

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA SILNIČNÍCH STAVEB



Pokládka asfaltových směsí s velikostí zrna 32 mm

Paving Asphalt Mixtures with the Grain Size of 32 mm

Diplomová práce

Bc. Petr Benda

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Vedoucí práce: Ing. Petr Mondschein, Ph.D.



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Tháškova 7, 166 29 Praha 6



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Benda	Jméno: Petr	Osobní číslo: 473464
Zadávající katedra: katedra silničních staveb		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor/specializace: Konstrukce a doprava		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Pokládka asfaltových směsí s velikostí zrna 32 mm	
Název diplomové práce anglicky: Paving of Asphalt Mixtures with a Grain Size of 32 mm	
Pokyny pro vypracování: Rešerše oblastí asfaltových směsí s velkým zrnem, tj. D větší, jak 22 mm. Dokumentace pokládky asfaltové směsi typu ACP 32, porovnání charakteristik asfaltové směsi na zkušebních tělesech připravených laboratorně a získaných ze stavby.	
Seznam doporučené literatury: Platné i neplatné technické předpisy typu ČSN EN, ČSN, TKP, TP. Zahraniční technické předpisy (např. Polsko, Slovensko, Německo, Rakousko). Technologie stavby vozovek, Ing. Jan Zajíček a kol., Pokládka hutněných asfaltových směsí (Václav Hanzík a kolektiv)	
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Petr Mondschein, Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce: 26.9.2023	Termín odevzdání DP v IS KOS: 8.1.2024 <small>Údaj uveďte v souladu s datem časovým plánem příslušného ak. roku</small>
<div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> Podpis vedoucího práce	<div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.</i>	
- 3 -10- 2023	<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px;"></div>
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)



PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že zadanou diplomovou práci na téma „Pokládka asfaltových směsí s velikostí zrna 32 mm“ jsem vypracoval samostatně, bez cizí pomoci a pouze za odborného vedení vedoucího diplomové práce Ing. Petra Mondscheina Ph.D.

Dále prohlašuji, že jsem uvedl veškerý seznam použité literatury a zdrojů, které byly použity na zhotovení práce.

V Praze dne

.....

Bc. Petr Benda



PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Monscheinovi Ph.D. za odborné vedení práce, poskytnutí informací a podkladů společně s průběžnými konzultacemi během zpracování této práce. Zároveň bych chtěl poděkovat kolektivu silniční laboratoře ČVUT fakulty stavební za výpomoc při práci s testovacími stroji v laboratoři.

Dále bych rád poděkoval kolegům společnosti EKOSTAVBY Louny s.r.o., která mi umožnila kompletně vést pokládku a míchání zkoumané směsi v obalovně, a VIAKONTROL s.r.o. za možnost využití jejich laboratoře pro výrobu vzorků, odběr jádrových vývrtů a poskytnutí měřicí sondy Troxler.



Anotace

Tato diplomová práce se zabývá problematikou použití kameniva s větší velikostí zrna 32 mm do asfaltových směsí. Teoretická část obsahuje shrnutí a porovnání technických norem z předešlých let s normou aktuální a podrobný popis průběhu pokládky asfaltových směsí.

Praktická část je zaměřena na pokládku asfaltové směsi ACP 32 společně s jejím návrhem, výrobou v laboratoři a obalovně, zhotovení Marshallových těles, pokládkou směsi na stavbě, měření průběhu míry zhutnění metodou Troxler, odběrem jádrových vývrtů a provedení laboratorních zkoušek pro porovnání jednotlivých variant a zjištění mechanicko-fyzikálních vlastností dané směsi.

Klíčová slova

ACP 32, pokládka asfaltových směsí, finišer, válcování, obalovna, Troxler, zatěžovací zkouška, míra zhutnění, mezerovitost, objemová hmotnost, R-materiál, zrnitost, modul tuhosti, Marshallova stabilita, jádrový vývrt, obsah rozpustného pojiva.



Abstract

This master's thesis is focused on the subject matter with adding larger stone grain (32 mm) into asphalt mixtures. The theoretical part of this thesis tries to compare older technical standards with the current one and describes individual methods of asphalt paving using a paver and compacting machines.

Practical part is focused on asphalt paving using an ACP 32 mixture with its design, its mixing in a laboratory and an asphalt plant, making test bodies, measuring rate of compaction using the Troxler method, asphalt core drilling and making various test for understanding the mechanical properties of the given mixture.

Key words

Asphalt concrete, asphalt paving, paver, rolling, asphalt plant, Troxler, load test, rate of compaction, mixture air voids, bulk density, R-material, grain curve, stiffness module, Marshall's stability, drilled core, asphalt binder volume.



Obsah

1.	Úvod.....	- 17 -
	TEORETICKÁ ČÁST	- 18 -
2.	Vývoj asfaltových směsí	- 18 -
2.1.	Asfaltový beton pro kryty vozovek ČSN 73 6148 (15.11.1967)	- 18 -
2.1.1.	Značení asfaltového betonu	- 18 -
2.1.2.	Asfaltová pojiva	- 19 -
2.1.3.	Požadavek na Marshallovu stabilitu	- 19 -
2.1.4.	Kamenivo	- 20 -
2.1.5.	Fyzikálně-mechanické vlastnosti	- 21 -
2.1.6.	Výroba, rozprostírání a hutnění asfaltových směsí.....	- 22 -
2.2.	Asfaltový beton pro kryty vozovek ČSN 73 6149 (16.09.1983)	- 23 -
2.2.1.	Značení asfaltového betonu	- 23 -
2.2.2.	Asfaltová pojiva	- 23 -
2.2.3.	Kamenivo	- 24 -
2.2.4.	Asfaltobetonová směs	- 25 -
2.2.5.	Fyzikálně-mechanické vlastnosti	- 26 -
2.2.6.	Výroba, rozprostírání a hutnění asfaltových směsí.....	- 27 -
2.3.	Asfaltový beton pro kryty vozovek ČSN 73 6149 (06.05.1991)	- 28 -
2.3.1.	Značení asfaltového betonu	- 28 -
2.3.2.	Asfaltová pojiva	- 28 -
2.3.3.	Kamenivo	- 28 -
2.3.4.	Asfaltobetonová směs	- 30 -
2.3.5.	Fyzikálně – mechanické vlastnosti	- 31 -
2.3.6.	Výroba, rozprostírání a hutnění asfaltových směsí.....	- 32 -
2.4.	Stavba vozovek – hutněné asfaltové vrstvy ČSN 73 6121 (červenec 1994) ..-	
	33 -	
2.4.1.	Značky a označování.....	- 33 -
2.4.2.	Kamenivo	- 34 -
2.4.3.	Asfaltová pojiva	- 35 -



2.4.4.	Stavební směs.....	- 35 -
2.4.5.	Fyzikálně – mechanické vlastnosti	- 37 -
2.4.6.	Výroba, rozprostírání a hutnění asfaltových směsí.....	- 38 -
2.5.	Stavba vozovek – Hutněné asfaltové vrstvy – Provádění a kontrola shody ČSN 73 6121 (březen 2008)	- 39 -
2.5.1.	Značky a označování.....	- 39 -
2.5.2.	Výroba.....	- 40 -
2.5.3	Rozprostírání a hutnění asfaltových směsí	- 40 -
2.6.	Stavba vozovek – Hutněné asfaltové vrstvy – Provádění a kontrola shody ČSN 73 6121 z února 2019 a března 2023	- 42 -
2.6.1.	Rozdíly mezi ČSN 73 6121 z roku 2019 a 2023	- 43 -
2.7.	Slovenské požadavky na asfaltové směsi	- 45 -
2.7.1.	Značení.....	- 45 -
2.7.2.	Použití ve vozovce	- 45 -
2.7.3	Požadavky na materiál asfaltových směsí.....	- 46 -
2.8.	Závěr	- 47 -
3.	Pokládka asfaltových směsí	- 48 -
3.1.	Doprava.....	- 48 -
3.2.	Rozprostírání asfaltových směsí	- 49 -
3.2.1.	Finišery	- 50 -
3.3.	Hutnění asfaltových směsí	- 56 -
3.3.1.	Vibrační desky	- 56 -
3.3.2.	Statické válce	- 56 -
3.3.3.	Válce s dynamickým účinkem	- 59 -
3.3.4.	Technologické postupy při hutnění asfaltových směsí	- 63 -
3.4.	Metody kontroly míry zhutnění asfaltových směsí.....	- 68 -
3.4.1.	Destruktivní metody kontroly	- 69 -
3.4.2.	Nedestruktivní metoda kontroly radiometrickou sondou Troxler	- 69 -
	PRAKTICKÁ ČÁST	- 70 -
4.	Návrh směsí ACP 32.....	- 70 -
4.1.	Vlastnosti kameniva.....	- 71 -



4.1.1.	Stanovení zrnitosti frakcí kameniva.....	- 71 -
4.1.2.	Složení směsí kameniva.....	- 73 -
4.2.	Stanovení minimálního obsahu asfaltového pojiva	- 73 -
4.3.	Křivky zrnitosti	- 74 -
5.	Analýza návrhových směsí z laboratorní míchačky	- 75 -
5.1.	Výroba směsí v laboratorní míchačce.....	- 75 -
5.2.	Výroba Marshallových těles	- 77 -
5.3.	Objemová hmotnost SSD.....	- 78 -
5.4.	Maximální objemová hmotnost	- 80 -
5.5.	Mezerovitost	- 83 -
5.6.	Obsah rozpustného pojiva.....	- 84 -
5.7.	Vyhodnocení návrhu směsí z laboratorní míchačky	- 87 -
6.	Analýza návrhových směsí z obalovny.....	- 87 -
6.1.	Výroba směsí v šaržové obalovně.....	- 89 -
6.2.	Objemová hmotnost SSD.....	- 91 -
6.3.	Maximální objemová hmotnost	- 91 -
6.4.	Mezerovitost	- 92 -
6.5.	Obsah rozpustného pojiva.....	- 92 -
6.6.	Křivky zrnitosti	- 92 -
6.7.	Vyhodnocení návrhu směsí z obalovny	- 93 -
7.	Pokládka ACP 32.....	- 94 -
7.1.	Realizovaná stavba.....	- 94 -
7.2.	Statická zatěžovací zkouška SZZ.....	- 95 -
7.3.	Rázová zatěžovací zkouška LDD	- 97 -
7.4.	Rozprostírání a hutnění směsí.....	- 99 -
7.4.1.	Rozprostírání směsí.....	- 101 -
7.4.2.	Hutnění směsí.....	- 103 -
7.4.3.	Vliv hutnicích účinků na míru zhutnění.....	- 105 -
7.4.4.	Klimatické podmínky a teploty asfaltových směsí při pokládce	- 107 -
7.5.	Jádrové vývrty.....	- 109 -



8.	Laboratorní zkoušky	- 110 -
8.1.	Značení vzorků.....	- 110 -
8.2.	Objemová hmotnost SSD.....	- 110 -
8.3.	Mezerovitost	- 111 -
8.4.	Míra zhutnění vývrtů.....	- 112 -
8.5.	Moduly tuhosti	- 113 -
8.6.	Zkouška odolnosti proti šíření trhlin.....	- 116 -
8.7.	Marshallova zkouška	- 122 -
9.	Závěr	- 125 -
	Seznam použité literatury	- 128 -
	Příloha A – Zrnitost kameniva	- 131 -
	Příloha B – Volumetrické vlastnosti	- 133 -
	Příloha C – fyzikálně mechanické vlastnosti	- 138 -
	Seznam grafů	- 154 -
	Seznam obrázků	- 156 -
	Seznam tabulek	- 159 -
	Seznam vzorců	- 163 -



1. Úvod

Tato diplomová práce se zabývá pokládkou dvou asfaltových směsí (s a bez přidání R-materiálu) s maximální velikostí zrna 32 mm a jejím strojním hutněním za použití různých hutnicích metod.

Teoretická část obsahuje porovnání starších technických norem českých i ze zahraničí, s technickými normami používanými u nás v dnešní době, s důrazem na směsi s větším zrnem kameniva. Dále jsou v této části popsány postupy pokládky asfaltových směsí, se zaměřením na dopravu, rozprostírání a následné hutnění směsí. U kapitoly válcování jsou nastíněny způsoby hutnění a schémata jednotlivých pojezdů válce, které se mění za různých podmínek stavby. U jednotlivých kapitol jsou uvedeny typy strojů, které se používají pro realizaci asfaltových vrstev společně s jejich specifikacemi a místy využití.

V praktické části byly navrženy dvě asfaltové směsi, ACP 32 bez R-materiálu a ACP 32 s přidáním 40 % R-materiálu. Realizace podkladní vrstvy proběhla na stavbě Obytná a Obchodní Zóna Na Homoli, Žatec. Před samotnou pokládkou došlo k ověření únosnosti podkladní vrstvy statickou zatěžovací zkouškou a rázovou zatěžovací zkouškou. Následně bylo položeno přibližně 750 t směsí, přičemž se z obalovny odebralo dostatečné množství vzorků pro výrobu 16 Marshallových těles (8 těles bez přidáním R-mat. a 8 těles s přidáním 40 % R-mat.). V průběhu realizace se zaznamenávala teplota při rozprostírání a válcování, rychlost větru a teplota okolního vzduchu. Samotná pokládka byla rozdělena do čtyř úseků, které se lišily způsobem hutnění a typem směsi. První tři úseky byly zhotoveny z ACP 32 bez R-materiálu a byly hutněny vibrací, oscilací a statickým pojezdem. Poslední úsek obsahoval směs ACP 32 s 40 % R-materiálu a byl hutněn pouze vibrací. Po každém pojezdu válce byla zaznamenána míra zhutnění pomocí měřicí sondy Troxler a jednotlivé varianty hutnicích účinků byly porovnány. Následně došlo k odebrání 32 jádrových vývrtů, kde z každého úseku byly odebrány čtyři vývrty o průměru 100 mm a čtyři vývrty o průměru 150 mm. Na vzorkách proběhly laboratorní zkoušky pro sledování rozdílů jednotlivých vlastností Marshallových těles a vývrtů, společně s vlivem přidání R-materiálu do navržené směsi. Na tělesech byla stanovena objemová hmotnost, maximální objemová hmotnost, mezerovitost, míra zhutnění, modul tuhosti, Marshallova stabilita a odolnost vůči šíření trhlin.

Předpoklady jsou, že nejrychlejšího nabytí míry zhutnění dosáhne způsob válcování vibrací a nejpomalejšího statický pojezd. Marshallova tělesa by měla dosahovat menší mezerovitosti oproti vývrtům, což je způsobeno menší mírou zhutnění položené vrstvy, která by měla u jádrových vývrtů negativně ovlivňovat i výsledky dalších laboratorních zkoušek jako je například modul tuhosti a odolnost vůči šíření trhlin. Dále se předpokládá, že přidání R-materiálu do směsi zvýší tuhost směsí a způsobí vyšší citlivost na tvorbu trhlin, což by se mělo projevit menší hodnotou lomové energie při zkoušce odolnosti proti šíření trhlin.



TEORETICKÁ ČÁST

2. Vývoj asfaltových směsí

V průběhu posledních let se požadavky na navrhování, výrobu a pokládání asfaltových směsí značně zpřísnily, zároveň došlo k mnoha změnám v testování směsí a jejich značení. Tato část práce se zabývá popsáním nejdůležitějších parametrů vývoje asfaltových směsí za posledních 50 let, zjištěných ze starých dohledatelných technických norem. Hlavní důraz je kladen na směsi obsahující kamenivo hrubších frakcí nad 22 mm a na úseky norem, které se přímo týkají navazující praktické části.

