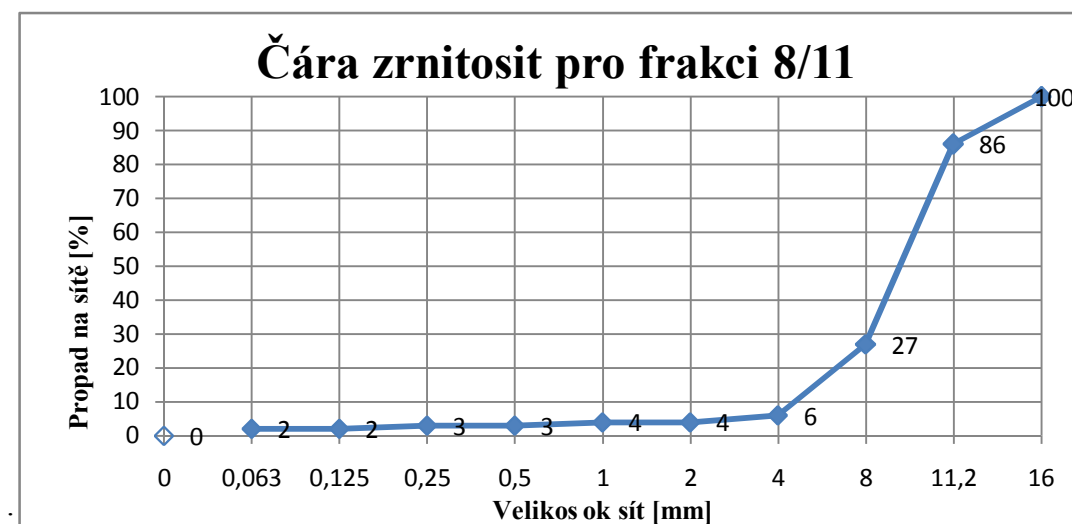
Tabulka 15: Stanovení obsahu jemných částic frakce 8/11 průměr ze dvou vzorků

Frakce 8/11 průměr ze dvou vzorků	
Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1):	1,5523 kg
Hmotnost vysušeného zůstatku na síť 0,063mm (M_2):	1,5244 kg
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	0,00095 kg
Obsah jemných částic:	1,9 %
$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$	

2. Stanovení zrnitosti:

Tabulka 16: Stanovení zrnitosti frakce 8/11 průměr ze dvou vzorků

Frakce 8/11 průměr ze dvou vzorků				
Velikost ok sít [mm]	Zbytky [g]	Zbytky [%]hm.	Celkové zbytky [%]hm.	Propad [%]hm.
16	0,0	0	0	100
11,2	219,4	14,1	14,1	86
8	912,4	58,8	72,9	27
4	326,7	21,0	94	6
2	26,7	1,7	95,7	4
1	10,1	0,7	96,3	4
0,5	5,5	0,4	96,7	3
0,25	6,2	0,4	97,1	3
0,125	8,2	0,5	97,6	2
0,063	8,2	0,5	98,1	1,9
Dno	Sítový rozbor P	1,0	1,9	100,0
Dno	Jemné částice (M ₁ -M ₂)	27,9		
Celkem		1552,1		



Graf 4: Čára zrnitosti pro frakci 8/11

1.1.3 ČSN EN 1097-6 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti

Podstata zkoušky:

Objemová hmotnost zrn se vypočte z poměru hmotnosti k objemu. Hmotnost se stanoví zvážení vodou nasycené a povrchově osušené zkušební navážky a opět zvážení po vysušení v sušárně. Objem se stanoví z hmotnosti vytlačené vody, buď snížením hmotnosti metodou s drátěným košem, nebo vážením při pyknometrické metodě.

Jestliže kamenivo sestává z více různých frakcí, je nutno před přípravou zkušební navážky rozdělit vzorek na frakce 0,063 mm až 4 mm, 4 mm až 31,5 mm a 31,5 mm až 63 mm. V protokolu o zkoušce je nutno uvést procentní podíl každé frakce.[2]

Postup:

1. Příprava zkušební navážky:

Odběr vzorku musí být v souladu s EN 932-1 a zmenšování musí být v souladu s EN 932-2. Hmotnost zkušební navážky kameniva nesmí být menší než hmotnost uvedená v tabulce 17: Hmotnost zkušebních navážek kameniva.[2]

Tabulka 17: Hmotnost zkušebních navážek kameniva[2]

Největší frakce kameniva [mm]	Nejmenší hmotnost zkušební navážky [kg]
31,5	5
16	2
8	1
Poznámka: Pro jiné velikosti může být nejmenší hmotnost zkušební navážky interpolována.	

2. Zkušební postup:

Zkušební navážka se vloží do vody o teplotě $(22\pm 3)^{\circ}\text{C}$ v pyknometru a vzduchové bubliny se odstraní jemným převalováním a protřepáváním pyknometru v nakloněné poloze. Pyknometr se ponechá ve vodní lázni o teplotě $(22\pm 3)^{\circ}\text{C}$ po dobu $(24\pm 0,5)$ hodin. Po skončení nasákávání se pyknometr vyjme z vodní lázně a zbytek vzduchových bublin se vypudí jemným převalováním a třepáním.

Pyknometr se přeplní vodou a přikryje se víkem tak, aby se neuzavřel vzduch v nádobě. Pyknometr se pak na vnějším povrchu osuší a zváží (M_2). Zaznamená se teplota vody.

Kamenivo se vyjme z vody a nechá se několik minut okapat. Pyknometr se opět naplní vodou a přikryje se víkem tak jako dříve. Pyknometr se pak na vnějším povrchu osuší a zváží (M_3). Zaznamená se teplota vody.

Rozdíl teploty vody v pyknometru během vážení M_2 a M_3 nesmí překročit teplotu 2°C .

Po okapání se zkušební navážka přemístí na jednu ze suchých utěrek. Kamenivo se lehce povrchově osuší, a pokud první utěrka již neodnímá vlhkost, přemístí se kamenivo na druhou utěrku. Kamenivo se na druhé utěrce rozprostře v jedné vrstvě a nechá se v okolním vzduchu bez slunečního světla nebo jiného zdroje tepla tak dlouho, pokud nezmizí vodní film, avšak kamenivo má ještě mokrý vzhled.

Nasáklé a povrchově osušené kamenivo se přemístí na plochý tác a zváží se (M_1). Pak se kamenivo vysuší v sušárně s nucenou cirkulací vzduchu při teplotě $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ do ustálené hmotnosti (M_4). Zaznamenají se všechny zjištěné hmotnosti s přesností na 0,1 % hmotnosti zkušební navážky (M_4) nebo přesněji.[2]

3. Výpočet a vyjádření výsledků:

Objemové hmotnosti zrn (ρ_s , ρ_{rd} a ρ_{ssd}), v megagramech na metr krychlový, se vypočítá z následujících vztahů:

$$\text{Objemová hmotnost zrn: } \rho_a = \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)}$$

$$\text{Objemová hmotnost zrn po vysušení v sušárně: } \rho_{rd} = \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

Objemová hmotnost zrn nasycených vodou a povrchově osušených:

$$\rho_{ssd} = \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

Vypočítá se nasákavost vodou (jako procento suché hmotnosti) po 24 hodinách ponoření (WA_{24}) podle následujícího vztahu:

$$WA_{24} = \frac{100 \times (M_1 - M_4)}{M_4}$$

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

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

M_3 hmotnost pyknometru naplněného pouze vodou, v gramech.

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

Hodnoty objemové hmotnosti zrn se vyjádří s přesností na nejbližší $0,01 \text{ Mg/m}^3$ a pro nasákavost na nejbližší $0,1\%$. [2]

Naměřené hodnoty:

Tabulka 18: Hmotnosti kameniva

Pyknometr	Frakce	Hmotnost pyknometru [g]	M_1 [g]	M_2 [g]	M_3 (voda 20°C) [g]	M_4 [g]
I	4-8	667,5	1261,5	2744,5	1970,6	1230,6
II	4-8	694,7	1227,4	2758,6	2007,2	1194,5
III	8-11	685,1	1306,8	2791,5	1984,2	1283,1
V	8-11	693,0	1422,1	2890,0	2013,8	1392,0

Vypočtené hodnoty a vyhodnocení:

Tabulka 19: Nasákavost a objemová hmotnost kameniva

Pyknometr	Frakce	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

1.1.4 ČSN EN 933-9 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 9:

Posouzení jemných částic – Zkouška methylenovou modří

Podstata zkoušky:

Do suspenze zkušební navážky s vodou se přidává 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 nebo MB_F) a vyjádří se v gramech barviva adsorbovaných jedním kilogramem zkoušené frakce.[3]

Postup:

1. Popis zkoušky zbarvení:

Po každém vstříku barviva, zkouška zbarvení sestává z odebrání kapky a použitím skleněné tyčky a odkápnutí na filtrační papír. Zbarvení, které nastává uprostřed ukládání materiálu, vytváří všeobecně jasně modrou barvu, která je obestřena bezbarvou modrou oblastí. Počet použitých kapek musí být takový, aby průměr ukládky materiálu byl mezi 8 mm a 12 mm

Zkouška se považuje za pozitivní, jestliže ve vlhké oblasti se vytvoří trvalý kroužek světlé modré barvy šířky asi 1 mm okolo středu ukládky materiálu. [3]

2. Příprava roztoku:

Do kádinky se nalije (500±5) ml destilované nebo demineralizované vody a přidá se vysušená zkušební navážka a důkladně se promíchá stěrkou.

Promíchá se roztok barviva nebo alternativně se vše důkladně promíchá. Naplní se byreta roztokem barviva a zásoba roztoku barviva se vrátí do temné místnosti.