2.1. Asfaltový beton pro kryty vozovek ČSN 73 6148 (15.11.1967)

ČSN 73 6148 z roku 1967 je první dohledatelná československá státní technická norma, která popisuje provádění živičných krytů z asfaltového betonu na vozovkách silničních a letištních komunikací, s úpravami ve značení jednotlivých směsí oproti normám ČSN 73 6148 a ČSN 73 6149 z 12.1.1954, které nahrazuje. Tato norma nabyla účinnost 1.5.1968. [1]

2.1.1. Značení asfaltového betonu

V porovnání s dnešními normami obsahuje ČSN 73 6148 z roku 1967 české zkratky při značení asfaltového betonu, kde první dvě písmena jsou AB (asfaltový beton), oproti dnešnímu anglickému značení AC (asphalt concrete). Poslední třetí písmeno značí hrubost kameniva použitého v dané směsi, na rozdíl od značení vrstvy použití, na kterou jsme zvyklí dnes. [1] [2]

Jsou popsány tři typy asfaltového betonu:

- ABJ – asfaltový beton jemnozrný
- ABH – asfaltový beton hrubozrný
- ABP – asfaltový beton pískový

Příklad označení asfaltového betonu jemnozrného kladeného v jedné vrstvě tloušťky 3 cm, opatřeného infiltračním postříkem asfaltovým IA 1,0 podle ČSN 73 6141 je:

ABJ 3; IA 1,0; ČSN 73 6148 [1]

Na rozdíl od dnešní doby se dříve mohlo asfaltové souvrství značit v jednom popisu. Například při pokládce dvou vrstev, se spodní vrstvou hrubozrného asfaltu o tloušťce 4 cm a horní vrstvou jemnozrného asfaltu o tloušťce 3 cm, bez infiltračního postříku bylo souvrství značeno jako:

ABH/J 4/3; ČSN 73 6148 [1]



2.1.2. Asfaltová pojiva

K obalování kameniva pro asfaltový beton byl používán silniční ropný asfalt A 80 nebo A 65. Pro ložní vrstvu z hrubozrnného asfaltového betonu bylo možno použít měkčího silničního ropného asfaltu A 200 nebo jiných druhů silničních asfaltů, které musely odpovídat svými vlastnostmi některému z uvedených druhů živičných pojiv. Toto značení se opět liší tím, že používá střední hodnotu penetrace oproti dnešnímu rozsahu spodní a horní hranice penetrace (např. 50/70).[1]

2.1.3. Požadavek na Marshallovu stabilitu

Velkou část této normy tvoří také zjišťování fyzikálně-mechanických vlastností pomocí Marshallovy zkoušky, která se v dnešní době neprovádí, respektive pro ni nejsou stanoveny žádné technické požadavky. V praktické části této práce byla zkouška provedena a výsledek byl porovnán s posledními dostupnými technickými normami, které požadavek na hodnotu Marshallovy stability uvádějí.[1][2]

a)	zhuťňovací práce (počet úderů)	2 x 50
b)	stabilita - SM nejméně (kN)	7,0
c)	hodnota přetvoření - PM (10^{-1} mm)	20 až 45
d)	míra tuhosti - TM^2	20 až 35
e)	mezerovitost ³⁾⁵⁾ - M určená v rozpouštědle	3 až 6 (8)
	(% objemu)	
	M určená ve vodě	
	(% objemu)	2 až 5 (7)
f)	nasákavost - N^4 nejvíce (% objemu)	4

²⁾ $TM = (SM/PM) * 100$, nejvyšší přístupné mezní hodnoty jsou stanoveny jen pro obrusné vrstvy. Pro ložní vrstvy AB jsou závazné jen minimální hodnoty

³⁾ Hodnoty (7) a (8) platí pro AB ložních vrstev

⁴⁾ N - závazné jen pro obrusné vrstvy

⁵⁾ Při rozporu jsou rozhodující výsledky měření v rozpouštědle

Tabulka 1 - FYZIKÁLNĚ MECHANICKÉ VLASTNOSTI STAVEBNÍ SMĚSI ZJIŠŤOVANÉ PODLE MARSHALLOVY ZKOUŠKY [1]



2.1.4. Kamenivo

Pro asfaltový beton bylo používáno přírodní hutné kamenivo:

- drcené hrubé třídy Ib (IPb) podle ČSN 72 1513
- drcené drobné třídy Ib, IIc podle ČSN 72 1513
- těžené drobné třídy Ic (IPc) podle ČSN 72 1512

Čistotu kameniva, stanovenou uvedenými normami pro jednotlivé druhy a frakce bylo možné ověřovat na celkové směsi kameniva, před přidáním kamenné moučky.[1]

Norma stanovila, že volba frakcí kameniva se řídí tloušťkou asfaltového betonu. Horní mez nejhrubší frakce použitého kameniva nesměla být větší než 2/3 tloušťky vrstvy po ztuhnutí. V dnešní době je pro danou směs s určeným maximálním zrnem tloušťka vrstvy po ztuhnutí stanovena fixně s horní a dolní mezí. Zároveň je stanoveno, že frakce kameniva se použily tak, aby směs měla plynulou čáru zrnitosti, což platí i pro nové předpisy.[1][2]

Označení kontrolního síta (se čtvercovými oky)	Hrubozrný		Jemnozrný		Pískový tl. 2 až 4 cm
	tl. 4 až 6 cm ¹⁾	tl. 3 až 5 cm	tl. 2 až 4 cm	tl. 2 až 4 cm	
Propad zrn v % hmotnosti (váhy)					
32	100	-	-	-	-
22	95 až 100	100	-	-	100
16	82 až 100	95 až 100	100	-	95 až 100
11	70 až 90	78 až 100	95 až 100	100	90 až 100
8	59 až 80	64 až 87	80 až 100	95 až 100	85 až 100
6	-	-	-	77 až 100	-
4	42 až 63	45 až 66	55 až 75	64 až 85	75 až 100
2	30 až 50	33 až 54	38 až 60	43 až 65	65 až 80
1	21 až 44	23 až 47	27 až 52	29 až 55	52 až 72
.05	14 až 37	15 až 39	18 až 45	18 až 46	39 až 60
.025	9 až 28	10 až 30	11 až 34	11 až 34	26 až 46
.0125	6 až 16	7 až 18	7 až 20	7 až 20	13 až 27
.009	5 až 10	6 až 12	6 až 12	6 až 12	7 až 15
Orientační obsah asfaltu v % hmotnosti	6 až 7,5	6,5 až 7,5	7 až 8	7,5 až 8,5	7 až 9

¹⁾ Lze použít pouze pro ložní vrstvu

Tabulka 2 - ZRNITOST KAMENIVA A OBSAH ASFALTU PRO ASFALTOVÝ BETON [1]

Z této tabulky lze vyčíst, že dávkování asfaltového pojiva bylo značně vyšší, než je v dnešní době, kde máme omezení minimálního obsahu pojiva pro např. ACP 22+ 4,1 %.[2]



2.1.5. Fyzikálně-mechanické vlastnosti

Fyzikálně-mechanické vlastnosti se určovaly dvěma způsoby. Buď na válečkových tělesech a průměru a výšce 50,5 mm; 71,4 mm; 101,0 mm nebo podle Marshallovy zkoušky, která byla prováděna dle ČSN 73 6160 z roku 1959. Požadavky na směsi jsou popsány v následujících tabulkách:[1]

a) Pevnost v tlaku v kp/cm^2 při 50°C (R_{50}) zkoušená na válečkových tělesech o průměru a výšce: 50,5 mm nejméně ²⁾	12
71,4 mm nejméně ²⁾	10
101,0 mm nejméně ²⁾	8
b) Koeficient teplotní citlivosti R_{20}/R_{50} nejvýše	3
c) Pevnost po nasycení vodou $R_{20,n}$ nejméně	0,9 R_{20}
d) Mezerovitost v % objemu	2 až 5
e) Nasákavost v % objemu nejvýše	3
f) Bobtnání v % objemu nejvýše	0,5

Zkouší se podle ČSN 73 6160 s tím rozdílem, že zkoušky předepsané při 22°C (v ČSN 73 6160 z 15.4.1959) se provádějí při 20°C

²⁾ Na vozovkách s intenzivním provozem těžkých vozidel (např. autobusů a trolejbusů) vyšším než 400/24 h v jednom směru, musí být nejmenší pevnost v tlaku vyšší o 2 kp/cm^2 .

Tabulka 3 - FYZIKÁLNĚ MECHANICKÉ VLASTNOSTI STAVEBNÍ SMĚSI ZJIŠŤOVANÉ NA VÁLČEKOVÝCH TĚLESECH [1]

a) Stabilita v kp nejméně	700
b) Mezerovitost v % objemu	2 až 6
c) Hodnota přetvoření v 1/10 mm nejvýše ²⁾	40
d) Nasákavost v % objemu nejvýše ²⁾	4
e) Bobtnání v % objemu nejvýše ²⁾	0,7

Zkouší se podle ČSN 73 6160 (revize ČSN 73 6160 z 15.4.1959)

²⁾ Hodnoty jsou pouze informativní

Tabulka 4 - FYZIKÁLNĚ MECHANICKÉ VLASTNOSTI STAVEBNÍ SMĚSI ZJIŠŤOVANÉ PODLE ZKOUŠKY MARSHALLOVY [1]



2.1.6. Výroba, rozprostírání a hutnění asfaltových směsí

Kamenivo muselo mít při obalování živici takovou teplotu, aby hotová směs po vypuštění z obalovací soupravy měla teplotu 100 °C až 175 °C podle druhu použitého asfaltu. Živice se ohřívala na teploty v mezních hodnotách uvedených v tabulce 5.[1]

Druh živice	Pracovní teploty pro obalování v °C ¹⁾	
	nejméně	nejvýše
Asfalt silniční ropný A 200	110	145
Asfalt silniční ropný A 80	145	180
Asfalt silniční ropný A 65	150	185

¹⁾ Na vyšší teploty v mezích tabulky se živice ohřívá při teplotě ovzduší blížíící se spodní hranici +5°C popř. +20°C tak, aby směs byla na staveništi dobře zpracovatelná

Tabulka 5 - PRACOVNÍ TEPLITY ŽIVIC

Teplota stavební směsi při rozprostírání byla stanovena na nejméně 95 °C při použití pojiva A 200, 135 °C při použití asfaltu A 80 a 145 °C při použití asfaltu A 65. Tyto hodnoty přibližně odpovídají požadovaným teplotám při rozprostírání dnes, s rozdílem, že nyní je více specifikací na teploty dle tloušťky vrstvy a typu směsi. Pokládka byla možná pokud teplota ovzduší byla nejméně +5 °C a zároveň teplota vzduchu za posledních 24 hodin neklesla pod 3 °C.[1]

Při hutnění bylo nutno použít takových prostředků a technologického postupu, aby objemová hmotnost ztuhlého asfaltového betonu byla nejméně 97 % obj. hmotnosti dosažené v laboratoři při zkušební metodě podle Marshalla a 95 % při zkušební metodě na válečcích. Požadavky na teploty při hutnění tato norma nestanovuje.[1]

ČSN 73 6148 z roku 1967 neobsahuje žádné směsi s velikostí zrna větší než 22 mm, jejichž vlastnosti by se mohly zohlednit v praktické části.



2.2. Asfaltový beton pro kryty vozovek ČSN 73 6149 (16.09.1983)

Tato norma platila pro navrhování, výrobu a kladení ložných a obrusných vrstev vozovek z asfaltového betonu a nahradila ČSN 73 6148 z roku 1967.[3]

Uvedla změnu v rozdělování asfaltových betonů římskými číslicemi I. II. a III., které určovaly jakost směsi podle nejnižší přípustné hodnoty stability dle Marshalla a dalších charakteristik uvedených v tabulce č. 9. Tloušťka vrstvy se uváděla v milimetrech a při asfaltovém souvrství asfaltového betonu stejné jakosti bylo možné obě tloušťky vrstev zapsat s lomenou čarou. Vícevrstvé kryty různých kvalit se uváděly v jednom řádku v pořadí od spodní vrstev k horní obrusné vrstvě krytu.[3]

2.2.1. Značení asfaltového betonu

Příklad označení dvouvrstvého asfaltového betonu jakosti II. se spodní vrstvou o tloušťce 60 mm a vrchní vrstvou tloušťky 50 mm:

AB II – 60/50 ; ČSN 73 6149 [3]

Zároveň bylo možno označení směsi dále specifikovat podle použitých mezních čar zrnitosti uvedených v tabulce č. 7 písmenem H – hrubozrný, S – střednězrný, J – jemnozrný, anebo ABL – asfaltový beton na ložní vrstvy nebo PAB – protismykový asfaltový beton.[3]

Příklady podrobnějšího označení:

- Hrubozrný asfaltový beton jakosti I v tloušťce vrstvy 50 mm.

ABH I – 50 ; ČSN 73 6149 [3]

- Asfaltový beton ložné vrstvy jakosti II v tloušťce vrstvy 60 mm, kryt protismykový asfaltový beton kvality I v tloušťce vrstvy 50 mm.

ABL II – 60 ; PAB I – 50 ; ČSN 73 6149 [3]

2.2.2. Asfaltová pojiva

Na obalování kameniva asfaltového betonu se stále používal ropný silniční asfalt se značením A 80 a A 65 dle ČSN 65 7201 anebo polofoukaný silniční asfalt AP 80, AP 65 a AP 45 podle ČSN 65 7206. Změna nastala v používání silničního asfaltu s vysokou střední hodnotou penetrace A 200, který od této normy mohl být použit na kryty s dopravním zatížením D až G v horských oblastech s průměrnou roční teplotou nižší než +6 °C nebo na kryty dopravního zatížení skupiny C.[3]



2.2.3. Kamenivo

Na asfaltový beton na kryty vozovek dopravního zatížení skupiny A a B se muselo použít:[3]

- Hutné drcené kamenivo třídy N I – ČSN 72 1513
- Hutné těžené drobné, hutné těžené drobné předrcené a hutné těžené drobné drcené kamenivo třídy N I – ČSN 72 1513
- Hutné drcené hrubé kamenivo třídy N I – ČSN 72 1513. Na obrusné vrstvy se používalo hutné drcené hrubé kamenivo se zvýšenými technickými požadavky dle tabulky č. 6
- Drobné těžené kamenivo frakce 0 – 4 muselo mít ekvivalent písku nejméně 70 dle zkoušky dle ČSN 72 1173

Na asfaltové betony na kryty vozovek dopravního zatížení skupiny C až G se mohlo použít kamenivo uvedené výše a třídy N II. Na obrusné vrstvy krytů vozovek dopravního zatížení C se použilo hutné drcené hrubé kamenivo, se zvýšenými technickými požadavky dle tabulky č. 6. Na protismykový asfaltový beton obrusných vrstev bylo použité hutné drcené kamenivo frakce 8 – 16 se zvýšenými požadavky podle intenzity dopravního ruchu a skupiny dopravního zatížení (tabulka č. 6). Na rozdíl od předešlé normy ČSN 73 6148 z roku 1967, tato norma specifikuje zvýšené technické požadavky na kamenivo do asfaltového betonu obrusných vrstev na ohladitelnost, otlukovost, úbytek hmotnosti a tvarovost (dnes označeno jako tvarový index).[3]

Druh komunikace	skupina dopravního zatížení	Požadované hodnoty			
		Ohladitelnost "f _{ok} " nejméně	Otlukovost "K _o " nejvíce	Úbytek hmonosti "Q ₂₅ " nejvíce	Tvarovost "b ₁₃ " nejvíce
Obrusné vrstvy krytů dálnic, hlavních silnic, mostů, rychlostních městských komunikací, křižovatek a zastávek MHD	A	0,50	25	3,5	30
	B	0,48	30	4,0	30
Obrusné vrstvy krytů vozovek ostatních cest a místních komunikací	C až G	0,45	30	5,0	35
Na protismykový asfaltový beton obrusných vrstev vozovek s intenzitou dopravy za 24 h v obou směrech					
nad 7 000 j. v.		0,55	20	3,0	25
od 5 000 do 7 000 j. v.		0,50	25	3,5	30
od 3 000 do 5 000 j. v.		0,45	30	4,0	35

Tabulka 6 - ZVÝŠENÉ TECHNICKÉ POŽADAVKY NA KAMENIVO DO ASFALTOVÉHO BETONU OBRUSNÝCH VRSTEV [3]



2.2.4. Asfaltobetonová směs

Na asfaltový beton jakosti I a II se muselo používat hrubé drcené kamenivo. Na asfaltový beton jakosti III byla možnost přidat i drcené těžené hrubé kamenivo. Velikost největšího kamenného zrna nesměla překročit $\frac{1}{2}$ tloušťky vrstvy směsi po zhutnění. Frakce kameniva se navrhovaly tak, aby výsledná čára zrnitosti měla hodnoty v mezích určené tabulkou č. 7. [3]

Označení sít	Propad zrn v % hmotnosti podle typu směsi a hloubky vrstvy AB ¹⁾ v mm					
	ABL 50 až 90	ABH (50 až 90) 50 až 70	PAB s čarou zrnitosti		ABS 40 až 50	ABJ ²⁾ 40 až 50
			plynulou	přerušovanou		
			40 až 60			
32	100	-	-	-	-	-
22	92 až 100	100	100	100	-	-
16	70 až 95	90 až 100	95 až 100	95 až 100	100	-
11	56 až 81	71 až 95	76 až 98	70 až 92	90 až 100	100
8	46 až 72	52 až 80	52 až 75	46 až 69	70 až 90	85 až 100
4	29 až 57	31 až 62	31 až 52	36 až 57	42 až 68	53 až 80
2	18 až 46	20 až 50	22 až 44	27 až 47	24 až 52	30 až 62
1	11 až 35	12 až 38	11 až 35	19 až 39	17 až 40	20 až 48
.05	7 až 25	7 až 27	8 až 28	10 až 31	10 až 30	10 až 34
.025	5 až 16	5 až 18	7 až 21	7 až 23	6 až 21	7 až 25
.0125	4 až 11	4 až 12	6 až 14	6 až 17	4 až 14	4 až 16
.009	3 až 9	3 až 10	5 až 11	5 až 11	3 až 11	3 až 12
¹⁾ V závorce jsou uvedené přípustné tloušťky pro asfaltový beton ložné vrstvy krytu ²⁾ Jemnozrný asfaltový beton se může použít jen na kryty vozovek dopravního zatížení D až G. V odůvodněném případě, např. v konstrukci mostové vozovky, na kryty vozovek účelových a místních, málo zatížených vozovek, na chodníky pro pěší apod. se může pokládat i v tloušťce 30 mm						

Tabulka 7 - ZRNITOST SMĚSI KAMENIVA NA ASFALTOVÝ BETON [3]



Dále jsou určeny podrobnější požadavky na mezerovitost směsi kameniva v asfaltovém betonu podle typu směsi a místě použití v konstrukci vozovky a stupeň vyplnění mezer.[3]

Sledovaná vlastnost	Typ směsi AB	Použití v konstrukci vozovky	
		obrusná vrstva	ložná vrstva
Minimální mezerovitost směsi kameniva v asfaltovém betonu Mk v % objemu	ABJ	18	-
	ABS	17	17
	ABH	16	16
	PAB	16	-
	ABL	-	15
Stupeň vyplnění mezer asfaltem Sv v %		72 až 82	60 až 70
1) Mk a Sv jsou informativní (nezávazné) hodnoty			

Tabulka 8 - MEZEROVITOST ZHUTNĚNÉ KAMENNÉ SMĚSI A STUPEŇ VYPLNĚNÍ MEZER ASFALTEM [3]

2.2.5. Fyzikálně-mechanické vlastnosti

Norma uvedla také větší požadavky na fyzikálně mechanické vlastnosti oproti normě, kterou nahrazuje, kde rozdělila jednotlivé specifikace dle jakosti asfaltového betonu. Přidala také veličiny jako příčný tah a teplotní citlivost viz. tabulka č. 9.

Předepsaný ukazatel		Jednotka měření	Asfaltový beton		
			AB I	AB II	AB III
Zhutňovací práce dle Marshalla		počet úderů	2 X 75	2 X 75	2 X 50
Stabilita – SM nejméně		kN	9,0	7,0	5,0
Hodnota přetvoření – PM		10 ⁻¹ mm	23 až 40	20 až 45	20 až 45
Míra tuhosti – TM ¹⁾		-	25 až 40	20 až 35	20 až 45
Mezerovitost určená ²⁾⁶⁾	v rozpouštědle – M	% objemu	3 až 6	(8)	3 až 7 (8)
	ve vodě - \bar{M}		2 až 5	(7)	2 až 6 (7)
Nasákavost – N nejvíce		% objemu	3	4	5
Příčný tah Rp nejméně		Mpa	3,1	2,7	2,3
Teplotní citlivost KT nejvíce ⁴⁾⁵⁾		-	4	4	4
<p>1) $TM = (SM/PM) * 100$, největší přípustné mezní hodnoty jsou stanovené jen pro obrusné vrstvy. Pro ložné jsou závazné jen minimální hodnoty</p> <p>2) Hodnoty (7) a (8) platí pro AB ložných vrstev</p> <p>3) N - závazné pro obrusné vrstvy</p> <p>4) Rp a KT jsou informativní nezávazné hodnoty</p> <p>5) $KT = SM(20^{\circ}C)/SM(60^{\circ}C)$</p> <p>6) V rozporu jsou rozhodující výsledky měření v rozpouštědle</p>					

Tabulka 9 - FYZIKÁLNĚ – MECHANICKÉ VLASTNOSTI [3]



2.2.6. Výroba, rozprostírání a hutnění asfaltových směsí

Norma stanovila požadavky na míchání asfaltobetonových směsí v obalovně, která musela být opatřena výkonným sušícím a vyhřívacím zařízením na kamenivo s třídičem, zásobníky na horké kamenivo a asfalt s dávkovacím zařízením, které umožnilo dodržet výrobní předpis a předepsanou jakost. Teplota kameniva nesměla překročit teplotu asfaltu. Orientační teploty jsou uvedené v tabulce č. 10.[3]

Druh asfaltu	Nejnižší teplota ovzduší, °C	Obalovací teploty, °C	
		asfaltu	kameniva
A 200	+ 3 °C	125 až 165	115 až 155
A 80, AP 80	+ 5 °C	145 až 175	135 až 165
A 65, AP 65	+ 10 °C	150 až 180	140 až 170
AP 45	+ 10 °C	160 až 195	150 až 185

Pracovní teploty asfaltu a kameniva na navrhované směsi se rámcově určí ve stavebním deníku před započítáním prací. Podle počasí se upřesní pracovní teploty, přičemž se zohlední teplota vzduchu, dopravní vzdálenost a tloušťka kladené vrstvy

Tabulka 10 - PRACOVNÍ TEPLITY PŘI OBALOVÁNÍ [3]

Směs se měla rozprostírat strojně, jen s výjimkami ručně, na suchý nebo nejvýše zavlhlý podklad do předepsaného profilu při teplotě vzduchu nejméně +5 °C ve stínu při kladení ložných vrstev, popř. +10 °C při kladení obrusných vrstev. Teplota za posledních 24 hodin před pokládkou nesměla klesnout pod 0 °C. Teploty pro rozprostírání směsí nesměly klesnout pod minimální hodnoty určené v tabulce č. 11.[3]

Druh použitého asfaltu	Nejnižší přípustná teplota směsi, °C při tloušťce vrstvy v mm	
	40 až 70	nad 70
A 200	110	100
A 80, AP 80	130	110
A 65, AP 65	145	125
AP 45	160	140

Tabulka 11 - PRACOVNÍ TEPLITY PŘI ROZPROSTÍRÁNÍ ASFALTOBETONOVÉ SMĚSI

Při zhutňování se musely použít účinné mechanismy a technologické postupy. Míra zhutnění nesměla být v průměru nižší než 97 %, nejméně však 96 %. Počet naměřených hodnot mezi 96 % a 97 % nesměl být vyšší než 20 % z celkového počtu měření. Tento požadavek platí i dnes pro nedestruktivní měření míry zhutnění. Na vývrtech nebo výsekách může být minimální míra zhutnění 96 %.[2][3]

Tato norma neobsahuje a nespecifikuje žádné požadavky na směsi s větším zrnem než 22 mm, které by mohly být zohledněny v praktické části.[3]



2.3. Asfaltový beton pro kryty vozovek ČSN 73 6149 (06.05.1991)

Tato norma platí pro navrhování, výrobu a pokládku ložných a obrusných vrstev krytů vozovek asfaltového betonu. Nahrazuje ČSN 73 6149 z roku 1983 a nabyla účinnosti 1.5.1992.[4]

2.3.1. Značení asfaltového betonu

Značení směsí je ekvivalentní jako v normě předešlé. Stále se asfaltové betony rozdělovaly dle jakosti na I. II. a III. podle nejnižší přípustné hodnoty stability dle Marshalla a dalších charakteristik, zkoušených na vzorkách zhotovených dle podmínek předepsané zkoušky. Tloušťka vrstvy se uváděla v milimetrech a při asfaltovém souvrství asfaltového betonu stejné jakosti bylo možné obě tloušťky vrstev zapsat s lomenou čarou. Stejně jako v předešlé normě bylo možno upřesnit typ směsi dle použitých mezních čar zrnitosti písmenem H – hrubozrný, S – střednězrný, J – jemnozrný anebo ABL – asfaltový beton pro ložné vrstvy nebo PAB – protismykový asfaltový beton. Příklady značení viz. 2.2.1. [4]

2.3.2. Asfaltová pojiva

Na obalování směsi kameniva asfaltového betonu norma stále specifikovala silniční ropné asfalty A 80 a A 65 podle ČSN 65 72101 anebo polofoukané silniční asfalty AP 80, AP 65 a AP 45 dle ČSN 65 7206. Rozdíl je v zařazení asfaltu AP-130, který se mohl používat na kryty vozovek dopravního zatížení skupiny D až G a jakosti asfaltového betonu II a III. V horských oblastech se stále mohlo používat pojivo A 200. [4]

Pravděpodobně nejdůležitější změna nastala v zařazení R-materiálu do směsí. Norma stanovila, že při použití R-materiálu se musel přidat takový asfalt (popř. přísady), aby penetrace výsledného pojiva vyhovovala požadované penetraci při +25 °C. Při použití více než 25 % R-materiálu z výsledné směsi asfaltového betonu se musela stanovit penetrace a bod měknutí starého pojiva. [4]

2.3.3. Kamenivo

Na výrobu asfaltového betonu na kryty vozovek AB I se používalo:

- a) Drobné hutné drcené kamenivo, hutné těžené a hutné těžené předrcené třídy A nebo B podle ČSN 72 1512:1990. Drobné těžené kamenivo frakce 0-4 musel mít ekvivalent písku nejméně 70. [4]
- b) Hrubé kamenivo hutné drcené
 - třídy A nebo B dle ČSN 72 1512:1990 do ložných vrstev
 - třídy A dle ČSN 72 1512:1990 s doplňujícími a upřesňujícími technickými požadavky na hrubé kamenivo podle tabulky č. 12 do obrusných vrstev
- c) R-materiál (jen pro ložné vrstvy) [4]



Na výrobu asfaltového betonu na kryty vozovek AB II a AB III se používalo:

- a) Drobné hutné drcené kamenivo, hutné těžené a hutné těžené předrcené třídy A, B nebo C podle ČSN 72 1512:1990. Drobné těžené kamenivo frakce 0-4 musel mít ekvivalent písku nejméně 70. [4]
- b) Hrubé kamenivo hutné drcené
 - třídy A, B nebo C dle ČSN 72 1512:1990 do ložných vrstev
 - třídy A nebo B pro AB II a třídy A, B nebo C pro AB III dle ČSN 72 1512:1990 s doplňujícími a upřesňujícími technickými požadavky na hrubé kamenivo podle tabulky č. 12 do obrusných vrstev [4]
- c) Pokud upravená asfaltová směs vyhověla požadavkům na maximální velikost stmelených částic, mohl se využít R-materiál širokých frakcí zrnitosti. [4]

Kvalita AB	Třída kameniva podle ČSN 72 1512:1990 min.	Vyhladitelnost f_{ok} min.	Otlukovost K_o max. (%)	Odolnost proti mrazu Q_{m25} max. (%)	Podíl zrn s tvarovým indexem $b_i = 3$ max. (%)
AB I	A	0,50	25	3,0	25
AB II	B	0,48	30	4,0	35
AB III	C	0,45 ²⁾	35 ³⁾	5,0	40
Protismykový asfaltový beton kvality AB I a AB II do obrusných vrstev krytů vozovek ve skupině dopravního zatížení ⁴⁾					
A, B		0,55	20	3,0	25
C, D		0,5	25	3,5	30
Zkouška dle ČSN		72 1182	72 1175	71 1176	72 1172

¹⁾ Všechny vlastnosti se zkoušejí na frakci 8-16

²⁾ Doplňující technický požadavek, které ČSN 72 1512:1990 pro hrubé kamenivo třídy C nepředepisuje

³⁾ Upřesňující technický požadavek, které ČSN 72 1512:1990 pro hrubé kamenivo třídy C předepisuje max. 40 %

⁴⁾ Zařazení vozovek pozemních komunikací do skupin A až G podle dopravního zatížení určují Typizované směrnice Katalog tuhých a netuhých vozovek pozemních komunikací

Tabulka 12 - DOPLŇUJÍCÍ A UPŘESŇUJÍCÍ TECHNICKÉ POŽADAVKY NA HRUBÉ KAMENIVO DO ASFALTOVÉHO BETONU OBRUSNÝCH VRSTEV [4]



Norma také poprvé specifikovala přípustné množství přidávaného vratného fileru do obrusných vrstev z AB I a AB II a do ložných vrstev vozovek na dálnicích rychlostních komunikací, kde se vratná kamenná moučka mohla přidávat v takovém množství, aby podíl fileru z vratné moučky ve směsích AB nepřekročil v množství stanovené v tabulce č. 13. [4]

Jakost směsí a účel použití	Na obrusné vrstvy max %	Na ložné vrstvy max %
AB I (AB II) na dálnice a rychlostní komunikace	15	50
AB I	30	až 100
AB II	50	až 100
AB III	až 100	až 100

Tabulka 13 - PŘÍPUSTNÉ MNOŽSTVÍ PŘIDÁVANÉHO VRATNÉHO FILERU [4]

2.3.4. Asfaltobetonová směs

Směs kameniva se sestavila z kamenné moučky, drobného a hrubého drceného kameniva, drobného těžného kameniva a drobného těžného kameniva předrceného. Velikost největšího kamenného zrna nesměla překročit $\frac{1}{2}$ tloušťky vrstvy směsi po zhutnění. Směs musela být navržena, aby výsledná čára zrnitosti spadala do předepsaných mezí zrnitosti kameniva. V této normě jsou meze zrnitosti kameniva stejné jako s normou předešlou. [4]

Pro návrh asfaltobetonové směsi se muselo použít drobné kamenivo jen drcené nebo kombinace drceného a těžného pod podmínkou, že obsah drceného bude převládat nad těžným. Požadavky na mezerovitost a stupeň vyplnění mezer asfaltem jsou stanovené jako informativní hodnoty v tabulce č. 14. Použití R-materiálu bylo omezeno horní mezí dle typu směsi a druhu konstrukční vrstvy a je popsáno v tabulce č. 15.[4]

Sledovaná vlastnost	Typ směsi AB	Použití v konstrukci vozovky 2)	
		obrusná vrstva	ložná vrstva
Minimální mezerovitost směsi kameniva v asfaltovém betonu Mk v % objemu	ABJ	18 (17)	-
	ABS	17 (16)	17 (16)
	ABH	16 (15)	16 (15)
	PAB	16 (15)	-
	ABL	-	15 (14)
Stupeň vyplnění mezer asfaltem Sv v %	AB I a	72 až 82	60 až 70
	AB II	(72 až 84)	(58 až 72)
	AB III	76 až 84 (74 až 86)	60 až 72 (58 až 74)
Mk a Sv jsou informativní (nezávazné) hodnoty			
2) Hodnoty v závorkách jsou určeny na výsledky kontrolních zkoušek			

Tabulka 14 - MEZEROVITOST ZHUTNĚNÉ KAMENNÉ SMĚSI A STUPEŇ VYPLNĚNÍ MEZER ASFALTEM [4]



Typ směsi	Maximální obsah R-materiálu ve výsledné směsi AB v % hmotnosti	
	Obrusná vrstva	Ložná vrstva
AB I	-	40
AB II	25	40
AB III	40	50

Tabulka 15 - OBSAH R-MATERIÁLU VE VÝSLEDNÉ SMĚSI [4]

2.3.5. Fyzikálně – mechanické vlastnosti

Fyzikálně – mechanické vlastnosti asfaltového betonu se stále prokazovaly zkouškou podle Marshalla jako v předešlé normě. Požadované hodnoty předepsaných ukazatelů jsou uvedené v tabulce č. 16. [4]

Předepsaný ukazatel		Jednotka měření	Asfaltový beton		
			AB I	AB II	AB III
Zhutňovací práce dle Marshalla		počet úderů	2 X 75	2 X 50	2 X 50
Stabilita SM min		kN	9,0	7,0	5,0
Hodnota přetvoření PM		10 ⁻¹ mm	20 až 40	20 až 45	20 až 45
Míra tuhosti TM ¹⁾ min.		-	25	20	15
Mezerovitost v rozpouštědle M ²⁾	obrusné vrstvy	% objemu	3 až 5 (2 až 6)	3 až 5 (2 až 6)	2 až 5 (2 až 6)
	ložné vrstvy	% objemu	4 až 7 (3 až 8)	4 až 7 (3 až 8)	
Mezerovitost ve vodě M ²⁾	obrusné vrstvy	% objemu	2 až 5	2 až 6	
	ložné vrstvy	% objemu	2 až 7		
Nasákavost N max ³⁾		% objemu	4		
Příčný tah Rp min.		MPa	3,1	2,7	2,3
Teplotní citlivost KT max ⁴⁾⁵⁾		-	4		
<p>¹⁾ TM = (SM/PM) * 100, největší přípustné mezní hodnoty jsou stanovené jen pro obrusné vrstvy. Pro ložné jsou závazné jen minimální hodnoty</p> <p>²⁾ Hodnoty (7) a (8) platí pro AB ložných vrstev</p> <p>³⁾ N – závazné pro obrusné vrstvy</p> <p>⁴⁾ Rp a KT jsou infomativní nezávazné hodnoty</p> <p>⁵⁾ KT = SM (20°C)/SM (60°C)</p> <p>⁶⁾ V rozporu jsou rozhodující výsledky měření v rozpouštědle</p>					

Tabulka 16 - FYZIKÁLNĚ – MECHANICKÉ VLASTNOSTI [4]



2.3.6. Výroba, rozprostírání a hutnění asfaltových směsí

Pro výrobu asfaltových betonů jsou uvedeny stejné postupy jako v normě, kterou nahrazuje. Rozdíl nastal v požadavcích na teploty kameniva při obalování, které jsou popsány v tabulce č. 17. [4]

Dále norma určila postupy pro výrobu asfaltových směsí s R-materiálem, kde muselo být dodrženo, aby teplota výsledné směsi asfaltového betonu s R-mat. nepřekročila nejvyšší teploty pro obalování v závislosti na hodnotu penetrace výsledného pojiva, které jsou také určeny v tabulce č. 17. [4]

Druh asfaltu	Penetrace pojiva při 25 °C (penetrační jednotka)	Nejnižší teplota ovzduší (°C)	Obalovací teploty	
			Asfaltu	Kameniva
A 200	151–210	+3 °C	125 až 165	115 až 165
AP 130	101–150	+3 °C	135 až 170	125 až 170
A 80, AP 80	71–100	+5 °C	145 až 175	135 až 175
A 65, AP 65	51–70	+10 °C	150 až 180	140 až 180
AP 45	30–50	+10 °C	160 až 195	150 až 195

1. Při použití R-materiálu se zvyšuje teplota kameniva (max. do 250 °C)
2. Pracovní teploty asfaltů a kameniva na navrhované směsi se rámcově určí ve stavebním deníku před započítáním prací, přičemž se zohlední počasí, teplota vzduchu, dopravní vzdálenost a tloušťka pokládané vrstvy

Tabulka 17 - PRACOVNÍ TEPLoty PRO OBALOVÁNÍ [4]

Pro rozprostírání jsou kladeny stejné nároky jako u normy předešlé, kde bylo možno pokládat ložné vrstvy v teplotách nad +5 °C a obrusné vrstvy nad + 10 °C s tím, že teplota za posledních 24 h od pokládky nesměla klesnout pod 0 °C. Teplota asfaltobetonové směsi i s použitím R-materiálu při rozprostírání nesměla klesnout pod minimální hodnoty určené v tabulce č.18. Požadavky na hutnění asfaltobetonových směsí zůstávají beze změny od předešlé normy. [4]

Druh asfaltu	Penetrace pojiva při 25 °C (penetrační jednotka)	Nejnižší přípustná teplota směsi při tloušťce vrstvy (°C) ¹⁾	
		40 až 70 mm	nad 70 mm
A 200	151–210	110	100
AP 130	101–150	120	105
A 80, AP 80	71–100	130	110
A 65, AP 65	51–70	145	125
AP 45	30–50	160	140

¹⁾ Rozumí se teplota směsi za rozdělovacím vřetenem finišeru

Tabulka 18 - PRACOVNÍ TEPLoty PŘI ROZPROSTÍRÁNÍ ASFALTOBETONOVÉ SMĚSI [4]

Tato norma zároveň nezahrnuje žádné směsi s větším zrnem kameniva než 22 mm, které by mohly být zohledněny v praktické části.