Připraví se mísicí zařízení s rychlostí 600 otáček za minutu a ponoří se asi 10 mm nad dno kádinky. Zapne se mísidlo a současně se zapnou stopky, obsah kádinky se promíchá po dobu 5 minut při rychlosti (600±60) otáček za minutu a následně se nepřetržitě promíchá při rychlosti (400±40) otáček za minutu do ukončení zkoušky.

Pokud je ve zkušební navážce přítomno nedostatečné množství jemných součástí k získání barevného kruhu, musí se přidat současně s barvivem kaolinit. [3]

3. Stanovení množství absorbovaného barviva:

Filtrační papír se umístí nahoru na prázdnou kádinku, nebo na jinou vhodnou podpěru tak, aby většina jeho povrchu se nedotýkala jakéhokoliv pevného materiálu ani kapaliny.

Po promíchání po dobu 5 minut při (600 ± 60) otáček za minutu se vstříkne dávka 5 ml roztoku barviva do kádinky, po uplynutí nejméně 1 minuty provede se zkouška zbarvení na filtračním papíru. Jestliže ani při dalším přidání 5ml roztoku barviva se neobjeví barevný kroužek, přidá se dalších 5 ml roztoku barviva, pokračuje se v promíchávání po dobu 1 minuty a provede se další zkouška zbarvení. Jestliže se opět neobjeví barevný kroužek, pokračuje se v promíchávání a přidávání roztoku barviva a zkoušky zbarvením tak dlouho, až se objeví barevný kroužek. Po objevení barevného kroužku, pokračuje se v promíchávání a bez dalšího přidávání roztoku barviva, se provádí zkouška zbarvení v jednominutových intervalech.

Pokud barevný kroužek zmizí během prvních 4 minut, přidá se dalších 5 ml roztoku barviva. Pokud barevný kroužek zmizí v průběhu páté minuty, přidá se pouze 2 ml roztoku barviva. V každém případě je nutno pokračovat v promíchávání při provádění zkoušek zbarvení tak dlouho, až kroužek nezmizí během 5 minut.

Zaznamená se celkový objem roztoku barviva V_1 , které bylo nutno dodat, aby kroužek vydržel po dobu 5 minut, s přesností na 1 ml. [3]

Výpočet a vyjádření výsledků:

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 celkový objem vstříknutého roztoku barviva, v milimetrech.

Zaznamená se hodnota MB, zaokrouhlena na 0,1 g barviva na jeden kilogram 0/2 mm frakce. [3]

Naměřené hodnoty a vyhodnocení:

Tabulka 20: Výsledky zkoušky – posouzení jemných částic methylenovou modří

V₁ [ml]	M₁ [g]	MB [g]
15	228,3	0,7

1.1.5 ČSN EN 993-4 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 4:

Stanovení tvaru zrn – Tvarový index

Podstata zkoušky:

Jednotlivá zrna ve vzorku hrubého kameniva jsou roztřídována na základě poměru jejich délky L k tloušťce E obvykle pomocí dvoučelistového posuvného měřítka. Tvarový index se vypočte jako hmotnostní podíl zrn, jejichž poměr rozměrů L/E je větší než 3 a vyjádří jako procento celkové hmotnosti zkoušených zrn. [4]

Příprava zkušební navážky:

Vzorek se zmenší v souladu s požadavky uvedenými v EN 933-2. Vzorek se vysuší při teplotě (110 ± 5) °C do ustálené hmotnosti. Proseje se na příslušných sítích při dostatečném třepání, aby bylo dosaženo úplné oddělení zrn větších než 4 mm. Vyřadí se zrna, která zůstanou na zkušebním sítu 63 mm a ty, které propadnou zkušebním sítem 4 mm.

Hmotnost zkušební navážky musí být v souladu s požadavky.[4]

Tabulka 21: Hmotnosti zkušebních navážek [4]

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

Postup:

1. Všeobecně

Zkouška musí být provedena na každém zrnění kameniva d_i / D_i , kde $D_i \leq 2d_i$. Zkušební navážky ze vzorků kde $D > 2d$ musí být odděleny na jednotlivá zrnění d_i / D_i , kde $D_i \leq 2d_i$ dalšími následnými zkušebními postupy. [4]

2. Zkušební navážky, kde $D \leq 2d$

Ze zkušební navážky se oddělí zrna se zrněním d_i / D_i , kde $D_i \leq 2d_i$, proséváním podle EN 933-1. Odstraní se všechna zrna menší než d_i a větší než D_i . Zaznamená se hmotnost převládajícího zrnění d_i / D_i jako M_1 . Posoudí se délka L a tloušťka E každého zrna obvykle pomocí dvoučelistového posuvného měřítka a oddělí se zrna, která mají rozměrový součinitel $L/E > 3$. Tato zrna jsou klasifikována jako zrna nekubického tvaru. Zváží se zrna nekubického tvaru a zaznamená se jejich hmotnost jako M_2 . [4]

Výpočet a vyjádření výsledků:

- Zkušební navážky kde $D \leq 2d$

Tvarový index (SI) se vypočte podle následujícího vztahu:

$$SI = (M_2 / M_1) \times 100$$

Kde M_1 je hmotnost zkušební navážky, v gramech

M_2 hmotnost nekubických zrn v gramech

Zaznamená se tvarový index, zaokrouhlený na celé číslo. [4]

Naměřené hodnoty a vyhodnocení:

Tabulka 22: Výsledky zkoušky- tvarového indexu

Frakce	M_1 [g]	M_2 [g]	SI [%]
4-8	100	30,5	31
8-11	1000	195	20

1.1.6 ČSN EN 1097-2 Zkoušení mechanických vlastností kameniva – Část 2:
Metody pro stanovení odolnosti proti drcení

Podstata zkoušky:

Vzorek kameniva se omílá ocelovými koulemi při otáčení bubnu. Po předepsaném počtu otáčení bubnu se zjistí množství materiálu, které zůstane na síti 1,6 mm. [5]

Postup:

Před naplněním bubnu je nutno zkontrolovat čistotu bubnu. Nejdříve se do bubnu opatrně vloží ocelové koule a dále zkušební navážka. Uzavře se otvor a buben se otočí 500 krát při stejné rychlosti 32 otáček za minutu.

Po ukončení otáčení bubnu se vyjme kamenivo a koule do misky, která se umístí pod buben, aby nedošlo ke ztrátě materiálu. Při tom se vyčistí buben včetně jemných součástí, přičemž je nutno věnovat zvlášť pozornost okolo přepážky uvnitř bubnu. Pak se opatrně vyjmou koule z misky tak, aby nedošlo ke ztrátě žádných jemných částí.

Následuje síťový rozbor materiálu. Praním a proséváním s použitím síta 1,6 mm (z důvodu absence síta 1,6 mm bylo použito síto 2,0 mm) poté se zůstatek na síti 2,0 mm vysuší při teplotě $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ do ustálené hmotnosti. [5]

Výpočet a vyjádření výsledků:

Součinitel Los Angeles LA se vypočte podle vztahu:

$$LA = \frac{5000 - m}{50}$$

Kde m je hmotnost zůstatku na síti 2,0 mm v gramech [5]

Naměřené hodnoty a vyhodnocení:

Tabulka 23: Výsledky zkoušky - odolnosti proti drcení LA

Frakce [mm]	Hmotnost kameniva [g]	Zůstatek na síti 2,0 mm [g]	LA [%]
8-11	5000	902,5	18,05

1.2 POJIVO

Do asfaltových směsí se používá převážně ropný asfalt, který se získá destilací surové ropy. Požadavkem pro navrhované směsi byl silniční asfalt 50/70.

1.2.1 Zkoušky asfaltových pojiv

Dále jsou uvedeny normy, které se používají pro asfaltová pojiva při návrhu asfaltové směsi. Normy, které se používaly v praktické části, jsou podrobněji rozepsány v dalších kapitolách.

- ČSN EN 1426 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou
- ČSN EN 1427 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička
- ČSN EN 12593 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu lámavosti podle Fraasse
- ČSN EN 13398 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení vratné duktility modifikovaných asfaltů

1.2.2 ČSN EN 1426 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou

Podstata metody:

Změří se průnik normalizované jehly do vytemperovaného analytického vzorku. Zkušební podmínky zkoušky pro penetraci do 330 x 0,1 mm jsou teplota 25°C, aplikované zatížení 100 g a doba zatížení 5 s.

Výsledek této zkoušky je hodnota penetrace v 0,1 mm. [6]

Postup:

1. Příprava držáku jehly a penetračních jehel

Držák jehly a jeho vodící zařízení se prohlédne a zkontroluje. Zjistí se, zda se držák jehly pohybuje volně ve vodícím zařízení. Penetrační jehla se očistí toluenem nebo jiným vhodným rozpouštědlem, osuší čistým hadříkem a vloží do držáku. Pokud není specifikováno jinak, přidá se 50 g závaží a zjistí se, zda je celkové aplikované zatížení 100,00 g ± 0,10 g. [6]

2. Zkoušky v lázni s říznou konstantní teplotou

Pokud se zkoušky provádí přímo v lázni, umístí se nádoba s analytickým vzorkem přímo na ponořenou poličku penetrometru. Nádoba s analytickým vzorkem se udržuje zcela pokryta vodou. [6]

3. Stanovení penetrace

Jedna z nádob s analytickým vzorkem se umístí do své pozice a pomalu se snižuje jehla, až se její hrot právě dotkne svého obrazu odraženého povrchem vzorku. Zkontroluje se a zaznamená nulová pozice jehly, pak se rychle uvolní držák jehly na specifikovanou dobu. Přístroj se nastaví tak, jak je třeba pro stanovení penetrace v desetinách milimetru.

Provedou se nejméně tři platná stanovení pomocí tří různých jehel na místech povrchu vzorku, které jsou vzdálené nejméně 10 mm od strany nádoby a nejméně 10 mm od sebe. [6]

Výpočet a vyjádření výsledků:

Hodnoty penetrace se vyjadřují jako aritmetický průměr hodnot v desetinách milimetru zaokrouhlený na nejbližší celé číslo. [6]

Naměřené hodnoty a vyhodnocení:

Tabulka 24: Výsledky zkoušky – stanovení penetrace jehlou

Silniční asfalt 50/70			
Číslo vpichu	hloubka vpichu [mm]	průměr [mm]	penetrace x0,1 [mm]
1	6,7	6,73	67,0
2	6,8		
3	6,7		

1.2.3 ČSN EN 1427 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička

Podstata metody:

Dva kotoučky z asfaltového pojiva, odlité v mosazných kroužcích s osazením, se zahřívají řízenou rychlostí v kapalinové lázni, přičemž na každém z nich je umístěna ocelová kulička. Bod měknutí se zaznamená jako průměr teplot, při kterých tyto dva kotoučky změknou natolik, aby umožnily každé z kuliček, obalených v asfaltovém pojivu, propadnout o vzdálenost $25,0 \text{ mm} \pm 0,4 \text{ mm}$. [7]

Postup:

Zvolí se kapalina lázně a teploměr příslušný pro předpokládaný bod měknutí následujícím způsobem.

Body měknutí mezi 28°C a 80°C použije se čerstvě převařená destilovaná neionizovaná voda, teploměr s dělením po $0,2^\circ\text{C}$. Počáteční teplota lázně musí být $5^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$. U referenčních zkoušek se všechny body měknutí do 80°C včetně stanovují ve vodní lázni.

Kapalina v lázni se míchá a zespodu zahřívá tak, aby teplota stoupala rovnoměrnou rychlostí $5^\circ\text{C}/\text{min}$.

U každého kroužku a kuličky se zaznamená teplota udávaná teploměrem v okamžiku, kdy se asfalt obklopující kuličku dotkne při 25 mm propadu u použití poloautomatického nebo automatického přístroje paprsku světla.

Zkouška se opakuje, pokud je rozdíl mezi dvěma teplotami větší než 1°C pro bod měknutí pod 80°C nebo větší než 2°C pro bod měknutí nad 80°C . [7]

Výpočet a vyjádření výsledků:

Pro bod měknutí nižší nebo rovný 80°C se bod měknutí vyjádří jako průměr teplot zaznamenaných a zaokrouhlených na nejbližší $0,2^\circ\text{C}$. [7]

Naměřené hodnoty a vyhodnocení:

Tabulka 25: Výsledky zkoušky – stanovení bodu měknutí – metoda kroužek a kulička

Poloha kuličky	Naměřená teplota [°C]	Průměrná teplota [°C]
levá	48,2	48,0
pravá	47,6	

2 ASFALTOVÉ SMĚSI

Asfaltové směsi se skládají z kameniva a asfaltového pojiva. Asfaltové směsi se vyrábějí na obalovnách, které se dále pokládají na komunikace s různým dopravním zatížením. Na kvalitu pokládaných směsí má vliv dodržení pracovního postupu při výrobě, dopravě a pokládce asfaltových směsí.

2.1 Návrh asfaltových směsí

Návrh složení asfaltové směsi vychází z požadavků norem, předepisují druh a kvalitu staveních materiálů, požadavky na složení asfaltové směsi a její fyzikální a fyzikálně mechanické vlastnosti.

Při návrhu asfaltové směsi se provede návrh čáry zrnitosti a stanovení optimálního množství pojiva.[10]

2.1.1 Obory zrnitosti kameniva

Pro asfaltovou směs ACO 11+ byly vzaty obory zrnitosti z normy ČSN EN 13108 -1 Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 1: Asfaltový beton.

Tabulka 26: obory zrnitosti kameniva ACO 11 + [8]

ACO 11 +							
	Velikost ok síta [mm]						
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

Pro asfaltovou směs ACO 11 DS byly vzaty obory zrnitosti z německého předpisu TL Asphalt – StB 07.

Tabulka 27: obory zrnitosti kameniva AC 11 DS [9]

AC 11 DS							
	Velikost ok síta [mm]						
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

2.1.2 Navržení čar zrnitosti ACO 11 + a AC 11 DS

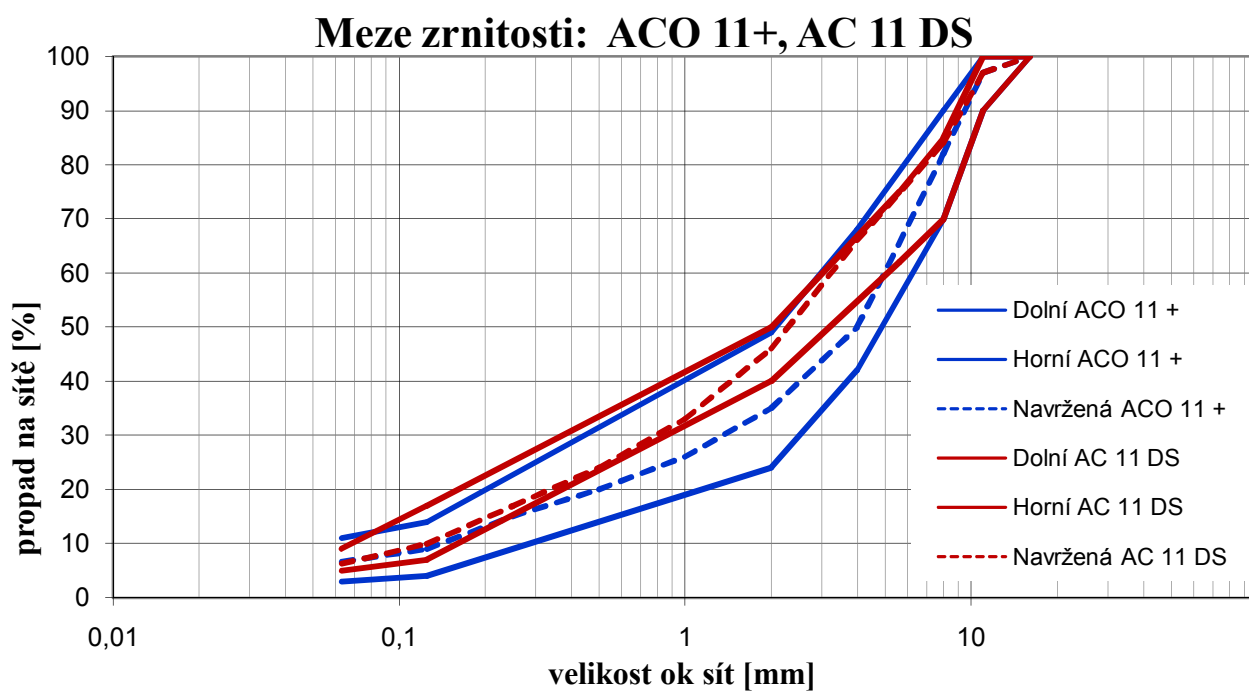
Při návrhu čar zrnitosti kameniva pro asfaltovou směs je cílem dosáhnout toho, aby výsledná čára zrnitosti ležela mezi horní a dolní mezí oboru kameniva pro jednotlivé směsi.[10]

Tabulka 28: Navržená čára zrnitosti a návrh dávkování pro ACO 11 +

ACO 11 +											
	Velikost ok síta [mm]										Návrh dávkování [%]
Frakce	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
řílér	100	100	100	100	100	100	100	100	90	73	6
	100	97	82	50	35	26	20	15	9	6,7	100

Tabulka 29: Navržená čára zrnitosti a návrh dávkování pro AC 11 DS

AC 11 DS											
	Velikost ok síta [mm]										Návrh dávkování [%]
Frakce	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
	100	97	84	66	46	33	24	17	10	6,3	100



Graf 5: Meze zrnitosti a navržené čáry zrnitosti pro směsi ACO 11 + , AC 11 DS [8],[9]

2.1.3 Návrh množství pojiva

Stanovení teoretického množství pojiva

Výpočet podle součinitele sytosti

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

Kde:

ε měrný povrch v m^2/kg ;

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

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

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

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

f podíl kameniva v % hmotnosti, které propadne sítem 0,063. [10]

Teoretické množství pojiva

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

Kde:

p množství asfaltu v kg na 100 kg kameniva

n je 3,4

ρ_a objemová hmotnost zrn kameniva v MG/m^3 [10]

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

Výpočet pro směs ACO 11 +:

$$G = 100 - 82 = 18\%$$

$$g = 82 - 50 = 32\%$$

$$S = 50 - 15 = 35\%$$

$$s = 15 - 6,7 = 8,3\%$$

$$f = 6,7\%$$

Výpočet sytosti:

$$\varepsilon = 0,01 \cdot (0,174 \cdot 18 + 0,40 \cdot 32 + 2,30 \cdot 35 + 15,33 \cdot 8,3 + 140 \cdot 6,7)$$

$$\varepsilon = 11,6167 \text{ m}^2/\text{kg}$$

Teoretické množství pojiva:

$$p = 3,4 \cdot \sqrt[5]{11,6167} \cdot \frac{2,650}{2,660}$$

$$p = 5,53 \text{ kg}/100 \text{ kg kameniva}$$

Výpočet pro směs AC 11 DS:

$$G = 100 - 84 = 16\%$$

$$g = 84 - 66 = 18\%$$

$$S = 66 - 17 = 49\%$$

$$s = 17 - 6,3 = 10,7\%$$

$$f = 6,3\%$$

Výpočet sytosti:

$$\varepsilon = 0,01 \cdot (0,174 \cdot 16 + 0,40 \cdot 18 + 2,30 \cdot 49 + 15,33 \cdot 10,7 + 140 \cdot 6,3)$$

$$\varepsilon = 11,6872 \text{ m}^2/\text{kg}$$

Teoretické množství pojiva:

$$p = 3,4 \cdot \sqrt[5]{11,6872} \cdot \frac{2,650}{2,660}$$

$$p = 5,54 \text{ kg}/100 \text{ kg kameniva}$$

Dle použitého kameniva, které bylo z lokality Luleč, bylo zvoleno procentuální množství asfaltového pojiva pro směsi. Pro směs ACO 11 + bylo zvoleno jako optimální množství na základě vyhodnocení zkoušek 6,0 % asfaltového pojiva. Tato směs byla navržena podle českých předpisů. Pro směs AC 11 DS bylo zvoleno na základě zkoušek optimální množství 6,4 % asfaltového pojiva dle německých předpisů.