2.4. Stavba vozovek – hutněné asfaltové vrstvy ČSN 73 6121 (červenec 1994)

ČSN 73 6121 z července 1994 je první česká norma pro vozovky hutněných asfaltových směsí od zániku Československa. Nahrazuje již zmíněnou ČSN 73 6149 z roku 1991 a zároveň ČSN 73 6146 *Koberce otevřené zrnitosti pro kryty vozovek* z 15.11.1967. [5]

Zavedla problematiku obalovaného kameniva, pískového koberce a obalovaného štěrkopísku, které převzala z jiných předpisů. Dále byly uvedeny asfaltové koberce a obalované kamenivo typu makadam. [5]

2.4.1. Značky a označování

Se přidáním mnoha směsí do technické normy se značně rozšířil seznam zkratk pro jejich označení viz. tabulka č. 19. Obecně stále platilo rozdělení do kvalitativních tříd I, II a III pro asfaltový beton, asfaltový koberec mastixový a obalované kamenivo s doplněním o zrnitost VJ – velmi jemné, J – jemnozrné, S – střednězrné, H – hrubozrné, VH – velmi hrubé a M – typu makadam. [5]

Druh vrstvy		Značka			
Asfaltový beton Asfaltový koberec Obalované kamenivo		AB AK OK			
Asfaltový koberec	mastixový drenážní tenký otevřený	AKM AKD AKT AKO			
Kamenivo podle zrnitosti		AB	AK		OK
velmi jemné – VJ			AKMVJ	AKTVJ	
jemnozrné – J		ABJ	AKMJ	AKDJ	AKOJ
střednězrné – S		ABS	AKMS	AKDS	AKOS
hrubozrné – H		ABH	AKMH	AKDH	AKOH
velmi hrubé – VH		ABVH			AKOVH
typu makadam – M					OKVH OKM
Kvalitativní třída vrstvy I, II, III		AB I AB II AB III	AKM I AKM II		OK I OK II

Tabulka 19 - ZNAČKY VRSTEV Z HUTNĚNÝCH ASFALTOVÝCH SMĚSÍ [5]

V technických dokumentacích se při označení uvádělo: značka vrstvy; tloušťka vrstvy v mm; číslo normy. Například pro asfaltový beton kvalitativní třídy II v tloušťce 60 mm:

ABH II; 60 mm; ČSN 73 6121 [5]



2.4.2. Kamenivo

Požadované kvalitativní parametry kameniva pro hutněné asfaltové směsi jsou uvedeny v tabulce 20. Podle typu vrstvy a druhu kameniva norma stanovila požadavky na třídu kameniva společně s ekvivalentem písku, součinitelem ohladitelnosti a mírou zahlinění pro drobné drcené kamenivo. [5]

Vrstva	Druh kameniva podle ČSN 72 1511	Min. třída kameniva podle ČSN 72 1512	Další požadavky
AB I AKM I AKD AKT	DDK	B	$MZ_{NV} = \max. 0,35$ ¹⁾ $MZ_{VB} = \max. 0,25$
	DTK	B	$EP = \min. 70$ ²⁾
	HDK	B	Pro obrusné vrstvy $f_{OK} = \min. 0,50$ ³⁾ ($f_{OK} = \min. 0,55$ pro AB I) ⁴⁾
AB II AB III AKM II AKO	DDK	C	$MZ_{NV} = \max. 0,35$ ¹⁾ $MZ_{VB} = \max. 0,25$
	DTK	C	$EP = \min. 70$ ²⁾
	HDK	B	Pro ložní a podkladní vrstvy $f_{OK} = \min. 0,48$ ³⁾ ($f_{OK} = \min. 0,50$ pro AB II) ⁴⁾
OK I	DDK, DTK	C	
	HDK, HTK	C	
	ŠP	B	
	ŠD	A	
OK II	DDK, DTK	C	
	HDK, HTK	D	
	ŠP, ŠD	B	
OKVH OKM	DDK HDK	C	

¹⁾ MZ – míra zahlinění drobného drceného kameniva podle přílohy B. Stanoví se metodou ztráty sušením (MZ_{NV}) nebo orientačně metylenovou modří (MZ_{VB}).
²⁾ EP – ekvivalent písku podle ČSN 72 1173.
³⁾ f_{OK} – součinitel ohladitelnosti kameniva podle ČSN 72 1182.
⁴⁾ Pouze pro úseky vozovek s požadavkem na zvýšenou odolnost proti smyku.

Tabulka 20 - KVALITATIVNÍ PARAMETRY KAMENIVA [5]

R-materiál nesměl obsahovat stmelené částice větší než 32 mm. Pokud byl R-mat. předem přehřátý, mohl obsahovat stmelené částice do velikosti 63 mm. [5]



2.4.3. Asfaltová pojiva

Pro výrobu asfaltových směsí se použil asfalt, který splňoval předpisy ČSN 65 7201 nebo ČSN 65 7206. Směsi těchto asfaltů s jinými (asfalty přírodní, obsažené v R-materiálu), modifikované asfalty, asfalty s přísadami nebo ze zahraničí bylo možno použít jen na základě provedených zkoušek a ověření jejich vlastností. Vhodné druhy asfaltů pro jednotlivé druhy směsí byly určeny dle tabulky 21. [5]

Druh asfaltové směsi	Druh asfaltu				
	45	65	80	130	200
AB I, AKM AKT, AKO, AKD	+	+	+		
AB II, AB III OK I, OK II OKVH, OKM	+	+	+	+ ¹⁾	+ ¹⁾ ²⁾
¹⁾ Jen pro třídu dopravního zatížení V a VI. ²⁾ Jen pro horské oblasti.					

Tabulka 21 - VHODNÉ DRUHY ASFALTU PRO ASFALTOVÉ SMĚSI [5]

Při použití více než 25 % hmotnosti R-materiálu v asfaltové směsi bylo potřeba přidat takový druh asfaltu, popř. přísady, aby výsledná penetrace směsi odpovídala druhům asfaltu uvedených v tabulce 21. [5]

2.4.4. Stavební směs

Stejně jako u všech předchozích tato norma stanovila, že směs kameniva se musela skládat z jednotlivých frakcí kameniva, kamenné moučky a popř. kameniva R-materiálu tak, aby finální čára zrnitosti v průkazních zkouškách ležela uvnitř oborů zrnitosti. Došlo k menší úpravě oborů zrnitosti pro asfaltový beton střednězrný oproti předchozí normě, ostatní směsi zůstaly beze změny. [5]

Označení síta	Propad zrn v % hmotnosti ¹⁾			
	ABJ	ABS	ABH	ABVH
32				100
22			100	92–100
16		100	90–100	70–95
11	100	85–100	71–95	56–81
8	85–100	70–90	52–80	46–72
4	53–80	42–68	31–62	29–57
2	30–62	24–52	20–50	18–46
1	20–48	17–40	12–38	11–35
05	10–34	10–30	7–27	7–25
025	7–25	6–21	5–18	5–16
0125	4–16	4–14	4–12	4–11
009	3–12	3–11	3–10	3–9

¹⁾ Drobné kamenivo pro AB I a AB II se použije buď v celém rozsahu drcené nebo se použije směs drceného a těžného kameniva, přičemž drceného kameniva musí být více než polovina množství drobného kameniva.

Tabulka 22 - OBORY ZRNITOSTI KAMENIVA ASFALTOVÉHO BETONU [5]



Tato norma je první a zároveň jediná norma na hutněné asfaltové vrstvy, která uvádí asfaltové směsi obsahující větší zrno kameniva než 22 mm, konkrétně obalované kamenivo hrubozrnné, obalované kamenivo velmi hrubé a obalované kamenivo typu makadam. Jejich obory zrnitosti jsou vyznačené v tabulce 23. [5]

Označení sítá	Propad zrn v % hmotnosti				
	OKJ	OKS	OKH	OKVH	OKM
63			100	100	100
45			90–100	90–100	90–100
32		100	70–100	40–100	40–100
22		90–100	55–100	25–60	20–65
16	100	76–100	45–85	20–50	10–35
11	90–100	64–100	35–70	15–40	7–28
8	80–100	53–100	23–50	10–28	5–20
4	61–100	34–80	15–40	8–19	4–15
2	46–96	24–67	12–30	7–14	
1	31–88	16–55	11–43	5–10	
05	18–78	11–43	9–25		
025	10–59	7–30	6–20		
0125	7–34	5–18	4–15		
009	5–18	4–10	3–10	2–8	1–3

Tabulka 23 - OBORY ZRNITOSTI SMĚSI KAMENIVA OBALOVANÉHO KAMENIVA [5]

Jelikož směsi s obsahem kameniva s větším zrnem než 22 mm jsou předmětem této práce, budou tyto meze zároveň zohledněny v návrhu asfaltové směsi praktické části. Konkrétně při návrhu čáry zrnitosti ACP 32 budou uvedeny meze zrnitosti pro OKH. Je také stanoveno, že rozsah tloušťky pokládané vrstvy OKH je 50 – 150 mm, což bude také zohledněno v praktické části v úseku pokládky ACP 32.

Nejvyšší přípustný obsah R-materiálu do asfaltových betonů zůstává stejný, byly pouze doplněny požadavky na maximální obsah R-mat. pro asfaltové koberce a obalované kamenivo viz. tabulka 24. [5]

Druh asfaltové směsi	Vrstva		
	obrusná	ložní	podkladní
AKM, AKD, AKT	–	–	–
AB I	–	40	–
AB II	25	40	–
AB III, OK I	40	50	60
AKO	20	20	20
OKVH, OKM	–	20	20
OK II	–	–	70

Tabulka 24 - NEJVYŠŠÍ PŘÍPUSTNÝ OBSAH R-MATERIÁLU V % HMOTNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI [5]



2.4.5. Fyzikálně – mechanické vlastnosti

Fyzikálně mechanické vlastnosti se stále prokazovaly Marshallovou zkouškou dle ČSN 73 6160 a zjištěné hodnoty musely splňovat požadavky uvedené v tabulkách 25 a 26. Pro AKO, OKVH a OKM se prokázání fyzikálně mechanických vlastností nepožadovalo. [5]

Parametr		Rozměr	Vrstva			
			AB I	AB II	AB III	AKT
Zhutňovací práce podle Marshallovy zkoušky		počet úderů	2 × 75	2 × 50	2 × 50	2 × 50
Stabilita <i>SM</i> min.		kN	9,0	7,0	5,0	5,0
Přetvoření <i>PM</i>		10 ⁻¹ mm	20–40 ¹⁾	20–45 ¹⁾	20–45	20–45 ²⁾
Mezerovitost v rozpouštědle	obrusné vrstvy	% objemu	3–5		2–5	3–5 ³⁾
	ložní vrstvy	% objemu	4–7			–
Mezerovitost ve vodě	obrusné vrstvy	% objemu	2–5			2–5 ³⁾
	ložní vrstvy	% objemu	3–7			–
Nasákavost <i>N</i> max. ⁴⁾		% objemu	4			–
Mezerovitost zhutněné směsi kameniva nejméně ⁵⁾		maximální velikost zrna (mm)				
			8	11	16	22
			16,5	15,5	14,5	13,5

1) Při použití modifikovaných asfaltů, modifikačních přísad o stabilitě nad 15 kN se připouští přetvoření do 60 · 10⁻¹ mm.
2) Při použití modifikovaných asfaltů, modifikačních přísad se přetvoření připouští do 60 · 10⁻¹ mm.
3) Mezerovitost je povolena až do 10 % za předpokladu, že součinitel poklesu stability při krátkodobé jednodenní zkoušce podle ČSN 73 6160 je min. 0,75.
4) Hodnoty nasákavosti jsou závazné jen pro obrusné vrstvy.
5) Platí při návrhu směsi metodikou ve vodě jen pro AB.

Tabulka 25 - FYZIKÁLNĚ-MECHANICKÉ VLASTNOSTI AB A AKT [5]

Parametr		Rozměr	OK I	OK II
Zhutňovací práce podle Marshallovy zkoušky		počet úderů	2 × 50	2 × 50
Stabilita <i>SM</i> min.		kN	5,0	3,0
Přetvoření <i>PM</i>		10 ⁻¹ mm	15–40	15–45
Mezerovitost <i>M</i> stanovená	v rozpouštědle	% objemu	4–10 ¹⁾	4–12
	ve vodě		4–9 ¹⁾	4–11

1) Pro OK I do obrusné vrstvy musí být horní mez hodnoty *M* snížena o 3 % objemu.

Tabulka 26 - FYZIKÁLNĚ-MECHANICKÉ VLASTNOSTI OK [5]



2.4.6. Výroba, rozprostírání a hutnění asfaltových směsí

Požadavky na výrobu asfaltových směsí jsou stejné jako u předešlé normy včetně pracovních teplot pro obalování asfaltových směsí. [5]

Rozprostírání mělo probíhat finišerem, výjimečně grejdrem nebo ručně. Pro kryty vozovek dálnic, rychlostních silnic a rychlostních místních komunikací musely být použity finišery s automatickým nivelačním zařízením. Minimální teploty pro rozprostírání asfaltových směsí jsou uvedeny v tabulce 27. [5]

Asfaltová směs	Penetrace asfaltu při 25 °C (0,1 mm)	Nejnižší přípustná teplota směsi podle tloušťky vrstvy v mm ¹⁾ ²⁾ (°C)			
		do 40	40 až 70	70 až 100	nad 100
AB, AKM, AKT, OK	151–210	–	110	100	100
	101–150	130	120	105	100
	71–100	145	130	110	100
	51–70	160	145	125	110
	30–50	175	160	140	120
AKD, AKO	51–100	105	100	–	–

¹⁾ Teplota směsi se měří za rozdělovacím šnekem finišeru.
²⁾ Teploty při použití modifikovaného asfaltu stanovuje výrobce asfaltu.

Tabulka 27 - MINIMÁLNÍ TEPLoty PŘI ROZPROSTÍRÁNÍ ASFALTOVÝCH SMĚSÍ [5]

Hutnění asfaltových směsí zůstává beze změny. Pro AKO, OKVH a OKM se hutnilo do té doby, než statický účinek válce nezanechával viditelné stopy po jeho pojezdu. [5]



2.5. Stavba vozovek – Hutněné asfaltové vrstvy – Provádění a kontrola shody ČSN 73 6121 (březen 2008)

Norma nahrazuje ČSN 73 6121 z července 1994 a nabyla účinnosti v dubnu 2008. Stanovila požadavky na přípravu, provádění a kontrolu shody asfaltových hutněných vrstev. Navázala na platné evropské normy pro asfaltové směsi, materiály a výrobky, související s výstavbou asfaltových hutněných vrstev. Třídění asfaltových vrstev se již neprovádí zkouškou podle Marshalla. [6]

2.5.1. Značky a označování

ČSN 73 6121 z března 2008 je první norma, která používá současné značení asfaltových směsí a zavedla nový druh směsi BBTM – asfaltový koberec pro velmi tenké vrstvy. Nové zkratky pro druhy asfaltových směsí jsou od platnosti této normy dodnes převzaty z angličtiny, např. AC – asphalt concrete (asfaltový beton), SMA (stone mastic asphalt), PA (porous asphalt). BBTM je převzato z francouzštiny a směs AKO zůstává z češtiny jako asfaltový koberec otevřený. [6]

V technických dokumentacích se při označování uvádí: druh vrstvy; druh použitého pojiva; tloušťka vrstvy v mm; označení této normy. U asfaltových betonů AC se přidává ještě třetí písmeno popisující vrstvu, ve které je asfaltová směs použita: O – obrusná, L – ložní, P – podkladní. [6]

Příklady značení:

- Asfaltový beton pro ložní vrstvu s velikostí oka horního síta nejhrubší použité frakce kameniva 22 mm třídy dopravního zatížení např. S se zvýšenou odolností vůči tvorbě trvalých deformací s pojivem PMB 25/55-55 v tloušťce vrstvy 80 mm, odpovídající normě pro specifikaci: [6]

ACL 22 S PMB 25/55-55; 80 mm; ČSN EN 13108-1

- Asfaltový koberec drenážní s velikostí oka horního síta nejhrubší použité frakce kameniva 11 mm třídy dopravního zatížení např. I s pojivem 50/70 v tloušťce vrstvy 45 mm, odpovídající normě pro specifikaci: [6]

PA 11 50/70; 45 mm; ČSN EN 13108-7



2.5.2. Výroba

Výroba asfaltových směsí se řídila požadavky normy ČSN EN 13108 a jejich jednotlivými specifikacemi pro materiály. Postup a doba mísení se musí volit, aby obalením všech částí kameniva asfaltovým pojivem vznikla homogenní směs. Zásobník musí být izolován a vybaven tak, aby nedošlo k nadměrnému rozměšování směsi. Mezní teploty, které nesmí být překročeny na žádném místě obalovny, jsou uvedeny v tabulce 28. Druhy asfaltů jsou nyní značeny pomocí dolní a horní meze penetrace asfaltového pojiva. [6]

Druh asfaltu	Specifikace	Mezní teploty (°C) podle druhu vyráběné směsi ¹⁾		
		AC, BBTM, SMA	PA	AKO
100/150	ČSN EN 12591	130 až 170	130 až 160	110 až 140
50/70; 70/100		140 až 180	140 až 175	120 až 160
35/50; 40/60		150 až 190	150 až 180	–
30/45		155 až 195	–	–

¹⁾ Pracovní teploty při použití nízkoteplotního asfaltu, modifikovaného asfaltu a při použití dalších přísad stanovuje výrobce směsi podle doporučení výrobce asfaltu nebo přísady.