2.2 Výroba Marshallových těles

Nejprve se vysuší kamenivo a filer při teplotě $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Dále se musí navážít požadované množství kameniva a fileru a vše se nahřeje. Asfaltové pojivo v uzavřené kovové nádobě se také nahřeje. Zkontrolují se teploty materiálů. Poté se nasype kamenivo a filer do předehřáté nádoby, dále se naváží přesné množství asfaltového pojiva a vše se promíchá. Nakonec proběhne vizuální kontrola obalené směsi. Následuje vysypání asfaltové směsi na podložku, kde se směs ručně promíchá a poté je směs dávkována do plechových nádob a vložena do sušárny. Směs se nahřeje na teplotu hutnění, pro směs ACO 11+ je teplota hutnění 150°C , pro AC 11 DS je 135°C .

V sušárně se nahřívají i části Marshallova pěchu na stejnou teplotu hutnění. Když je dosaženo teploty hutnění, směs se vloží do hutnicí formy a následně se hutní 2 x 50 úderů. Po vychladnutí se tělesa vytlačí z formy a označí.

2.3 Zkoušky asfaltových směsí

Zde jsou uvedeny normy, které se používají pro zkušební metody pro asfaltové směsi za horka. Normy, které se používaly v praktické části, jsou podrobněji rozepsány v následujících kapitolách.

- ČSN EN 12697-5+A1 Asfaltové směsi – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti
- ČSN EN 12697-6+A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa
- ČSN EN 12697-8 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí
- ČSN EN 12697-22 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 22: Zkouška poježdění kolem

2.3.1 ČSN EN 12697-5+A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti

Podstata zkoušky:

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.

U volumetrického a hydrostatického postupu se maximální objemová hmotnost asfaltových směsí stanoví z objemu vzorku bez mezer a jeho suché hmotnosti.

U volumetrického postupu se objem vzorku měří jako objem vody nebo rozpouštědla vytěsněného vzorkem v pyknometru.

Při hydrostatickém postupu se objem vzorku vypočítá za suché hmotnosti vzorku a z jeho hmotnosti ve vodě.

Při matematickém postupu se maximální objemová hmotnost asfaltové směsi vypočítá z jejího složení (obsah pojiva a obsah kameniva) a objemových hmotností složek. [11]

Postup zkoušky:

Veškeré hmotnosti musí být stanoveny v g s přesností 0,1 g. Objem pyknometru musí být stanoven v m³ s přesností $0,5 \times 10^{-6}$ m³. [11]

Volumetrický postup:

Stanoví se hmotnost (m_1) prázdného pyknometru s nástavcem o známém objemu (V_p).

Vysušený zkušební vzorek se umístí do pyknometru a temperuje se na okolní teplotu. Poté se znovu stanoví jeho hmotnost s nástavcem (m_2).

Pyknometr se naplní odvzdušněnou vodou nebo rozpouštědlem maximálně do výšky 30 mm pod okraj.

Zachycený vzduch se odstraní použitím vakua, které bude mít za následek zbytkový tlak 4 kPa nebo méně, po dobu (15 ± 1) minuta.

Nástavec pyknometru nebo zátka se nasadí po opatrném naplnění pyknometru odvzdušněnou vodou až téměř po referenční značku nástavce nebo zátky tak, aby nedošlo k vniknutí vzduchu.

Pokud se použije voda, pyknometr se umístí do vodní lázně s rovnoměrnou zkušební teplotou ($\pm 1,0$ °C) na dobu nejméně 30 minut, ne však déle než na 180 minut, aby se dosáhlo vyrovnání teploty vzorku a vody v pyknometru s teplotou vody ve vodní lázni.

Pyknometr se doplní vodou nebo rozpouštědlem po značku na nástavci. Voda nebo rozpouštědlo v nádobě pro doplnění pyknometru musí mít stejnou zkušební teplotu jako je zkušební teplota vodní lázně.

Pyknometr se vyjme z vodní lázně, z vnější strany osuší a ihned se stanoví jeho hmotnost (m_3). [11]

Výpočet a vyjádření výsledků:

Veškeré hmotnosti musí být stanoveny v g s přesností 0,1 g. Objem pyknometru musí být stanoven v m^3 s přesností $0,5 \times 10^{-6} m^3$. Veškerá procenta musí být vyjádřena s přesností 0,1 %. [11]

Volumetrický postup:

Maximální objemová hmotnost ρ_{mv} asfaltové směsi stanovená volumetrickým postupem se vypočítá s přesností $1 kg/m^3$ podle rovnice:

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

kde: ρ_{mv} je maximální objemová hmotnost asfaltové směsi v kg/m^3 stanovené volumetrickým postupem s přesností $0,1 kg/m^3$

m_1 hmotnost pyknometru, nástavce a pružiny, v g.

m_2 hmotnost pyknometru, nástavce, pružiny a zkušební vzorku, v g.

m_3 hmotnost pyknometru, nástavce, pružiny, zkušební vzorku a vody nebo rozpouštědla, v g.

V_p objem pyknometru při naplnění po referenční značce nástavce, v m^3 .

ρ_w hustota vody nebo rozpouštědla při zkušební teplotě v kg/m^3 s přesností $0,1 kg/m^3$ [11]

Naměřené hodnoty a vyhodnocení:

Tabulka 30: Hmotnosti vstupních hodnot

voda					
m_1 [g]	m_2 [g]	m_3 [g]	V_p [mm ³]	ρ_w [kg/m ³]	ρ_{mv} [kg/m ³]
667,5	1804,6	2636,6	1305,45	997,1	2413,4

Tabulka 31: Výsledek zkoušky – objemové hmotnosti nezhuťných asfaltových směsí ACO 11 +

Směs ACO 11 + (dle českých předpisů)					
Pyknometr	Obsah asfaltu [%]	Hmotnost prázdného pyknometru [g]	Hmotnost plného pyknometru [g]	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Průměrná objemová hmotnost [kg/m ³]
I	5,8	1804,6	2636,6	2413,4	2418,2
II		1894,4	2711,8	2423,0	
III	6,0	1777,5	2626,2	2426,5	2426,3
V		1857,7	2698,2	2426,0	

Tabulka 32: Výsledek zkoušky – objemové hmotnosti nezhuťných asfaltových směsí AC 11 DS

Směs AC 11 DS (dle německých předpisů)					
Pyknometr	Obsah asfaltu [%]	Hmotnost prázdného pyknometru [g]	Hmotnost plného pyknometru [g]	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Průměrná objemová hmotnost [kg/m ³]
I	6,1	1641,6	2542,8	2424,6	2423,3
II		1812,5	2663,4	2421,9	
III	6,4	1580,4	2506,7	2404,3	2410,0
V		1577,0	2531,3	2415,6	

2.3.2 ČSN EN 12697-6+A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušeb. tělesa.

Podstata zkoušky:

Objemová hmotnost zhutněného asfaltového zkušební tělesa se stanoví z hmotnosti zkušební tělesa a jeho objemu. Hmotnost zkušební tělesa se získá vážením suchého vzorku na vzduchu.

Při postupu SSD se zkušební těleso nejdříve nasytí vodou a poté se jeho povrch osuší vlhkou jelenicí. [12]

Postup zkoušky:

Veškeré hmotnosti musí být uváděny v gramech s přesností na 0,1 g. Veškerá měření musí být stanovena v milimetrech s přesností na 0,1 mm. [12]

Objemová hmotnost – nasycený suchý povrch (SSD)

- a) Stanoví se hmotnost suchého zkušební tělesa (m_1).
- b) Stanoví se hustota vody při zkušební teplotě s přesností na $0,1 \text{ kg/m}^3$ (ρ_w)
- c) 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. Obecně se za dobu požadovanou k nasycení považuje nejméně 30 minut.
- d) Stanoví se hmotnost ponořeného, nasyceného zkušební tělesa (m_2), přičemž se dbá, aby na povrchu tělesa neulpívaly žádné vzduchové bubliny nebo z něj nevycházely při vážení.
- e) Těleso se vyjme z vody, povrchově osuší (z povrchu se odstraní kapky vody) otřením vlhkou jelenicí.
- f) Hmotnost tělesa nasyceného vodou (m_3) se stanoví okamžitě po povrchovém osušení na vzduchu. [12]

Výpočet a vyjádření výsledků:

Objemová hmotnost – nasycený suchý povrch (SSD)

Objemová hmotnost SSD zkušebního tělesa (ρ_{bssd}) se vypočítá s přesností na 1 kg/m^3 následovně: [12]

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

kde ρ_{bssd} je objemová hmotnost SSD, v kg/m^3 ;

m_1 hmotnost suchého tělesa, v g;

m_2 hmotnost tělesa ve vodě, v g;

m_3 hmotnost tělesa nasyceného vodou povrchově osušeného, v g;

ρ_w hustota vody při zkušební teplotě stanovené s přesností na $0,1\text{ kg/m}^3$.