Tabulka 28 - MEZNÍ TEPLITY ASFALTOVÝCH SMĚSÍ [6]

Při použití R-materiálu v šaržových obalovnách nesměla teplota kameniva překročit 250 °C a teplota asfaltové směsi nesměla překročit mezní hodnoty určené tabulkou 28. Dobu míchání kameniva s R-materiálem bylo nutno prodloužit alespoň o 5 sekund. [6]

2.5.3 Rozprostírání a hutnění asfaltových směsí

Norma nově uvedla požadavky pro spojovací postřiky kationaktivní asfaltové emulze podle ČSN EN 13808 nebo speciální asfaltová lepidla ověřená zkouškami. Množství postřiku bylo určeno v závislosti na textuře a mezerovitosti spodní vrstvy, množství pojiva na povrchu spodní vrstvy a na množství pojiva a mezerovitosti nově pokládané vrstvy. Pro nové vrstvy bylo stanoveno dávkování spojovacího postřiku na 0,15 – 0,40 kg/m² a pro staré vrstvy nebo frézované povrchy 0,25 – 0,60 kg/m². [6]

Podmínky pokládky, co se týče klimatických podmínek, se vůči předešlé normě nezměnily. U liniových staveb se musela pokládka sladit tak, aby bylo minimalizováno jakékoli přerušování pokládky a následných pracovních operací. Ruční rozprostírání bylo nutno omezit na minimum s případným odstraněním segregovaných částí z pokládané vrstvy. Tyto podmínky pokládky stále platí dodnes. [6]

Teploty asfaltových směsí při rozprostírání v závislosti na tloušťce vrstvy jsou určeny v tabulce 29.



Druh asfaltové směsi	Druh asfaltu	Nejnižší přípustná teplota směsi podle tloušťky vrstvy v mm ^{1) 2)} (°C)		
		do 40	40 až 70	70 až 100
AC, BBTM, SMA	100/150	130	120	105
	70/100	145	130	110
	50/70	155	140	120
	40/60	160	145	125
	35/50	175	160	140
	30/45	175	160	140
PA, AKO	100/150	100	100	–
	70/100	105	100	–
	50/70	105	100	–
	40/60	110	105	–

¹⁾ Teplota směsi se měří v místě rozdělovacího šneku finišeru.
²⁾ Teplotu směsi při použití nízkoteplotního asfaltu, modifikovaného asfaltu a při použití dalších přísad stanovuje výrobce směsi podle doporučení výrobce asfaltu nebo přísady.

Tabulka 29 - TEPLoty ASFALTOVÉ SMĚSI PŘI JEJÍM ROZPROSTÍRÁNÍ [6]

Hutnění asfaltových směsí dle této normy mělo probíhat tak, aby se rozprostřená směs hutnila při co nejvyšších teplotách s vhodně volenými válci (vibrační, oscilační, těžké statické nebo pneumatikové) a jejich sestavami, které zajistí dosažení požadovaného zhutnění. Pro hutnění SMA a PA šlo použít jen válce s ocelovými běhouny a konkrétně u směsi SMA bylo možno válcovat s vibrací pouze ze začátku s max. třemi pojezdy. Doporučené teploty pro hutnění asfaltových směsí dle druhu asfaltu a průběhu hutnění jsou v tabulce 30. [6]

Průběh hutnění	Druh asfaltu					
	nemodifikovaný		modifikovaný PMB ²⁾			
	50/70; 70/100; 100/150	30/45; 35/50; 40/60	45/80-50; 60/105-45	25/55-55; 45/80-55	25/55-60, -65; 45/80-60, -65; 10/40-65	60/105-70
Ukončení hutnění s vibrací (°C)	100	105	100	105	110	120
Ukončení hlavního ¹⁾ hutnění (°C)	75	80	80	85	90	100

¹⁾ Bez závěrečné fáze hutnění (uhlazení, žehlení).
²⁾ Teplotu směsi při použití nízkoteplotního asfaltu a při použití dalších přísad stanovuje zhotovitel individuálně pro jednotlivé případy.

Tabulka 30 - DOPORUČENÉ TEPLoty PRO HUTNĚNÍ ASFALTOVÝCH SMĚSÍ [6]



2.6. Stavba vozovek – Hutněné asfaltové vrstvy – Provádění a kontrola shody ČSN 73 6121 z února 2019 a března 2023

ČSN 73 6121 z února 2019 je v tuto dobu platná technická norma pro hutněné asfaltové vrstvy a bude nahrazena normou z března 2023 s platností od 30.06.2024. Na rozdíl od normy z roku 2008, jsou ucelenější s více přílohami. Například se opět uvádějí meze zrnitosti pro jednotlivé směsi, požadavky na kamenivo a upřesňují se požadavky na přidávání R-materiálu viz tabulka 31.

Obrusné vrstvy		Ložní vrstvy		Podkladní vrstvy	
Druh směsi	R-materiál (%)	Druh směsi	R-materiál (%)	Druh směsi	R-materiál (%)
ACO 8	25	ACL 16 S	30/15 ¹⁾	ACP 16 S	50
ACO 8 CH	25	ACL 16 +	30	ACP 16 +	60
ACO 11 S	15	ACL 16	40	ACP 22 S	50
ACO 11 +	15	ACL 22 S	30/15 ¹⁾	ACP 22 +	60
ACO 11	25	ACL 22 +	30		
ACO 16 S	15	ACL 22	40		
ACO 16 +	15				
ACO 16	25				

¹⁾ Při výrobě asfaltových směsí s nemodifikovaným asfaltem je možné použít R-materiál v množství do 30 %, v případě použití polymerem modifikovaného asfaltu v množství do 15 %. Původ použitého R-materiálu musí být výhradně ze znovuzískané asfaltové směsi krytů asfaltových vozovek.

Tabulka 31 - NEJVYŠŠÍ PŘÍPUSTNÝ OBSAH R-MATERIÁLU V % HMOTNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI [7]

Od normy z roku 2008 došlo k odebrání asfaltových pojiv 35/50 a 40/60 pro výrobu asfaltových směsí. Samotná výroba zůstává však bez dalších výrazných změn včetně nejnižších přípustných teplot pro výrobu asfaltových směsí a nejnižších teplot při jejím rozprostírání. Menší úpravou prošly hodnoty pro teploty při hutnění asfaltových směsí viz tabulka 32.

Průběh hutnění	Druh asfaltu				
	nemodifikovaný		modifikovaný PMB ²⁾		
	50/70; 70/100; 100/150	30/45	45/80-55	25/55-60; -65; 45/80-65; 10/40-65	45/80-75; 40/100-65
Ukončení hutnění s vibrací	100 °C	105 °C	105 °C	110 °C	120 °C
Ukončení hlavního ¹⁾ hutnění	75 °C	80 °C	85 °C	90 °C	100 °C

¹⁾ Bez závěrečné fáze hutnění (uhlazení, žehlení).
²⁾ Teplotu směsi při použití nízkoteplotního asfaltu, asfaltů modifikovaných pryžovým granulátem ve variantě „N“ a při použití dalších přísad stanovuje výrobce pojiva nebo přísady.

Tabulka 32 - DOPORUČENÉ TEPLITY PRO HUTNĚNÍ ASFALTOVÝCH SMĚSÍ [7]



2.6.1. Rozdíly mezi ČSN 73 6121 z roku 2019 a 2023

ČSN 73 6121 z března 2023 ruší směsi ACO s kvalitativními požadavky S. Poprvé jsou zakomponovány ochranné postřiky (např. vápenné mléko), které lze aplikovat na spojovací postřiky s cílem minimalizování rizika jejich poškození. Nově se také upouští od požadavku na minimální průměrnou teplotu vzduchu za posledních 24 h, která musela být původně dodržena pro realizaci asfaltové vrstvy. [7] [8]

Další změnou je uvedení požadavků na ošetření okrajových hran na dálnicích, silnicích I. třídy a místních komunikacích I. třídy, kde je nutno provést ochranu (asfaltové pojivo nebo speciální zálivková hmota) výše položené hrany jednostranného sklonu proti průniku vody do asfaltové vrstvy. U výše ležícího okraje v šířce 10 cm vodorovně ležící plochy je stanoveno dávkování 150 g/metr délky (min. 1,5 kg/m²). Na boční ploše tohoto okraje je uvedeno množství 40 g/cm tloušťky asfaltové vrstvy a metr délky (min. 4 kg/m²).[8]

Norma z března 2023 nově definuje termíny [8]:

Pracovní spoj – kontaktní pruh mezi dvěma pásy se shodnými vlastnostmi, které jsou prováděny s časovým odstupem.

Pracovní styk – kontaktní plocha rozdílných typů asfaltových směsí (popř. asfaltové směsi a jiného materiálu například cementový beton).

Okrajová hrana – Trvalá boční hrana realizované asfaltové vrstvy.

Další změny jsou v požadavcích na výrobu a pokládku, kde se přesněji popisují mezní teploty pro výrobu asfaltových směsí (viz tabulka č. 33), s uvedením asfaltu modifikovaným pryžovým granulátem, což se následně podepisuje na změnách minimálních teplot při rozprostírání.[7] [8]

Typ a druh asfaltového pojiva	Norma	Mezní teploty (°C) podle druhu vyráběné směsi ^a				
		AC	BBTM	SMA	PA	AKO
100/150	ČSN 65 7204	130 až 170 ^b	–	–	130 až 170	120 až 150
50/70; 70/100		140 až 180	140 až 180	140 až 180	140 až 180	130 až 165
30/45		160 až 185	–	–	–	–
PMB 25/55-60, -65	ČSN 65 7222-1	155 až 180	155 až 180	155 až 180	–	–
PMB 45/80-65		155 až 180	155 až 180	155 až 180	–	–
CRMB 25/55-60 N CRMB 45/80-55 N	ČSN 65 7222-2	155 až 180	155 až 180	155 až 180	–	–

^a Manipulační teploty pojiv uvádějí zpravidla jejich výrobci. Pokud výrobce pojiva manipulační teploty pojiv neuvede, platí výše uvedené mezní teploty asfaltových směsí. Výrobce asfaltové směsi proto musí ověřit manipulační teploty při výrobě své konkrétní asfaltové směsi v rámci TT, přičemž musí respektovat hodnoty výrobce pojiva a tuto hodnotu udat do TT. V případě pojiv NT, aditivovaných a jiných musí výrobce pojiva poskytnout další potřebné údaje pro ověření a stanovení rozsahu manipulačních teplot.

^b Uvedené rozmezí se týká pouze asfaltových směsí ACO, ACL a ACP za použití tohoto asfaltu při jejich výrobě s R-materiálem podle pravidel uvedených v ČSN 73 6141.

Tabulka 33 - MEZNÍ TEPLoty ASFALTOVÝCH SMĚSÍ [8]



Navazující norma také umožňuje využití R-materiálu (tabulka 34) ve větším množství s podmínkou, že při dávkování R-mat. nad 15 % je nutno řešit dávkování asfaltu měkčí gradace nebo rejuvenátoru tak, aby bylo dosaženo penetrace a bodu měknutí výsledné deklarované gradace. Při dávkování nad 25 % musí být obalovna vybavena zařízením pro jeho předeřtání. [8]

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

R-materiál lze přidávat bez jeho další úpravy do asfaltových směsí v množství maximálně 15 %.

^a Pro směsi s nemodifikovaným asfaltem platí: Při dávkování R-materiálu nad 15 % do asfaltových směsí se silničním asfaltem (za studena maximálně 25 %, za horka viz tato tabulka), je nutno vypočítat potřebné množství dávkování asfaltu měkčí gradace nebo rejuvenátoru tak, aby bylo dosaženo penetrace a bodu měknutí výsledné deklarované gradace pojiva podle tabulky E.1. Zároveň musí být splněny požadavky na penetraci a bod měknutí zpětně získaného pojiva po výrobě podle tabulky 3 ČSN 73 6141:2020 (horní mez bodu měknutí není nutno dodržet u R-materiálu s modifikovaným asfaltovým pojivem). Při množství R-materiálu nad 25 % je zapotřebí, aby byla obalovna vybavena zařízením pro jeho předeřtání. Množství a druh asfaltu měkčí gradace nebo dávkovaného rejuvenátoru se uvádí ve zkoušce typu (TT).

Tabulka 34 - NEJVYŠŠÍ PŘÍPUSTNÝ OBSAH R-MATERIÁLU V % HMOTNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI S NEMODIFIKOVANÝM ASFALTEM [8]

Nově je specifikováno dávkování R-materiálu dle typu vrstvy i pro modifikovaný asfalt, kde je stanoveno pro obrusné vrstvy 30 %, pro ložní vrstvy 40 % a pro vrstvy podkladní 50 %. [8]



2.7. Slovenské požadavky na asfaltové směsi

Z důvodu, že se směsi s obsahem většího zrna kameniva než 22 mm objevují pouze v jedné české normě, jsou v této části také zakomponovány požadavky na asfaltové směsi ze Slovenska, které do svých technických předpisů zahrnují směs ACP 32. Všechny informace byly získány z volně přístupných katalogových listů asfaltových směsí KLAZ 1/2019 a technicko-kvalitativních podmínek TKP 6 na hutněné asfaltové vrstvy, s účinností od 20.12.2019. [9] [10]

2.7.1. Značení

Až na asfaltové betony je značení asfaltových směsí stejné jako u nás. Slovensko značí asfaltové betony jako: směs; maximální zrno směsi kameniva; vrstva; pojivo; kvalitativní třída; tloušťka vrstvy; číslo normy. Zároveň jako kvalitativní ukazatele používá třídy I, II a III, namísto S, +, „bez značení“, jako je používáno v českých předpisech a normách. [9] [10]

Příklady značení:

- Asfaltový beton do obrusných vrstev s maximální velikostí zrna 11 mm se zvýšenou odolností proti tvorbě trvalých deformací s pojivem PMB 45/80-75, kvalitativní třídy I o tloušťce vrstvy 50 mm, odpovídající STN EN 13108-1:

AC 11 obrus PMB 45/80-75; I; 40 mm; STN EN 13108-1 [9] [10]

- Asfaltový beton do podkladních vrstev s maximální velikostí zrna 32 mm s použitím silničního asfaltu 35/50, kvalitativní třídy I o tloušťce vrstvy 90 mm, odpovídající STN EN 13108-1:

AC 32 podklad 35/50; I; 90 mm; STN EN 13108-1 [9] [10]

2.7.2. Použití ve vozovce

Možnost použití jednotlivých směsí do vozovek s různými třídami dopravního zatížení je zde rozdělena dle druhu asfaltového betonu a jeho kvalitativní třídy (viz. tabulka č. 35). Je zde uvedeno, že směs AC 32 lze použít do podkladních vrstev vozovek s třídou dopravního zatížení I při dodržení kvalitativních požadavků asfaltového betonu třídy I. [10]

Druh AC	Kvalitativní třída	Dovolená třída dopravního zatížení		
		obrusná vrstva	ložná vrstva	podkladová vrstva
AC 8	II ¹⁾	IV - VI	-	-
AC 11	I	I - VI	-	-
AC 11	II ¹⁾	IV - VI	-	-
AC 16	I	I - VI	I - VI	I - VI
AC 16	II ¹⁾	IV - VI	IV - VI	IV - VI
AC 22	I	-	I - VI	I - VI
AC 22	II ¹⁾	-	IV - VI	IV - VI
AC 32	I ¹⁾	-	-	I - VI
AC 32	II ¹⁾	-	-	IV - VI

¹⁾ V prípade stúpacích pruhov a iných úsekov zaťažených ťažkými nákladnými vozidlami (napr. zastávky nekoľajovej MHD) musia použité zmesi AC vyhovovať požiadavkám odolnosti proti tvorbe trvalých deformácií stanovených pre AC kvalitatívnej triedy I.

Tabulka 35 - POUŽITÍ ASFALTOVÝCH BĚTONŮ VE VOZOVCE [10]



Tloušťky vrstev po ztuhnutí asfaltového betonu jsou uvedeny v tabulce č.36, kde tloušťka vrstvy pro AC 32 je stanovena v rozmezí 80–150 mm. Tento požadavek je následně zohledněn při pokládce asfaltové směsi v praktické části. [10]

Druh vrstvy	Druh asfaltové zmesi AC	Hrúbka vrstvy (mm)
Obrusná vrstva	AC 8	20 až 30
	AC 11	30 až 50
	AC 16	40 až 60
Ložná vrstva	AC 16	50 až 70
	AC 22	60 až 90
Horná podkladová vrstva	AC 16	50 až 80
	AC 22	60 až 120
	AC 32	80 až 150

Tabulka 36 - TLOUŠŤKY VRSTEV ASFALTOVÉHO BETONU [10]

2.7.3 Požadavky na materiál asfaltových směsí

Hodnoty jednotlivých požadavků se podobají hodnotám uvedených v českých normách, včetně výroby a pokládky. Hlavními rozdíly jsou menší požadavky na mezní obory zrnitostí směsi kameniva a použití větší hutnicí energie při výrobě zkušebních těles rázovým ztuhovačem, kde se všechny směsi hutní 2 x 75 údery. [9]

Druh asfaltové zmesi	ASFALTOVÝ BETÓN AC			Skúšobná norma	
Použitie vo vozovke	HORNÁ PODKLADOVÁ VRSTVA				
Kvalitatívna trieda asfaltovej zmesi	I				
Trieda dopravného zataženia	I až VI			STN 73 6114	
Maximálne zrno kameniva v zmesi D_{max} (mm)	16	22	32		
Zhutnenie skúšobných vzoriek Rázový ztuhovač (odkaz C.1.3) ¹⁾	2 x 75			STN EN 12697-30	
POŽIADAVKY NA ZMES²⁾					
Veľkosť sita (mm)	Kategória	Medzné prepady (%)			Skúšobná norma
45		-	-	100	STN EN 933-1
31,5		-	100	90-100	
22,4		100	90-100	-	
16		90-100	-	50-75	
11,2		-	55-80	-	
8		55-72	-	25-50	
4		-	-	-	
2		20-45	18-40	15-35	
0,50		7-26	7-25	5-20	
0,063		3-11	3-10	2-8	
Minimálna medzerovitosť (%)	V_{min}	4,0			STN EN 12697-8
Maximálna medzerovitosť (%)	V_{max}	7,0	8,0	9,0	STN EN 12697-8
Maximálna pomerná hĺbka vyjazdenej kofaje (%)	PRD_{AIR}	5,0			STN EN 12697-22+A1
Maximálny sklon vyjazdenej kofaje (mm na 10^3 zaťaž. cyklov)	WTS_{AIR}	0,10			STN EN 12697-22+A1
Minimálny pomer pevnosti v priečnom ťahu (%)	ITSR	60			STN EN 12697-12
Minimálny obsah spojiva ^{3), 4)} (% hmot.)	B_{min}	4,2	4,0	3,8	STN EN 12697-1
Odporúčané druhy asfaltových spojív	Asfalty vyhovujúce požiadavkám uvedeným v tabuľke 2 týchto katalógových listov				

¹⁾ Pozri tabuľku C.1 STN EN 13108-20: 2016.
²⁾ Hodnoty pre návrh asfaltovej zmesi.
³⁾ Minimálny obsah asfaltu sa násobí korekčným súčiniteľom $\alpha = 2650/\rho_{sk}$, kde ρ_{sk} je objemová hmotnosť kameniva v $Mg.m^{-3}$ stanovená podľa STN EN 1097-6.
⁴⁾ Pri zmesiach s cestným asfaltom sa použije referenčná teplota pri ztuhňovaní asfaltových zmesí podľa tabuľky 1 STN EN 12697-35.