[12]

Naměřené hodnoty a vyhodnocení:

Tabulka 33: Výsledek zkoušky – objemové hmotnosti zkušebních těles ACO 11 +

Směs ACO 11 + (obsah asfaltového pojiva 6,0%)						
Číslo vzorku	m_1 [g]	m_2 [g]	m_3 [g]	ρ_w [kg/m ³]	ρ_{bssd} [kg/m ³]	$\Delta \rho_{\text{bssd}}$ [kg/m ³]
1	1212,8	699,2	1213,6	998,3	2354	2345
2	1218,4	700,6	1219,5		2344	
3	1217,5	698,2	1218,5		2336	
4	1218,5	701,1	1219,8		2345	

Tabulka 34: Výsledek zkoušky – objemové hmotnosti zkušebních těles AC 11 DS

Směs AC 11 DS (obsah asfaltového pojiva 6,4%)						
Číslo vzorku	m_1 [g]	m_2 [g]	m_3 [g]	ρ_w [kg/m ³]	ρ_{bssd} [kg/m ³]	$\Delta \rho_{\text{bssd}}$ [kg/m ³]
1	1216,9	699,2	1218,0	998,3	2342	2339
2	1215,3	696,5	1215,8		2336	
3	1218,3	698,7	1218,8		2339	

2.3.3 ČSN EN 12697-8 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí

Podstata zkoušky:

Mezerovitost se stanoví z poměru zkoušek: objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa / maximální objemové hmotnosti zkušebního tělesa. [13]

Výpočet a vyjádření výsledků:

$$\text{mezerovitost} = \left(\frac{\rho_{\text{bssd}}}{\rho_{\text{mv}}} - 1 \right) \times 100 \quad [\%]$$

kde ρ_{bssd} je objemová hmotnost SSD, v kg/m^3 ;

ρ_{mv} maximální objemová hmotnost asfaltové směsi v kg/m^3 stanovené volumetrickým postupem s přesností $0,1 \text{ kg/m}^3$ [13]

Naměřené hodnoty a vyhodnocení:

Tabulka 35: Výsledek zkoušky – mezerovitost asfaltové směsi ACO 11 +

Směs ACO 11 + (obsah asfaltového pojiva 6,0%)								
Číslo vzorku	m_1 [g]	m_2 [g]	m_3 [g]	ρ_w [kg/m^3]	ρ_{bssd} [kg/m^3]	$\Delta \rho_{\text{bssd}}$ [kg/m^3]	ρ_{mv} [kg/m^3]	Mezerovitost [%]
1	1212,8	699,2	1213,6	998,3	2354	2345	2426,3	3,4
2	1218,4	700,6	1219,5		2344			
3	1217,5	698,2	1218,5		2336			
4	1218,5	701,1	1219,8		2345			

Tabulka 36: Výsledek zkoušky – mezerovitost asfaltové směsi AC 11 DS

Směs AC 11 DS (obsah asfaltového pojiva 6,4%)								
Číslo vzorku	m_1 [g]	m_2 [g]	m_3 [g]	ρ_w [kg/m^3]	ρ_{bssd} [kg/m^3]	$\Delta \rho_{\text{bssd}}$ [kg/m^3]	ρ_{mv} [kg/m^3]	Mezerovitost [%]
1	1216,9	699,2	1218,0	998,3	2342	2339	2410,0	2,9
2	1215,3	696,5	1215,8		2336			
3	1218,3	698,7	1218,8		2339			

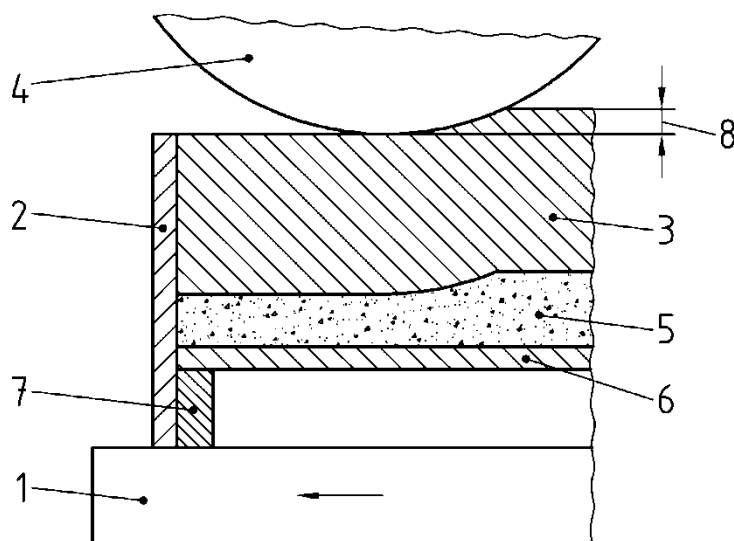
3 ODOLNOST ASFALTOVÝCH SMĚSÍ PROTI TVORBĚ TRVALÝCH DEFORMACÍ

3.1 ČSN EN 12697-33 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 33: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek

Podstata zkoušky:

Dané množství asfaltové směsi se zhutní v plošné formě při zatížení vyvinutém hladkým ocelovým válcem, který působí na určitý počet lamel způsobujících hutnění směsi. Válec pojíždí konstantní rychlostí. [14]

Metoda užívající lamely zatlačované válcem:



Obrázek 1: Hutnící zařízení pro metodu užívající válce a svislé lamely [14]

Legenda:

- 1 stůl pohybující se ve směru šipky
- 2 forma, připevněná ke stolu pomocí šroubu
- 3 lamely
- 4 válec

- 5 asfaltová směs
- 6 podkladní deska
- 7 distanční rám
- 8 lamely válce jsou výše než forma a tento rozdíl se stává nulovým po určitém počtu pojezdů válce [14]

3.1.1 Příprava zkušebního tělesa:

Hmotnost asfaltové směsi:

Hmotnost M asfaltové směsi, která má být vložena do formy, je funkcí maximální objemové hmotnosti ρ_m asfaltové směsi, vnitřních rozměrů formy L a l , tloušťky zkušebního vzorku e a mezerovitosti v , které jsou předepsány nebo předpokládány. [14]

$$M = 10^{-6} \times L \times l \times e \times \rho_m \times \left(\frac{100 - v}{100} \right)$$

kde	M	je	hmotnost desky asfaltové směsi (kg);
	L		vnitřní délka formy (mm);
	l		vnitřní šířka formy (mm);
	e		konečná tloušťka desky (mm);
	ρ_m		maximální objemová hmotnost asfaltové směsi (kg/m ³);
	v		mezerovitost směsi v desce (%). [14]

Poznámka:

V případě použití lamelového zhutňovače se na rozprostřenou směs ve formě vkládá plech obvykle o tloušťce 0,5 až 1 mm. O tloušťku plechu je potřeba snížit tloušťku e při výpočtu navážky. Navážka se též snižuje s ohledem na povrchové mezery. Výsledná míra zhutnění desky je 99 % (+/-1%) objemové hmotnosti zjištěné na Marshallově zkušebním vzorku. [14]

Míchání směsi:

Předepsaná teplota míchání:

Je teplota, na kterou se vstupní materiály zahřívají a následně mísí.

Pomůcky pro výrobu směsi:

váhy, sušárna pro ohřev kameniva a asfaltového pojiva, teploměr, laboratorní míchačka

Postup míchání směsi:

Nejprve se vysuší kamenivo a filer při teplotě $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Dále se musí navážít požadované množství kameniva a fileru, vše se nahřeje. Asfaltové pojivo v uzavřené kovové nádobě se také nahřeje. Zkontrolují se teploty materiálů. Poté se nasype kamenivo a filer do předeřáté nádoby, dále se naváží přesné množství asfaltového pojiva a vše se promíchá. Nakonec proběhne vizuální kontrola obalené směsi.

Plnění formy:

Forma a podkladní deska se lehce natře separačním prostředkem, který není rozpouštědlem pro asfaltové pojivo.

Forma se naplní množstvím ($M \pm 0,1 \%$) asfaltové směsi. Směs se opatrně a rovnoměrně rozprostře do formy pomocí lopatky a zabrání se segregaci směsi. Směs se upěchuje tak, aby byly vyplněny rohy formy, a povrch byl pokud možno co nejrovnější před tím, než se zahájí hutnění. [14]

3.1.2 Způsob hutnění lamelovým zhutňovačem

Tento způsob se používá pouze pro přípravu zkušebních těles se stanovenou objemovou hmotností (nebo mezerovitostí).

Hutnicí lamely se uloží do formy ve svislé poloze na povrch asfaltové směsi. Pohyblivý stůl nebo válec se uvede do pohybu.

Válec se spustí na hutnicí lamely a aplikuje se zatížení F . Lamely se zatlačují konstantní silou $F \pm 20 \%$ až do dosednutí válce na formu nebo do dosažení maximálního svislého posunu válce vůči stolu. [14]

3.1.3 Odstranění formy

Po ukončení procesu hutnění se zkušební tělesa před rozebráním formy nechají vychladnout na laboratorní teplotu [14]

3.2 ČSN EN 12697-22 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 22: Zkouška pojíždění kolem

Podstata zkoušky:

Náchylnost asfaltové směsi k deformaci se posuzuje měřením hloubky vyjeté koleje vzniklé opakovaným pojezdem zatíženého kola při stálé teplotě. [15]

3.2.1 Malá zkušební zařízení:

Zařízení pro vyjíždění kolem se skládá ze zatíženého kola působícího na zkušební těleso upevněného na zkušebním stole. Stůl pod kolem nebo kolo nad stolem se pohybují sem a tam a měřicí zařízení měří nárůst vyjeté koleje ve zkušebním tělese. Vůle mechanismu zatíženého kola ve vertikální poloze je menší než 0,25 mm. Součástí zařízení je:

Obruče s vnějším průměrem 200 mm až 205 mm osazené na kole. Obruč má být bez dezénu a má mít obdélníkový průřez o šířce $w = (50 \pm 6)$ mm. Tloušťka obruče má být (20 ± 2) mm. Obruč má být z pevné pryže.

Prostředky pro vyvození zatížení na kolo. Zatížení kolem je při standardních zkušebních podmínkách $\left[\left(700 \frac{w}{50} \right) \pm 10 \right] N$, měřeno v úrovni horního povrchu zkušebního vzorku kolmo k rovině zkušebního stolu.