Tabulka 37 - POŽADAVKY NA ASFALTOVÝ BETON AC [9]



Při pokládce obrusných vrstev musí být dle TKP 6 teplota ovzduší minimálně +7 °C, přičemž průměrná teplota vzduchu za posledních 24 h nesmí klesnout pod +3 °C. U podkladní a ložné vrstvy je požadavek na teplotu okolního vzduchu +3 °C a za posledních 24 h 0 °C. Tyto požadavky na pokládku asfaltových směsí jsou značně přísnější než u nás. [10]

Přísnější nároky jsou také stanoveny pro minimální teploty při rozprostírání, které jsou rozděleny stejným způsobem jako v českých normách dle tloušťky rozprostírané vrstvy a penetrace asfaltu při 25 °C (viz. tabulka č 38.) [10]

Penetrácia asfaltu pri 25 °C (0,1 mm)	Najnižšia prípustná teplota zmesi v (°C) pri hrúbke vrstvy			
	do 40 mm	40 mm – 70 mm	70 mm – 100 mm	nad 100 mm
70/100	150	140	135	130
50/70	155	150	140	135
40/60	160	155	145	140
35/50	165	160	150	145
30/45	170	165	155	150

Tabulka 38 - NEJNIŽŠÍ PŘÍSTUPNÉ TEPLoty PŘI ROZPROSTÍRÁNÍ ASFALTOVÝCH SMĚSÍ [10]

2.8. Závěr

Při porovnání zmíněných norem lze usoudit, že za posledních 50 let prošlo navrhování, výroba a pokládání asfaltových směsí, společně s kontrolou shody výraznými pokroky ve všech odvětvích, od změn značení, po zavedení nových asfaltových směsí a způsobů, jak ověřovat jejich vlastnosti.

Dalších úprav v průběhu let, které nebyly zmíněny, je nepochybně spousta. V tomto úseku teoretické části byly zvýrazněny nejdůležitější změny v oblastech, které se týkají praktické části s důrazem na směsi obsahující kamenivo s větším zrnem než 22 mm.

Na konec byly uvedeny i požadavky, které se používají na Slovensku, jelikož ve slovenských předpisech a normách se objevuje směs AC 32, která je předmětem práce. Z tohoto úseku šlo vyčíst, že slovenské a české nároky na asfaltové směsi se velmi podobají a zjištěné informace pro směs AC 32 jsou použity v praktické části.



3. Pokládka asfaltových směsí

3.1. Doprava

Pro dosažení požadovaných kvalitativních parametrů výsledné asfaltové vrstvy, je potřeba klást důraz na dodržení podmínek při dopravě, v zájmu omezení poklesu teploty, segregace (teplotní i zrnitostní) a degradace směsi. K segregaci teplotní a současné degradaci dochází při kombinaci vysoké výrobní teploty a přístupu kyslíku proudícího vzduchu. Tyto jevy se omezují zaplachtováním korby přepravního auta. [11]

Asfaltové směsi lze přepravovat na jakýchkoli nákladních vozidlech, které jsou opatřeny kovovými nebo plechovými sklápěcími korbami, s možností zaplachtování. Proti nalepování směsí je nutno použít vhodného separačního prostředku (mýdlový roztok). Použití petroleje, benzínu a jiných organických rozpouštědel, jako separačních prostředků, není dovoleno.

Obvykle volíme sklápěče 8x4 nebo návěsové soupravy s kapacitou 18–28 tun, z důvodu většího převozu materiálu a tím zároveň nižší náchylnosti na pokles teploty asfaltové směsi. Pro zajištění ideálních přepravních podmínek nebo při přepravě za nízkých teplot okolního vzduchu, lze použít izolované termo korby či návěsy. Od 01.01.2028 budou izolované termo korby povinné pro dopravu asfaltových směsí pro zakázky Ředitelství silnic a dálnic ČR.



Obrázek 1 - TAHAČE S NÁVĚSY [vlastní zdroj]



Obrázek 2 - NÁKLADNÍ AUTA 8x4 [vlastní zdroj]



Maximální doba přepravy by neměla překročit 1,5 hodiny, což přibližně odpovídá vzdálenosti 80 km. Dobu přepravy lze prodloužit na 2 hodiny, pokud je stavba opatřena strojním homogenizátorem. Pro běžná nákladní vozidla uvažujeme rychlost ochlazování 10 °C/hod. Volba počtu nákladních vozidel pro pokládku musí být taková, aby bylo zajištěné kontinuální zásobování bez zbytečných prostoje aut (hrozí teplotní a zrnitostní segregace) nebo samotného finišeru (problémy s kvalitou povrchu, popř. nutnost zhotovení pracovní spáry), obzvláště při realizaci liniových staveb. [17]



Obrázek 3 - HOMOGENIZÁTOR VÖGELE MT 1000-1 [vlastní zdroj]

3.2. Rozprostírání asfaltových směsí

Na rozprostírání asfaltových směsí se prakticky používají pouze finišery, výjimečně lze použít grejdry nebo dozery. Ruční pokládka probíhá pouze v místech, kde nelze využít stroje. Ruční pokládkou totiž není možné zajistit kvalitní texturu povrchu, rovinnost a dostatečné předhutnění směsi. [8]

Pokládka by měla vždy probíhat na rovném, čistém a zároveň únosném podkladu pro zajištění rovnoměrného a dostatečného zhutnění výsledné vrstvy asfaltové směsi. Nákladní auta přepravující směs by měla být finišerem vždy tlačena a nikdy by na finišer neměla najíždět (hrozí narušení rovinnosti položeného povrchu), měla by zastavit před finišerem a vyčkat na jeho dojezd. Pokud to místní podmínky dovolí, rozprostírání by mělo probíhat ve směru stoupání, z důvodu lepšího hutnění, vyklápení směsi a bez potřeby držení brzdy řidičem nákladního auta. Pracovní spáry nebo spáry při napojení na stávající komunikaci by měly být zaříznuty a natřeny asfaltovým pojivem, pro kvalitní spojení vrstev. Při oddělené pokládce jednotlivých pruhů více vrstev by jejich šířky měly být zvoleny tak, aby podélné spáry nad sebou byly odsazeny alespoň o 20 cm.



3.2.1. Finišery

Finišery jsou nejefektivnější stroje pro rozprostírání asfaltových směsí, které zároveň pokládají a předhutňují danou vrstvu. Na základě typu finišeru, lze pokládat šířky 0,8 až 18 metrů. Skládají se ze dvou hlavních částí, samotného finišeru a pokládkové lišty, kde lze kombinovat různé typy lišt a finišerů, které jsou mezi sebou kompatibilní. [12]

Obecně stroj funguje na principu, kde se asfaltová směs nasype do násypky v přední části finišeru a pomocí pásových dopravníků se přepraví do rozhrnovacích šneků, které směs rovnoměrně rozhrnují podél pokládkové lišty. Vlivem pojezdu finišeru se směs dostává pod hutnicí pěchy, které slouží pro prvotní předhutnění směsi, a následně pod vibrační dohutňovací desku, pro zajištění požadované textury povrchu pokládané vrstvy.

Lišta se před pokládkou musí předeřhřát většinou elektrickým výtopným automatickým zařízením, které je ovládáno termostatem. Dále se lišta nastaví na daný příčný profil s požadovaným sklonem a také na tloušťku pokládané vrstvy.

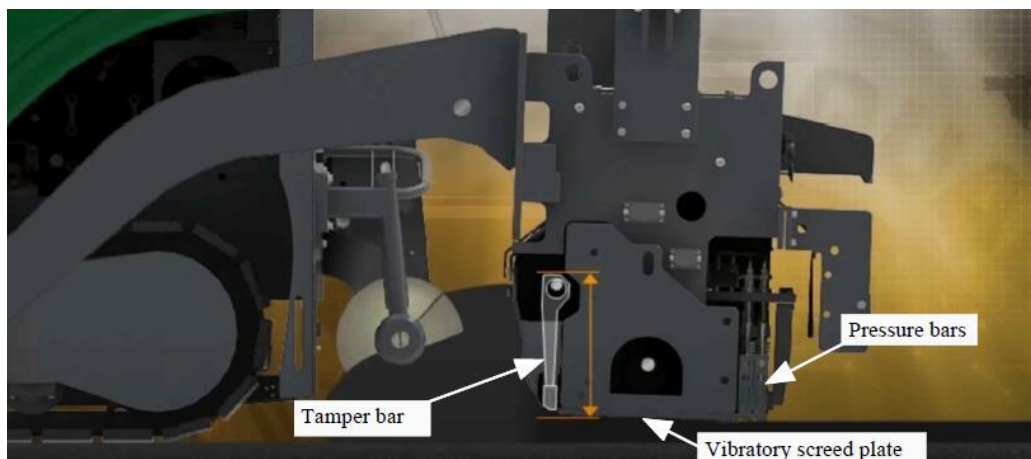
Obvykle, pokud nově položenou vrstvou navazujeme na stávající komunikaci, nastaví se startovací výška pomocí dosednutí lišty na stávající vozovku, na kterou umístíme např. dřevěné hranoly, které svojí výškou zohlední navýšení tloušťky, která se následně zmenší vlivem hutnění na požadovanou úroveň.



Obrázek 4 - NASTAVENÍ STARTOVACÍ VÝŠKY LIŠTY POMOCÍ DŘEVĚNÝCH HRANOLŮ [13]

Na základě pokládané tloušťky je nutno zvážit několik parametrů: rychlost pokládky, záběr hutnicích pěchů (tamperů), rychlost hutnicích pěchů, frekvenci vibrace lišty a případně frekvenci tlakových proužků, pokud je pokládková lišta obsahuje. Při správném nastavení těchto parametrů je finišer schopen dosáhnout vysoké míry zhutnění až 95 %. Obecně ale stačí pokud se míra zhutnění za finišerem pohybuje kolem 85 %.

Záběry hutnicích tamperů se nastavují manuálně na hodnoty např. 2, 4 a 7 mm (v případě použití lišt Vögele), kde se větší záběry používají pro hutnění větších tlouštěk. Rychlost pěchů se následně zadává procentuálně, z maximálního možného počtu otáček za minutu, pomocí ovládacích panelů umístěných po obou stranách pokládkové lišty.[15]



Obrázek 5 - POPIS HUTNÍČÍCH MECHANISMŮ POKLÁDKOVÉ LIŠTY [14]

Pro přesné dodržení předepsané tloušťky a rovinatosti při rozprostírání asfaltových směsí, může pokládková četa využívat referenčních linií, jako například lankodráhu, laserovou nivelaci nebo obrubník. Moderní finišery v dnešní době používají technologii 3D nivelace, která automaticky upravuje parametry pokládky v závislosti na 3D modelu stavby.

Finišery na stavbu volíme většinou dle maximální šířky pokládaného pruhu, výkonu a typu podvozku. Kolové finišery mají výhodu větší rychlosti a lepší manévrovatelnosti, ale vyžadují rovný a pevný podklad. Finišery s pásovým podvozkem mají větší výkon, jednodušeji dosáhnou dobré rovinatosti, ale mají problémy s manévrovatelností, obzvláště ve stísněných prostorech.



Obrázek 6 - KOLOVÝ FINIŠER VÖGELE SUPER 1803-3i [vlastní zdroj]

Finišery můžeme dle velikosti rozdělovat do čtyř tříd: chodníkové, kompaktní, univerzální a dálniční. [16]



3.2.1.1. Chodníkové finišery

Chodníkové finišery jsou ideální volbou pro stavby malého charakteru nebo ve stísněných prostorech. Příkladem může být pokládka asfaltových směsí překopů po opravě inženýrských sítí, lokálních výsprav stávajících komunikací, chodníků nebo železničních přejezdů mezi kolejnicemi. Je také možné chodníkový finišer použít jako sekundární, pro pokládku krajnic v tandemu s větším finišerem v případě, že nedokáže pobrat celou šíři pruhu.

Tento typ má záběr dle druhu použité pokládkové lišty od 1,1 m až 3,2 m (při použití rozšiřovacích nástavců 2 x 50 cm), dokáže pokládat tloušťky vrstev až 15 cm. Násypka chodníkových finišerů dokáže pojmout až 6 tun směsi. Je vybaven převážně pásovým podvozkem s možností nivelačního systému u novodobých strojů. [16]



Obrázek 7 - KOMBINACE CHODNÍKOVÉHO FINIŠERU S DÁLNIČNÍM [vlastní zdroj]



Obrázek 8 - CHODNÍKOVÉ FINIŠERY VÖGELE SUPER 800i (v pozadí) A 800 (v popředí) [vlastní zdroj]



3.2.1.2. Kompaktní finišery

Tyto typy finišerů se převážně používají pro pokládku staveb menších rozměrů, jako jsou například širší pěší cesty a cyklostezky, místní komunikace v obcích, lokální výspravy stávajících komunikací, popřípadě pro pokládku jednoho pruhu při rekonstrukcích úzkých komunikací s částečnou uzavírkou.

Šířka záběru pokládaného pruhu je od 1,85 m do 5,0 m (s nastavci 2 x 80 cm) dle typu použité lišty, umožňuje pokládat tloušťky vrstev až 25 cm a násypka finišeru pojme až 10 tun směsi. Je možnost výběru podvozku mezi kolovým a pásovým. [16]



Obrázek 9 - FINIŠER VÖGELE SUPER 1300-3i [18]



3.2.1.3. Univerzální finišery

Finišery těchto rozměrů mají velmi široký rozsah použití. Dají se využít na pokládku místních komunikací v obcích, silnic v extravilánu, okružních křižovatek, parkovišť a dalších.

Šířka záběru lišty se pohybuje od 2,55 m do 9,0 m (při použití nástavců 2 x 1,5 m), lze pokládat tloušťky vrstev až 30 cm a obsahuje násypku s kapacitou až 13 tun. Podvozek univerzálních finišerů může být kolový i pásový. [16]



Obrázek 10 - KOLOVÝ FINIŠER VÖGELE SUPER 1803-3i [vlastní zdroj]



Obrázek 11 - PÁSOVÝ FINIŠER VÖGELE 1800-3i [vlastní zdroj]



3.2.1.4. Dálniční finišery

Tento typ finišeru se využívá zejména na pokládku asfaltových vrstev dálnic a komunikací o více pružích. Lištu těchto finišerů lze rozšířit až na 18 m. Z důvodu širokého záběru lze pokládat maximálně 1800 t/h a jsou zakomponovány pouze pásové podvozky. [16]

Aby byl finišer dostatečně zásobován asfaltovou směsí bez nutnosti přerušení pokládky, používají se při realizaci širokých komunikací zpravidla přídatné velkoobjemové násypky s plnicími vozy (homogenizéry). Široké lišty dálničních finišerů nelze kloubově zlomit, tím je pokládka omezená pouze na jednostranné sklony.



Obrázek 12 - FINIŠER VÖGELE 2100-2 + LIŠTA SB 300 TV S VELKOOBJEMOVOU NÁSYPKOU A PLNÍČÍM VOZEM MT 1000-1 [vlastní zdroj]



Obrázek 13 - FINIŠER VÖGELE 2100-2 + LIŠTA AB 600 [vlastní zdroj]



3.3. Hutnění asfaltových směsí

3.3.1. Vibrační desky

Vibrační desky se většinou používají jako sekundární prostředky na hutnění nepřístupných úseků stavby pro silniční válce, nejčastěji kolem poklopů kanalizačních šachet, uličních vpustí a hrnků šoupat.

Vibrační desky jsou vedeny ručně, mají jednosměrný pojezd a jsou opatřeny systémem rozstřikování vody, která zamezuje nalepování asfaltové směsi na vibrátor ve spodní části. Pro potřeby hutnění vrstev se využívají převážně desky o hmotnosti 80–100 kg s hutnicí silou kolem 17 kN.



Obrázek 14 - VIBRAČNÍ DESKA BVP 18/45 D BOMAG [20]

3.3.2. Statické válce

3.3.2.1. Statické válce s ocelovými běhouny

Pro hutnění asfaltových vrstev využívají statické válce s ocelovými běhouny svou vlastní hmotnost, která vyvozuje značné smykové napětí ve vrstvě pod běhouny. Při překonání smykové pevnosti směsí, dochází k pohybu jednotlivých zrn, k vzájemně těsnějšímu uložení a zvýšení objemové hmotnosti. [21]

Při pojezdu běhoun vyvozuje i vodorovnou sílu s orientací v závislosti na typu běhounu. Pokud je válec opatřen nepoháněným běhounem, působí vodorovná síla ve směru jízdy a tím hrne směs před sebou. Poháněný běhoun naopak vyvozuje vodorovnou sílu proti směru jízdy válce a z hlediska kvality pozitivně ovlivňuje hutněnou vrstvu. Z důvodu poměrně malého hutnicího účinku je možno spolehlivě hutnit vrstvy pouze do 10 cm. [21]

Mezi charakteristické vlastnosti těchto statických válců patří jejich rychlost, celková hmotnost, rozměry běhounů a statické lineární zatížení. Statické lineární zatížení je hodnota definována jako podíl síly vlastní tíhy na jeden běhoun a jeho šířky. S větší hodnotou statického lineárního zatížení jsme schopni dosáhnout lepších hutnicích účinků. [21]



Dříve byly pro hutnění směsí používány trojosé válce, které byly nahrazeny dvouosými tandemovými válci. V dnešní době se používají dvouosé válce kombinované, které zahrnují i dynamický účinek. Statické válcování se tím používá při hutnění kritických úseků vozovky, kde jinak hrozí možné potrhání směsi, a při dohutňování, pro dosažení požadované textury vrstev, po dokončení fáze dynamického hutnění.