Zkušební stůl, který je zkonstruován tak, aby umožňoval pevné uchycení obdélníkového zkušebního tělesa připraveného v laboratoři. Horní povrch vzorku je ve vodorovné poloze a v požadované rovině pojíždění. Jeho střed je umístěn tak, aby zajišťoval symetrické pojíždění.

Zařízení pro vyjíždění kolem zkonstruované tak, aby umožňovalo pohyb vpřed a vzad zkušebního tělesa v rámu pod zatíženým kolem v ustálené horizontální rovině nebo pohyb zatíženého kola vpřed a vzad po uchyceném zkušebním tělese. Frekvence zatěžovacích cyklů $(26,5 \pm 1,0)$ za minutu. [15]

Zařízení pro regulaci teploty:

Zařízení pro regulaci teploty, udržující v průběhu zkoušení konstantní předepsanou teplotu zkušebního tělesa s přesností ± 1 °C. [15]

3.2.2 Odběr a příprava zkušebního tělesa

Výroba zkušebního tělesa

Zkušební tělesa musí být z:

- asfaltové směsi vyrobené v laboratoři
- asfaltové směsi vyrobené na obalovně [15]

Zkušební tělesa se zhotoví ve formách viz kapitola 3.1 obrázek 1: Hutnicí zařízení pro metodu užívající válce a svislé lamely [14]

Jmenovitá tloušťka:

Pro malá zkušební zařízení má jmenovitá tloušťka zkušebního tělesa odpovídat tloušťce směsi pokládáné ve vozovce nebo v případě směsí pokládáných v různých tloušťkách. [15]

Laboratorní příprava zkušebního tělesa:

Zkušební těleso se zkouší buď ve formě, ve které bylo připraveno, nebo ve formě, jejíž základní rozměry se liší od rozměrů formy, ve které bylo těleso připraveno, o méně než 0,5 mm. Forma se zkušebním tělesem se upevní na podkladní desku. [15]

3.2.3 Postup pro provedení jednoho měření

Minimální sada zkušebních těles pro zkoušení na malém zkušebním zařízení, jsou 2 sady zkušebních těles. [15]

Temperování:

Při temperování zkušebních těles na vzduchu je doba temperování při předepsané teplotě ± 1 °C před zahájením zkoušky následující:

- nejméně 4 hodiny pro zkušební tělesa s jmenovitou tloušťkou menší nebo rovnou 60 mm
- nejméně 6 hodin pro zkušební tělesa s jmenovitou tloušťkou větší než 60 mm,
- nejvíce 24 hodin. [15]

Upevnění zkušebního tělesa:

Zkušební těleso se upne do upínacího zařízení, pevně se upevní ke stolu zařízení a osadí se snímače teploty přibližně 20 mm pod povrch zkušebního tělesa temperovaného na vzduchu. Teplota v tělese nebo v okolí tělesa se udržuje na stanovené zkušební teplotě ± 1 °C. Pokud je povrch tělesa lepivý, je nutno jej poprášit mastkem nebo křídou. [15]

Záběh:

Před vlastní zkouškou se provede 5 zatěžovacích cyklů. [15]

Postup B na vzduchu:

Zařízení se uvede do pohybu a po záběhu se zaznamená počáteční vertikální deformace, pak 6 až 7krát v první hodině zatěžování a poté nejméně po každých 500 zatěžovacích cyklech. Vertikální poloha kola je definována jako průměrná hodnota profilu zkušebního tělesa na délce ± 50 mm od středu zatěžované plochy uprostřed stopy, měřená nejméně v 25 bodech přibližně rovnoměrně rozmístěných. Vertikální poloha kola má být měřena bez zastavení pojíždění. Pojíždění pokračuje do provedení 10 000 zatěžovacích cyklů nebo do dosažení hloubky koleje 20 mm, podle toho co nastane dříve. Zkouška musí být provedena nejméně na dvou zkušebních tělesech. [15]

3.2.4 Výpočet a vyjádření výsledků:**Postup B- přírůstek hloubky vyjeté koleje na vzduchu:**

Přírůstek vyjeté koleje vyjádřený v mm za 10^3 zatěžovacích cyklů se vypočítá jako:

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

Kde WTS_{AIR} je přírůstek hloubky vyjeté koleje v mm za 10^3 zatěžovacích cyklů.
 $d_{10\,000}$, $d_{5\,000}$ hloubky vyjeté koleje po 5 000 a 10 000 cyklech v milimetrech.

[15]

Průměrný přírůstek hloubky vyjeté koleje na vzduchu:

Výsledek zkoušky je průměr WTS_{AIR} ze dvou zkušebních těles. Jestliže je zkouška ukončená před dosažením 10 000 cyklů, nárůst by měl být počítán z lineární části

křivky hloubky vyjeté koleje za předpokladu, že tato lineární část pokrývá nejméně 2 000 cyklů. [15]

Průměrná poměrná hloubka vyjeté koleje PRD_{AIR} na vzduchu:

Hloubka vyjeté koleje pro zkoušenou asfaltovou směs při N zatěžovacích cyklech je průměr poměrné hloubky vyjeté koleje ze dvou (nebo více) zkušebních těles s přesností $\pm 0,1$ %. [15]

3.2.5 Naměřené hodnoty a vyhodnocení:

Tabulka 37: hodnoty ze zkoušky poježdění kolem pro desky ze směsi ACO 11+ 6,0

Směs ACO 11+ 6,0									
Číslo měření	Hodiny	Minuty	Cykly	Teplota (°C/0,1)	L1 (0,1mm)	L2 (0,1mm)	S₁	S₂	(S₁+S₂)/2
0	8	24	0	488	346	-193	0	0	0
1	8	33	250	499	382	-153	0,36	0,4	0,38
2	8	43	500	499	393	-146	0,47	0,47	0,47
3	8	53	750	500	396	-138	0,5	0,55	0,525
4	9	3	1000	500	397	-133	0,51	0,6	0,555
5	9	13	1250	500	401	-129	0,55	0,64	0,595
6	9	23	1500	500	402	-126	0,56	0,67	0,615
7	9	33	1750	500	405	-123	0,59	0,7	0,645
8	9	43	2000	500	407	-124	0,61	0,69	0,65
9	9	53	2250	501	409	-121	0,63	0,72	0,675
10	10	2	2500	501	412	-113	0,66	0,8	0,73
11	10	12	2750	500	413	-114	0,67	0,79	0,73
12	10	22	3000	500	413	-114	0,67	0,79	0,73
13	10	32	3250	501	415	-112	0,69	0,81	0,75
14	10	42	3500	502	416	-111	0,7	0,82	0,76
15	10	52	3750	501	416	-108	0,7	0,85	0,775
16	11	2	4000	501	416	-106	0,7	0,87	0,785
17	11	12	4250	501	418	-105	0,72	0,88	0,8
18	11	21	4500	502	419	-101	0,73	0,92	0,825

19	11	31	4750	501	420	-100	0,74	0,93	0,835
20	11	41	5000	501	420	-100	0,74	0,93	0,835
21	11	51	5250	500	420	-97	0,74	0,96	0,85
22	12	1	5500	501	421	-95	0,75	0,98	0,865
23	12	11	5750	501	422	-93	0,76	1	0,88
24	12	21	6000	501	423	-92	0,77	1,01	0,89
25	12	31	6250	502	423	-90	0,77	1,03	0,9
26	12	40	6500	501	423	-89	0,77	1,04	0,905
27	12	50	6750	502	424	-89	0,78	1,04	0,91
28	13	0	7000	502	425	-87	0,79	1,06	0,925
29	13	10	7250	501	425	-86	0,79	1,07	0,93
30	13	20	7500	501	425	-86	0,79	1,07	0,93
31	13	30	7750	501	427	-84	0,81	1,09	0,95
32	13	40	8000	502	426	-85	0,8	1,08	0,94
33	13	50	8250	501	428	-83	0,82	1,1	0,96
34	13	59	8500	501	428	-85	0,82	1,08	0,95
35	14	9	8750	501	429	-84	0,83	1,09	0,96
36	14	19	9000	501	429	-83	0,83	1,1	0,965
37	14	29	9250	501	430	-82	0,84	1,11	0,975
38	14	39	9500	502	429	-81	0,83	1,12	0,975
39	14	49	9750	501	430	-80	0,84	1,13	0,985
40	14	59	10000	501	428	-80	0,82	1,13	0,975

Tabulka 38: Výsledek zkoušky pojiždění kolem pro desky ze směsi AC0 11 + 6,0

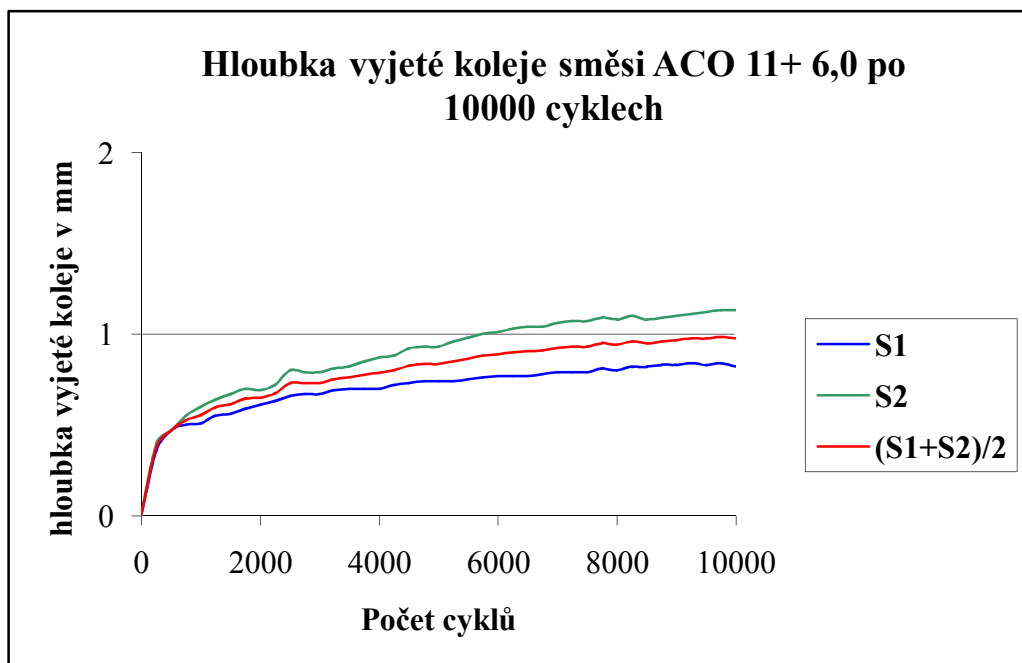
Počet kol	Průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech d_{5000} [mm]	Průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech d_{10000} [mm]	$d_{10000} - d_{5000}$ [mm]
1	0,74	0,82	0,08
2	0,93	1,13	0,20
průměr	0,84	0,98	0,14