Obrázek 15 - SESTAVA DVOUOSÝCH VÁLCŮ; V POPŘEDÍ HAMM HD 130 [19]

3.3.2.2. Statické válce pneumatikové

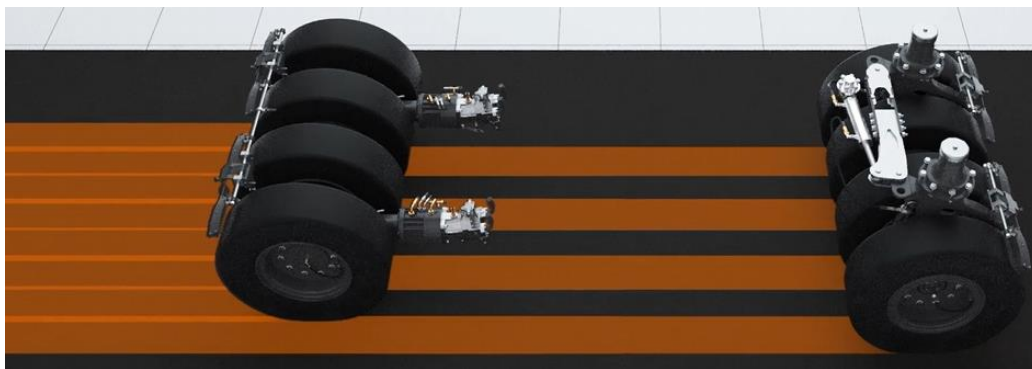
Na rozdíl od válců s ocelovými běhouny, mají pneumatikové válce zcela jiné hutnicí charakteristiky. Jsou nezávislé na okamžité tuhosti hutněné vrstvy a působí na ně vždy stejnými, relativně menšími tlaky. Elasticita pneumatiky vyvolává ve směsi hnětací efekt. Kombinace statického účinku pneumatik a hnětacího účinku způsobuje větší hloubkový dosah než u válců s ocelovými běhouny, obvykle až 200 mm. [21][22]

Pneumatikové válce působí příznivě na hutněnou vrstvu z hlediska vodorovných sil, kde nedochází k hrnutí směsi ani tvoření trhlin ve směsi, spíše jsme naopak schopni trhliny pneumatikovými válci úplně zahladit. Kyvadlové zavěšení kol způsobuje izostatický účinek, který udržuje pneumatiky v rovnoměrném kontaktu s povrchem směsi po celou dobu pojezdu. Pneumatiky jsou v přední a zadní části válce odsazeny tak, aby asfaltová směs byla zhutněna po celé délce záběru válce bez vynechaných míst. [21][22]



Hutnicí vlastnosti jsou dány zatížením kola, typem pneumatiky a kontaktním tlakem v pneumatice. Velkou výhodou těchto válců je možnost změny tlaku v pneumatice, která se většinou pohybuje v rozmezí 0,2 až 0,9 MPa. Optimální rychlost při hutnění směsí je do 5 km/h, při závěrečném hladení až 10 km/h. [21]

Pneumatikové válce se používají pro počáteční předhutnění směsí, nejsou-li již dostatečně předhutněny při rozprostírání finišerem. Mají současně využití pro závěrečné hutnění, pro uhlazení směsí a dosažení požadované textury asfaltové vrstvy. Nejčastěji se kombinují s válci s hladkými ocelovými běhouny.



Obrázek 16 - ODSAZENÍ PNEUMATIK PNEUMATIKOVÉHO VÁLCE [23]



Obrázek 17 - PNEUMATIKOVÝ VÁLEC HAMM HP 280i [23]

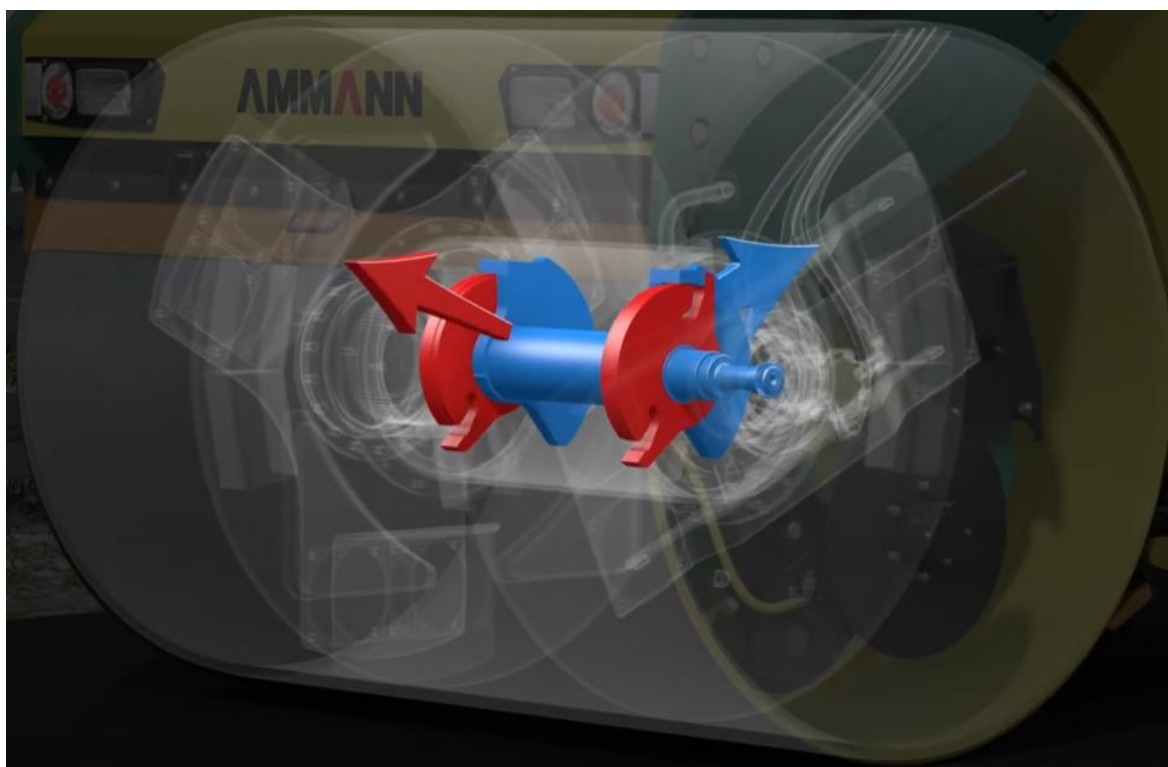


3.3.3. Válce s dynamickým účinkem

Vlivem dynamických účinků jsme při hutnění asfaltových vrstev schopni dosáhnout požadované míry zhutnění s relativně nízkým počtem pojezdů. Oproti statickým válcům jsou menší a výrazně lehčí, což ulehčuje proces dopravy strojů na stavbu. Výhodou je možnost úpravy pracovních parametrů válce na základě požadavků na hutnění. Válce s dynamickými účinky můžeme rozdělit na vibrační, oscilační a kombinované.

3.3.3.1. Vibrační válce

Vibrační válce patří k nejrozšířenějším strojům pro hutnění asfaltových směsí. Jejich účinek je současně statický (vlastní tíha válce) i dynamický, vlivem vysokého počtu rázů běhounu na hutněnou vrstvu. Jelikož směsi mají zrna s různými hmotnostmi, uděluje jim rázový účinek odlišnou rychlost pohybu a tím se snižuje vnitřní tření zrn směsi. Snižování vnitřního tření s účinkem statického lineárního zatížení zlepšuje hutnicí podmínky, s možností hutnění vrstev velkých tloušťek. U nás je nejčastěji používaný systém neusměrněné kruhové vibrace, kde buzení vibrací způsobují dvě nevyvážené rotující kolem středové osy běhounu. [21]



Obrázek 18 - SYSTÉM BUZENÍ VIBRACÍ BĚHOUNU [24]



Pro určení účinnosti vibračního válce se zvažují následující veličiny: [21]

- rozměry běhounu
- hmotnost stroje
- frekvence vibračního zařízení
- amplituda běhounu
- statické lineární zatížení běhounů
- pracovní rychlosti
- odstředivá síla zařízení

Při hutnění tenkých vrstev je optimální válcovat s vysokou frekvencí a nízkou amplitudou, to umožňuje rychlejší pojezd válce 5-6 km/h. Jinak tomu je při hutnění velkých tloušťek, kde z počátku hutnění je vhodné zvolit větší amplitudu běhounu s nižší frekvencí vibračního zařízení a pomalejším pojezdem (3-5 km/h) a ke konci hutnění amplitudu snížit a frekvenci zvýšit. Kombinací rychlého pojezdu a nízké frekvence vibračního zařízení hrozí riziko malého počtu nárazů běhounu na daném úseku a tím snížení efektivity hutnění.

Dnešní moderní válce jsou obvykle vybaveny kompaktometrem, který informuje strojníka o průběžné míře zhutnění v průběhu válcování.

Nově na trhu jsou také systémy, které automaticky upravují velikost amplitudy a frekvence v závislosti na aktuálním stavu míry zhutnění pokládané vrstvy. Tato technologie se nazývá tzv. inteligentní hutnění, které má za úkol dosažení optimálního zhutnění směsi a kvalitní textury výsledného povrchu, za minimálního počtu pojezdů válce.

3.3.3.2. Oscilační válce

Oscilační zařízení je oproti vibraci složitější. Obsahuje dvě proti sobě excentricky uložená závaží, která jsou umístěna mimo středovou osu běhounu a svou rotací způsobují horizontální kmitání vodorovně s povrchem pokládané vrstvy. Tento pohyb umožňuje udržení trvalého kontaktu běhounu s povrchem vrstvy a zabraňuje vytahování asfaltového pojiva na povrch směsi. Hlavními ukazateli pro oscilační běhouny je tangenciální amplituda a oscilační frekvence. [25]



Obrázek 19 - ULOŽENÍ ZÁVAŽÍ OSCILAČNÍHO SYSTÉMU [26]

Hlubkový účinek je mírnější než u vibračních válců a dosahuje do tloušťky 10 cm. Běhoun je na vrstvu šetrnější, tím nedochází k drcení zrn kameniva nebo narušení vrstvy trhlinami. Z toho důvodu má oscilační válcování výborné výsledky při hutnění podélných a příčných spár, při napojení na studenou směs stávající komunikace.

Pro hutnění asfaltových směsí se zpravidla používají válce, které mají zadní běhoun oscilační a přední běhoun vibrační, k dosažení požadovaných kvalitativních požadavků.



Obrázek 20 - TANDEMOVÝ VÁLEC HAMM DV+ 90i VO-S S OSCILACÍ NA ZADNÍM BĚHOUNU [vlastní zdroj]



3.3.3.3. Kombinované válce

Kombinované válce byly uvedeny na trh s myšlenkou využití výhod obou typů válců s vibračním účinkem hladkého běhounu obvykle v přední části a izostatického účinku pneumatik v zadní části válce. Vibrační běhoun poskytuje hlavní zhutnění a pneumatiky následně asfaltovou vrstvu uhlazují hnětením směsi.

Tento efekt ale bohužel není univerzální v širokém měřítku. Obzvláště na velkých stavbách nebo při pokládce větší tloušťky směsi nemusí jeden běhoun stačit pro dostatečné zhutnění vrstvy. Zároveň pneumatiky v zadní části nevygenerují hutnící energii jako u klasického pneumatikového válce, který by byl zpravidla značně těžší. Použití tohoto typu je tedy efektivní hlavně na stavbách menšího rozsahu, kde naopak kombinace těchto technologií ulehčí nároky na počet potřebných strojů.



Obrázek 21 - KOMBINOVANÝ VÁLEC AMMANN ARX 110 C [27]



3.3.4. Technologické postupy při hutnění asfaltových směsí

Hutnění asfaltových směsí je pravděpodobně nejdůležitějším faktorem pro dosažení požadovaných kvalitativních požadavků pokládaných vrstev. Technologické postupy pro válcování jsou poměrně obsáhlé a často se mění v závislosti na rozsahu a umístění stavby.

3.3.4.1. Zásady před zahájením hutnění

- Před samotným zahájením hutnění je potřeba zvolit typy a počet strojů potřebných pro realizaci stavby. Vždy by na staveništi měly být minimálně dva válce, v ideálním případě navíc jeden náhradní.
- Válce by měly být v dobrém technickém stavu, s čistými běhouny a dostatkem zásoby vody v nádrži válce a na staveništi pro skrápění běhounů. Skrápění běhounů by mělo být nastaveno tak, aby voda pokryla pouze plochu běhounu a bylo tak zamezeno nadměrnému stékání vody na asfaltovou vrstvu a tím k ochlazování směsi.
- S ohledem na druh a tloušťku pokládané vrstvy je nutno vzít v potaz počáteční nastavení dynamických účinků při hutnění a rychlost pojezdu válce. Obecně při hutnění tuhých směsí a směsí s větší tloušťkou pokládané vrstvy je vhodné volit pomalejší rychlost pojezdu (3-4 km/h), s větší amplitudou běhounu (až 0,8 mm) a frekvencí vibračního zařízení kolem 40 Hz. S chladnutím směsi se doporučuje amplitudu zmenšit, aby nedošlo k porušení textury vrstvy. Naopak při válcování tenkých a lehce zhutnitelných směsí lze zrychlit pojezd válce na 5 km/h, s menší amplitudou (např. 0,3–0,4 mm) a větší frekvencí 50 Hz.

3.3.4.2. Zásady válcování

- Válcování má být zahájeno zpravidla, kromě speciálních situací (vysoké sklony atp.), při nejvyšších teplotách. Vibrace je vhodné používat pouze do předepsaných teplot určených normou ČSN 73 6121, které závisí na typu použitého pojiva. Obecně čím tužší pojivo, tím větší minimální teplota pro hutnění vibrací (např. pojivo 50/70 – minimální teplota pro válcování s vibrací 100 °C), *teploty pro válcování viz. kapitola 2.6. tabulka č. 32.*
- Válec by měl být orientován tak, aby poháněné běhouny byly natočeny ve směru pokládky pro dosažení potřebné rovinatosti povrchu.
- Je vhodné začínat hutnění na nejnižším bodu povrchu (z příčného pohledu), tím se zabrání možnému rozhrnování směsi a snížení příčného sklonu.
- Při dojezdu za finišer by měl válec dokončit první část pojezdu zabočením do oblouku a následně dokončit pojezd zpět ve stejné stopě jako v části první na vychladlou, již zhutněnou vrstvu. Zabočení do oblouku se doporučuje z toho důvodu, že je mnohem jednodušší zválcovat podélnou hranu povrchu než příčnou. Zároveň je potřeba za finišerem včas a plynule zpomalovat a vypnout vibraci před samotným zastavením.



- Změna směru do dalšího pruhu musí proběhnout na zhutněném úseku tak, aby se stopy při hutnění jednotlivých pruhů navzájem překrývaly o 10-20 cm.
- Válec by nikdy neměl být na čerstvé vrstvě odstaven. Pokud to z nějakého důvodu podmínky stavby neumožní, měl by být odstaven jen na zhutněné a co nejvíce vychladlé části kolmo ke směru pokládky.
- Délka záběru jednotlivých pojezdů má být ideálně konstantní, což tvoří tzv. lichoběžníkové pole. Tento způsob je vhodný z důvodu hutnění za konstantního teplotního režimu. [11]

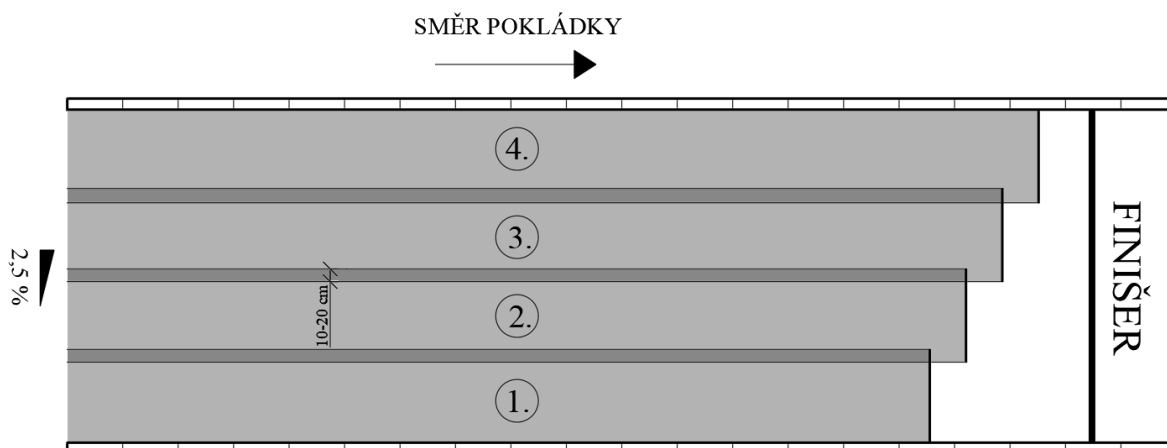


Obrázek 22 - SCHÉMA LICHOBĚŽNÍKOVÉHO POLE [11]

- Aby nedošlo k porušení textury povrchu, je nutné neprovádět příliš ostré změny směru válce na hutněné směsi. Pokud se válkuje oblouk o nízkém poloměru, například podél obrub křižovatek v obci, je potřeba tento úsek hutnit více pojezdy o menších poloměrech otáčení.
- Při hutnění směsí s lokálně méně únosným podložím (např. při povrchové rekonstrukci silnic III. třídy atp.) je potřeba se vyhnout zastavení na takovém úseku při ukončení pojezdu a zvážít vypnutí vibrace.
- V žádném případě by se vozovka s oboustranným sklonem neměla hutnit ve středním pruhu koruny komunikace.
- V extrémních podélných sklonech nad 10 % je vhodné hutnit bez vibrace (možnost kombinace statického a oscilačního válcování) a pokládat tenké vrstvy. Pojezd válce by měl být pozvolný s orientací poháněných běhounů směrem od finišeru.
- Místa nepřístupná pro válec se hutní ručními vibračními deskami. Tato místa jsou většinou poklopy šachet, vpusti, hrnky šoupat, zálivy s šířkou menší než je šířka běhounu, napojení na různé objekty, malé rampy nebo části s malou světlou výškou.