Tabulka 39: Tloušťky desek ze směsi ACO 11 + 6,0

Počet měření	Tloušťka desky d_1 [mm]
1	40,1
2	40,3
Průměr	40,2

$$WTS_{AIR} = \frac{d_{10000} - d_{5000}}{5} = 0,028mm$$

$$PRD_{AIR} = \left(\frac{\Delta d_{5000}}{d_1} \right) \cdot 100 = 2,1\%$$



Graf 6: Hloubka vyjeté koleje pro desky ze směsi ACO 11+ 6,0

Tabulka 40: hodnoty ze zkoušky pojiždění kolem pro desky ze směsi AC 11 DS 6,4

Směs AC 11 DS 6,4									
Číslo měření	Hodiny	Minuty	Cykly	Teplota (°C/0,1)	L1 (0,1mm)	L2 (0,1mm)	S ₁	S ₂	(S ₁ +S ₂)/2
0	7	21	0	492	238	-196	0	0	0
1	7	31	250	499	289	-146	0,51	0,5	0,505
2	7	40	500	499	302	-134	0,64	0,62	0,63
3	7	50	750	499	311	-127	0,73	0,69	0,71
4	8	0	1000	501	318	-120	0,8	0,76	0,78
5	8	10	1250	500	325	-114	0,87	0,82	0,845
6	8	20	1500	501	329	-111	0,91	0,85	0,88
7	8	30	1750	500	333	-107	0,95	0,89	0,92
8	8	40	2000	500	336	-104	0,98	0,92	0,95
9	8	50	2250	501	339	-99	1,01	0,97	0,99
10	9	0	2500	501	342	-96	1,04	1	1,02
11	9	9	2750	501	344	-92	1,06	1,04	1,05
12	9	19	3000	500	348	-90	1,1	1,06	1,08
13	9	29	3250	501	351	-88	1,13	1,08	1,105
14	9	39	3500	500	353	-87	1,15	1,09	1,12
15	9	49	3750	502	355	-85	1,17	1,11	1,14
16	9	59	4000	500	357	-82	1,19	1,14	1,165
17	10	9	4250	501	360	-80	1,22	1,16	1,19
18	10	19	4500	500	363	-77	1,25	1,19	1,22
19	10	28	4750	501	365	-75	1,27	1,21	1,24
20	10	38	5000	502	367	-72	1,29	1,24	1,265
21	10	48	5250	501	369	-70	1,31	1,26	1,285
22	10	58	5500	501	370	-68	1,32	1,28	1,3
23	11	8	5750	501	374	-65	1,36	1,31	1,335
24	11	18	6000	501	375	-64	1,37	1,32	1,345
25	11	28	6250	502	377	-61	1,39	1,35	1,37
26	11	38	6500	502	379	-59	1,41	1,37	1,39

27	11	47	6750	501	379	-57	1,41	1,39	1,4
28	11	57	7000	503	380	-55	1,42	1,41	1,415
29	12	7	7250	501	381	-53	1,43	1,43	1,43
30	12	17	7500	502	383	-52	1,45	1,44	1,445
31	12	27	7750	501	384	-54	1,46	1,42	1,44
32	12	37	8000	503	387	-55	1,49	1,41	1,45
33	12	47	8250	501	388	-56	1,5	1,4	1,45
34	12	57	8500	502	389	-55	1,51	1,41	1,46
35	13	6	8750	501	391	-52	1,53	1,44	1,485
36	13	16	9000	502	392	-48	1,54	1,48	1,51
37	13	26	9250	502	394	-46	1,56	1,5	1,53
38	13	36	9500	501	395	-44	1,57	1,52	1,545
39	13	46	9750	502	395	-43	1,57	1,53	1,55
40	13	56	10000	501	397	-40	1,59	1,56	1,575

Tabulka 41: Výsledek zkoušky pojiždění kolem pro desky ze směsi AC 11 DS 6,4

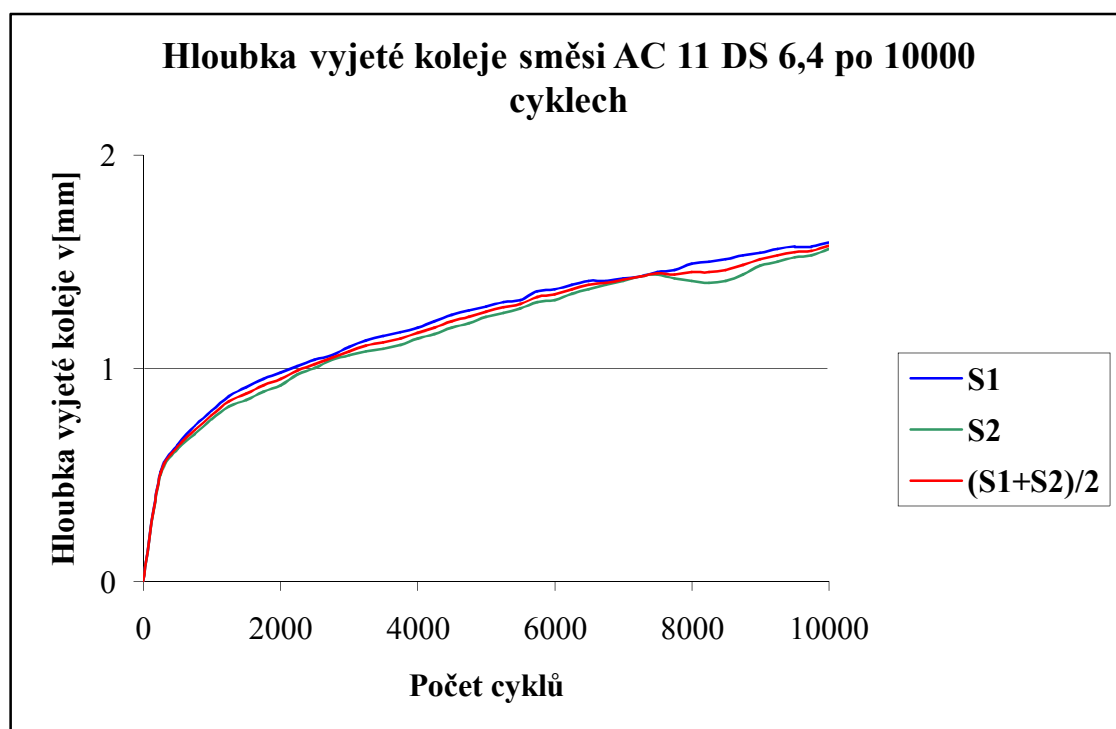
Počet kol	Průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech d_{5000} [mm]	Průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech d_{10000} [mm]	$d_{10000} - d_{5000}$ [mm]
1	1,29	1,59	0,30
2	1,24	1,56	0,32
průměr	1,27	1,58	0,31

Tabulka 42: Tloušťky desek ze směsi AC 11 DS 6,4

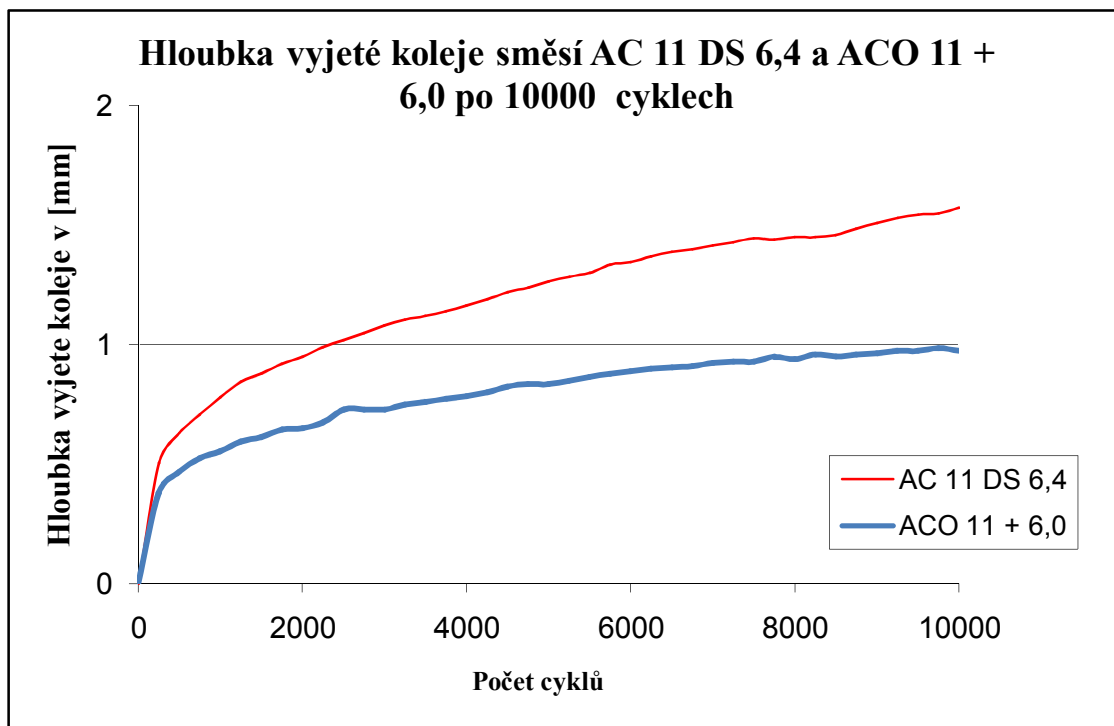
Počet měření	Tloušťka desky d_1 [mm]
1	40,3
2	40,1
Průměr	40,2

$$WTS_{AIR} = \frac{d_{10000} - d_{5000}}{5} = 0,062mm$$

$$PRD_{AIR} = \left(\frac{\Delta d_{5000}}{d_1} \right) \cdot 100 = 3,1\%$$



Graf 7: Hloubka vyjeté koleje pro desky ze směsi AC 11 DS 6,4



Graf 8: Hloubka vyjeté koleje pro desky ze směsí AC 11 DS, ACO 11 +

D ZÁVĚR:

Z naměřených výsledků se potvrdilo očekávání, že směs navržená podle německých předpisů má nižší odolnost proti tvorbě trvalých deformací ve srovnání se směsí navrženou podle českých norem. Je to dáno vyšším obsahem asfaltového pojiva a tím, že je směs jemnozrnější. Nicméně při porovnání s mezními požadavky normy ČSN EN 13108-1 pro směsi s vysokým dopravním zatížením ACO 11 S by obě dvě navržené směsi vyhověly (mezní hodnoty $PRD_{AIR} = 5 \%$, $WTS_{AIR} = 0,07$).

Z výsledků zkoušek prováděných v dalších bakalářských pracích na identických asfaltových směsích se nepotvrdilo očekávání, že česká směs bude méně odolná vůči účinkům proti vodě ve srovnání se směsí navrženou podle německých předpisů. Výsledek zkoušky ITSR pro ACO 11+ vyšel 50 % a pro AC 11 DS 38 %. Jedná se v obou případech o nezvykle nízké hodnoty. Směs navržená podle německých předpisů má sice vyšší obsah asfaltu, ale je jemnozrnější, což v konečném důsledku nemusí vést k vyšší tloušťce asfaltového filmu na jednotlivých zrnech a vyšší soudržnosti vyjádřené pevností v příčném tahu. U zkoušky odolnosti proti vzniku a šíření trhlin vyšla česká směs ACO 11+ $31,56 \text{ N/mm}^{1,5}$ a německá směs AC 11 DS $30,09 \text{ N/mm}^{1,5}$. U této zkoušky se nedá jednoznačně říct, která směs je odolnější.

Dosažené výsledky mohou být použity při připravované revizi evropských norem.

4 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČSN EN 933-1 *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor*. Praha: Český normalizační institut, červen 1998.
- [2] ČSN EN 1097-6 *Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti*. Praha: Český normalizační institut, říjen 2001.
- [3] ČSN EN 933-9 *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 9: Posouzení jemných částic – Zkouška methylenovou modří*. Praha: Český normalizační institut, září 1999.
- [4] ČSN EN 993-4 *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 4: Stanovení tvaru zrn – Tvarový index*. Praha: Český normalizační institut, říjen 2008.
- [5] ČSN EN 1097-2 *Zkoušení mechanických vlastností kameniva – Část 2: Metody pro stanovení odolnosti proti drcení*. Praha: Český normalizační institut, červenec 1999.
- [6] ČSN EN 1426 *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou*. Praha: Český normalizační institut, srpen 2007.
- [7] ČSN EN 1427 *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička*. Praha: Český normalizační institut, srpen 2007.
- [8] ČSN EN 13108 -1 *Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 1: Asfaltový beton*.
- [9] Německý předpis TL Asphalt – StB 07.
- [10] ČSN 73 6160 *Zkoušení asfaltových směsí*. Praha: Český normalizační institut, duben 2008.
- [11] ČSN EN 12697-5+A1 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti*. Praha: Český normalizační institut, prosinec 2007.
- [12] ČSN EN 12697-6+A1 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa*. Praha: Český normalizační institut, prosinec 2007.

- [13] ČSN EN 12697-8 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí*. Praha: Český normalizační institut, květen 2004.
- [14] ČSN EN 12697-33 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 33: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek*. Praha: Český normalizační institut, listopad 2004.
- [15] ČSN EN 12697-22 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 22: Zkouška poježdění kolem*. Praha: Český normalizační institut, 2005.

5 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ACO 11 + : Asfaltový beton do ohrusných vrstev maximální velikost zrna 11 mm, střední kvality pro třídy dopravního zatížení 2 – 4.

AC 11 DS : Asfaltový beton do ohrusných vrstev maximální velikost zrna 11 mm, nejvyšší kvality pro třídy dopravního zatížení 2 – 3.

6 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Hutnicí zařízení pro metodu užívající váce a svislé lamely [14]..... 47

7 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Stanovení obsahu jemných částic fileru vzorek č. 1 14

Tabulka 2: Stanovení zrnitosti fileru vzorek č.1..... 14

Tabulka 3: Stanovení obsahu jemných částic fileru vzorek č. 2 15

Tabulka 4: Stanovení zrnitosti fileru vzorek č.2.....	15
Tabulka 5: Stanovení obsahu jemných částic fileru průměr z vzorků č.1 a č. 2	16
Tabulka 6: Stanovení zrnitosti fileru průměr z vzorků č.1 a č.2	16
Tabulka 7: Stanovení obsahu jemných částic frakce 0/4 vzorek č.1	17
Tabulka 8: Stanovení zrnitosti frakce 0/4 vzorek č.1	18
Tabulka 9: Stanovení obsahu jemných částic frakce 0/4 vzorek č.3	18
Tabulka 10: Stanovení zrnitosti frakce 0/4 vzorek č.3	19
Tabulka 11: Stanovení obsahu jemných částic frakce 0/4 průměr z vzorků č.1 a č.3	19
Tabulka 12: Stanovení zrnitosti frakce 0/4 průměr z vzorků č.1 a č.3	20
Tabulka 13: Stanovení obsahu jemných částic frakce 4/8 průměr ze dvou vzorků	21
Tabulka 14: Stanovení zrnitosti frakce 4/8 průměr ze dvou vzorků.....	21
Tabulka 15: Stanovení obsahu jemných částic frakce 8/11 průměr ze dvou vzorků.....	22
Tabulka 16: Stanovení zrnitost frakce 8/11 průměr ze dvou vzorků.....	23
Tabulka 17: Hmotnost zkušebních navážek kameniva[2]	24
Tabulka 18: Hmotnosti kameníma.....	26
Tabulka 19: Nasákavost a objemová hmotnost kameníva	26
Tabulka 20: Výsledky zkoušky – posouzení jemných částic methylenovou modří.....	29
Tabulka 21: Hmotnosti zkušebních navážek [4]	29
Tabulka 22: Výsledky zkoušky- tvarového indexu	30
Tabulka 23: Výsledky zkoušky - odolnosti proti drcení LA	31
Tabulka 24: Výsledky zkoušky – stanovení penetrace jehlou	33

Tabulka 25: Výsledky zkoušky – stanovení bodu měknutí – metoda kroužek a kulička	35
Tabulka 26: obory zrnitosti kameniva ACO 11 + [8]	36
Tabulka 27: obory zrnitosti kameniva AC 11 DS [9]	36
Tabulka 28: Navržená čára zrnitosti a návrh dávkování pro ACO 11 +	36
Tabulka 29: Navržená čára zrnitosti a návrh dávkování pro AC 11 DS	37
Tabulka 30: Hmotnosti vstupních hodnot	43
Tabulka 31: Výsledek zkoušky – objemové hmotnosti nezhuťných asfaltových směsí ACO 11 +	43
Tabulka 32: Výsledek zkoušky – objemové hmotnosti nezhuťných asfaltových směsí AC 11 DS	43
Tabulka 33: Výsledek zkoušky – objemové hmotnosti zkušebních těles ACO 11 +	45
Tabulka 34: Výsledek zkoušky – objemové hmotnosti zkušebních těles AC 11 DS	45
Tabulka 35: Výsledek zkoušky – mezerovitost asfaltové směsi ACO 11 +	46
Tabulka 36: Výsledek zkoušky – mezerovitost asfaltové směsi AC 11 DS	46
Tabulka 37: hodnoty ze zkoušky pojíždění kolem pro desky ze směsi ACO 11+ 6,0 ...	53
Tabulka 38: Výsledek zkoušky pojíždění kolem pro desky ze směsi AC 11 + 6,0 ...	54
Tabulka 39: Tloušťky desek ze směsi ACO 11 + 6,0	55
Tabulka 40: hodnoty ze zkoušky pojíždění kolem pro desky ze směsi AC 11 DS 6,4	56
Tabulka 41: Výsledek zkoušky pojíždění kolem pro desky ze směsi AC 11 DS 6,4	57
Tabulka 42: Tloušťky desek ze směsi AC 11 DS 6,4	58

8 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Čára zrnitosti fileru	17
Graf 2: Čára zrnitosti pro frakci 0/4.....	20
Graf 3: Čára zrnitosti pro frakci 4/8.....	22
Graf 4: Čára zrnitosti pro frakci 8/11	23
Graf 5: Meze zrnitosti a navržené čáry zrnitosti pro směsi ACO 11 + , AC 11 DS [8],[9]	37
Graf 6: Hloubka vyjeté koleje pro desky ze směsi AC0 11+ 6,0	55
Graf 7: Hloubka vyjeté koleje pro desky ze směsi AC 11 DS 6,4	58
Graf 8: Hloubka vyjeté koleje pro desky ze směsi AC 11 DS, ACO 11 +	59