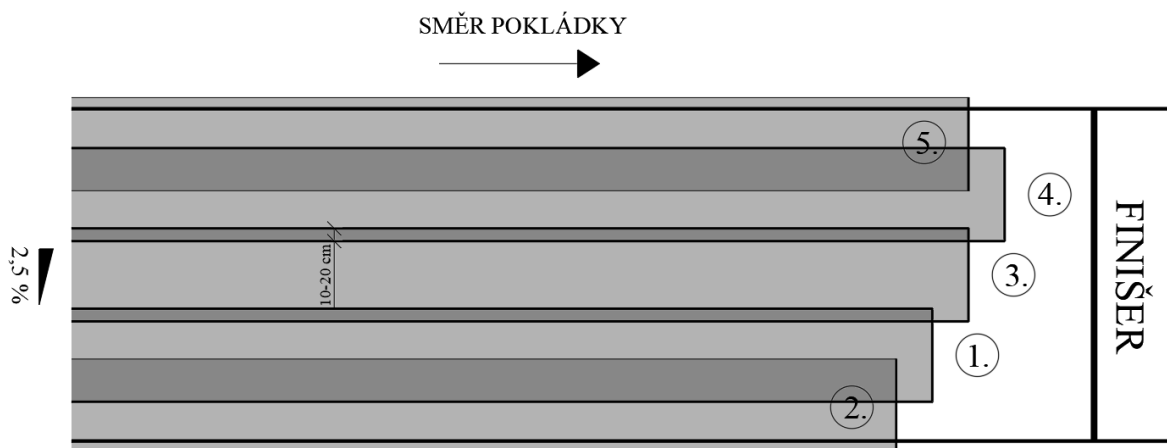


- Pokud je asfaltová vrstva ohraničena obrubníky s jednostranným sklonem, začíná hutnění u nižší obruby směrem proti směru příčného sklonu viz. obrázek 23.



Obrázek 23 - HUTNĚNÍ POVRCHU S JEDNOSTRANNÝM SKLONEM MEZI OBRUBAMI [vlastní schéma]

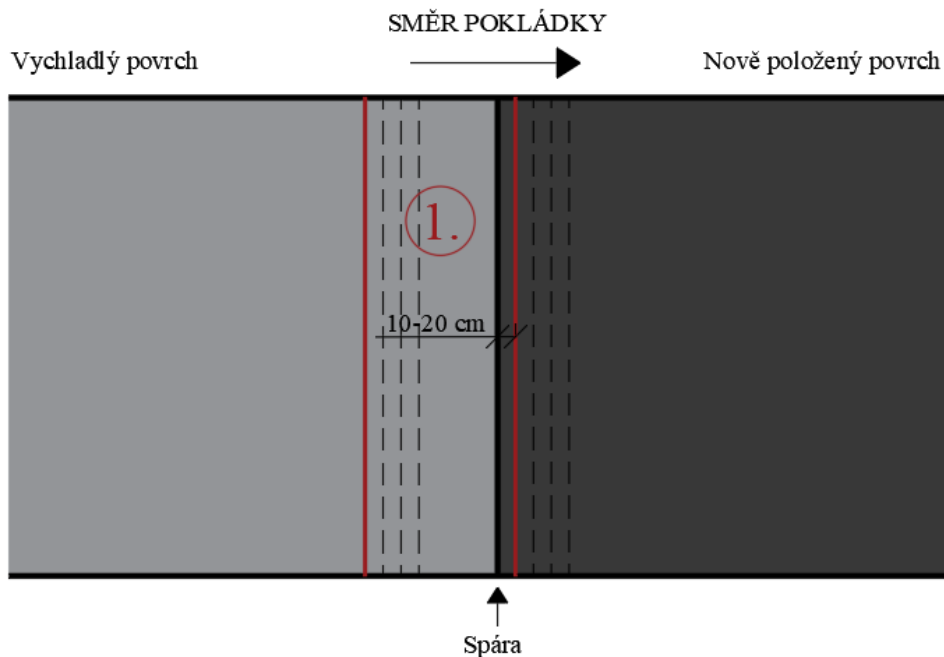
- U vozovek s volným krajem je potřeba první pojezd odsadit alespoň o 15 cm od kraje a nedohutněný úsek zválcovat až při druhém pojezdu naopak s převisem běhounů o 15 cm od hrany vozovky (obrázek 24). Tím se zamezí rozjždění směsi do stran. Je možné oba pojezdy spojit do jednoho při vyosení běhounů válce, kde přední běhoun je od kraje odsazený a zadní běhoun hutní hranu.



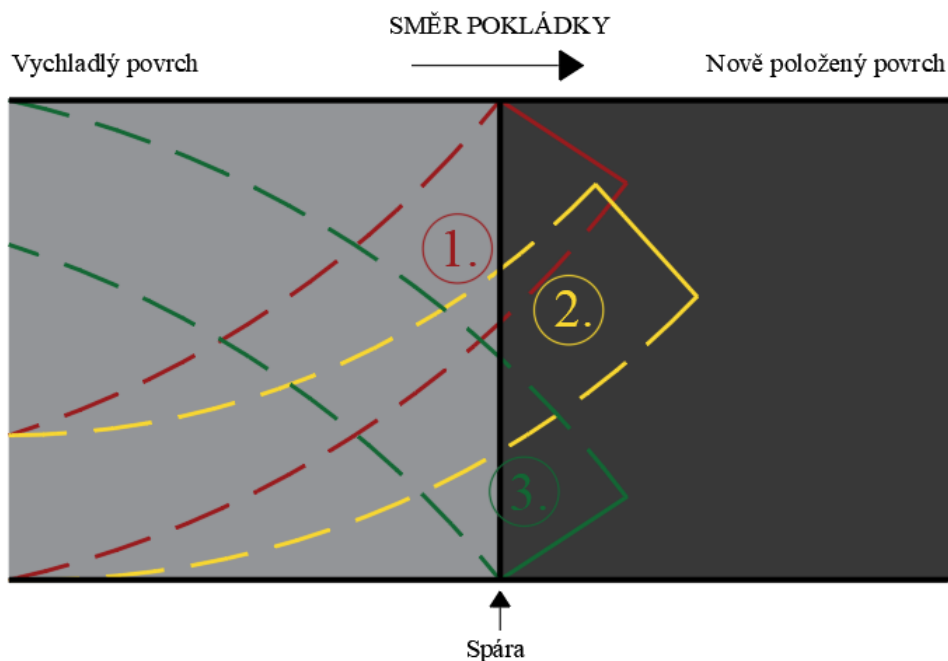
Obrázek 24 - HUTNĚNÍ POVRCHU S JEDNOSTRANNÝM SKLONEM S VOLNÝMI OKRAJI [vlastní schéma]



- Způsob hutnění příčných spár závisí na tom, kolik prostoru má válec pro válcování. Pokud to lze, je nejvhodnější způsob hutnit příčnou spáru ve směru orientace spáry kolmo ke směru pokládky nejdříve s největší částí běhounu na vychladlém povrchu a přesahem 10-20 cm na nově položenou směs. Další pojezdy odsazovat postupně o stejnou vzdálenost alespoň 4x (obrázek 25). Jestli tento způsob nelze provést, hutníme příčné spáry pomocí několika oblouků, které pokryjí celou její šířku (obrázek 26). Nikdy by nemělo nastat hutnění jakékoli spáry tak, že by hrana běhounu překrývala hranu spáry.



Obrázek 25 - HUTNĚNÍ PŘÍČNÉ SPÁRY S DOSTATEČNÝM PROSTOREM [vlastní schéma]

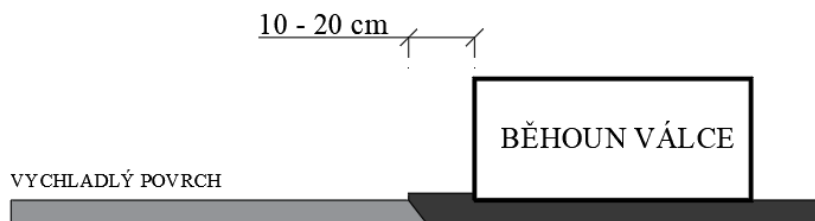


Obrázek 26 - HUTNĚNÍ PŘÍČNÉ SPÁRY BEZ VOLNÉHO PROSTORU [vlastní schéma]

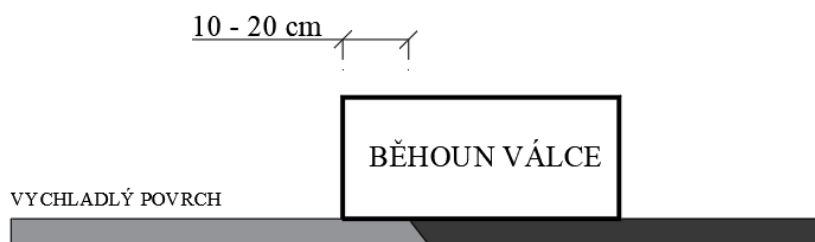


- Podélné spáry se hutní s větší částí běhounu na vychladlém povrchu a přesahem 10-20 cm na nově položené směsi, jestli k tomu máme prostor v závislosti na dopravě. Pokud tomu tak není, je první pojezd odsazen od spáry na hutěnou plochu a druhý pojezd přejíždí spáru s přesahem 10-20 cm na vychladlou část komunikace. Je možnost vyosení běhounů pro zhutnění obou pruhů najednou.

1. POJEZD



2. POJEZD



Obrázek 27 - HUTNĚNÍ PODÉLNÉ SPÁRY BEZ MOŽNOSTI ZÁSAHU DO VEDLEJŠÍHO PRUHU
[vlastní schéma]



3.4. Metody kontroly míry zhutnění asfaltových směsí

Míra zhutnění je jeden z mnoha kvalitativních parametrů při kontrole provedení asfaltových vrstev a její požadavky jsou určeny normou ČSN 73 6121 (tabulka č. 39). Veličina míry zhutnění se vyjadřuje v procentech a určuje stav zhutnitelnosti směsi poměrem objemové hmotnosti realizované vrstvy s požadovanou objemovou hmotností (např. Marshallova tělesa hutněným rázovým zhutňovačem). Dodržení požadované míry zhutnění je nutné pro dosažení potřebných mechanicko-fyzikálních vlastností směsi, jako je např. tuhost, odolnost vůči šíření trhlin, pevnost. [8]

Vrstva	Označení směsi	Zkušební postup		Požadovaná hodnota (%)	
		Míra zhutnění ^b	Mezerovitost vrstvy ^b	Míra zhutnění ^{c, d, e}	Mezerovitost vrstvy
Obrusná	ACO D (+)	ČSN 73 6160	ČSN EN 13108-20 ed. 2:2018, tabulka B.1, řádek 3 a ČSN 73 6160	min. 96,0; Ø 98,0	2,0 až 6,0
	ACO D (bez)		ČSN EN 13108-20 ed. 2:2018, tabulka B.1, řádek 3 a ČSN 73 6160	min. 96,0	1,5 až 6,0
	ACO D CH; PA D; AKO D ^f		–	min. 95,0 min. 90,0 ^g	–
	SMA D (S)		ČSN EN 13108-20 ed. 2:2018, tabulka B.5, řádek 3 a ČSN 73 6160	min. 96,0; Ø 98,0	2,0 až 7,0
	SMA D (bez)			min. 96,0	2,0 až 7,5
Ložní	ACL D (S)	ČSN 73 6160	ČSN EN 13108-20 ed. 2:2018, tabulka B.1, řádek 3 a ČSN 73 6160	min. 96,0; Ø 98,0	3,0 až 8,0
	ACL D (+, bez)			min. 96,0	
Podkladní	ACP D (S)	ČSN 73 6160	ČSN EN 13108-20 ed. 2:2018, tabulka B.1, řádek 3 a ČSN 73 6160	min. 96,0; Ø 98,0	3,0 až 10,0
	ACP D (+)			–	

^a Platí pouze pro vrstvy o projektované tloušťce ≥ 30 mm. Pro vrstvy BBTM se výše uvedené parametry nestanovují.

^b Požadované parametry se stanovují na vývrtech; nedestruktivně lze stanovit parametry při pokládce vrstvy a po dohodě zhotovitele s objednatelem i při kontrolních zkouškách hotové vrstvy; u vozovek mostních objektů se provádí stanovení nedestruktivně.

^c Na hodnoceném úseku může být maximálně 20 % výsledků v intervalu 96 % až 97 %, zbývajících 80 % výsledků musí být ≥ 97 %. Neplatí pro vrstvu ACO D CH; PA D; AKO D.

^d Průměrné hodnoty platí pro hodnocený úsek s projektovanou tloušťkou vrstvy 50 mm a větší (s $D \geq 16$ mm) a 40 mm a větší (s $D \leq 11$ mm), v případě nesplnění požadované \varnothing míry zhutnění je rozhodující mezerovitost vrstvy.

^e Pokud se míra zhutnění stanovuje na základě vztažných objemových hmotností zjištěných z přeformovaných zkušebních těles (vývrty, výseky), může být minimální míra zhutnění 96 % a neplatí poznámka c této tabulky.

^f Uvedené hodnoty míry zhutnění platí také pro ložní a podkladní vrstvy.

^g Hodnota platí při použití vrstev AKO D ve sportovních plochách.

Tabulka 39 - POŽADOVANÉ MÍRY ZHUTNĚNÍ [8]



3.4.1. Destruktivní metody kontroly

Při destruktivních metodách dochází k narušení vrstvy ztuhlé vrstvy. Obvykle se vzorek odebírá odvrátáním jádrových vývrtů, popřípadě se míra ztuhnutí může určit na výsekách vrstvy. [8]

Pro danou stavbu by měl být zhotovený kontrolní zkušební plán, který určuje četnost provádění kontroly míry ztuhnutí a je určen normou ČSN 73 6121.

Na jednotlivých vzorcích se objemová hmotnost zjistí laboratorně obvykle metodou SSD (*metoda je dopodrobna popsána v praktické části*). Pro splnění požadavků musí být poměr objemové hmotnosti vývrtu a Marshallova tělesa větší než 96 % (viz tabulka č. 39^e)

3.4.2. Nedestruktivní metoda kontroly radiometrickou sondou Troxler

Radiometrická sonda Troxler se používá pro okamžité měření objemové hmotnosti, mezerovitosti a míry ztuhnutí asfaltových vrstev. Tyto veličiny měří pomocí technologie šíření vln gama záření skrz materiál a jejich zpětném odrazu. Radiace gama záření je způsobena radioaktivním zdrojem (např. Cesium-137), které se pro aktivaci měření spustí na povrch vrstvy. Pro dosažení nejpřesnějších výsledků je vhodné přístroj zkalibrovat [28]

Měřený povrch by měl být rovný, čistý a hladký. Před samotným měřením se do přístroje zadávají hodnoty maximální objemové hmotnosti, požadované objemové hmotnosti Marshallových těles a tloušťka vrstvy. Výhodou této metody je bezpochyby její rychlost, při které jsme popřípadě schopni určit efektivitu jednotlivých pojezdů válce po asfaltové směsi. Nevýhodou je nepřesnost metody. Pro dosažení přesného výsledku je potřeba provést větší počet měření a uvažovat jejich průměrnou hodnotu.



Obrázek 28 - RADIOMETRICKÁ SONDA TROXLER [vlastní zdroj]



PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část je zaměřena na stanovení vlastností asfaltové směsi ACP 32. Je rozdělena do tří hlavních částí: návrh směsi, pokládka ACP 32 a následné laboratorní zkoušky směsi na Marshallových tělesech a vývrtech ze stavby. Cílem je stanovení průběhu míry zhutnění jednotlivých pojezdů válce s použitím různých druhů hutnicích účinků, zkoumání chování směsi při přidání R-materiálu, určení rozdílů výsledků zkoušek mezi Marshallovými tělesy a vývrty a na závěr celkové porovnání zjištěných fyzikálně-mechanických vlastností směsí s požadavky pro OKH z normy ČSN 73 6121 z roku 1994 a AC 32 ze slovenských aktuálních předpisů.

Z důvodu mého zaměstnání ve firmě EKOSTAVBY Louny s.r.o. na pozici stavbyvedoucího pokládky asfaltových směsí, byl celý průběh pokládky realizován pod mým vedením od nastavení parametrů obalovny pro míchání směsi, volby strojů a počtu nákladních aut po samotnou pokládku.

4. Návrh směsí ACP 32

Pro účel zkoumání vlivu R-materiálu byly navrženy dva typy směsí. První směs neobsahovala žádný recyklovaný materiál a do druhé bylo přidáno 40 % R-mat. Maximální možné dávkování, které je povoleno normou ČSN 73 6121 pro směsi ACP 22+ (60 %), nebylo použito z důvodu nulových zkušeností s chováním směsi a hrozbě možnosti ucpání paralelního bubnu obalovny v kombinaci velkého zrna kameniva s vysokým dávkováním R-mat.

Pro oba druhy směsí byl použit silniční asfalt 50/70. Norma ČSN 73 6121 stanovuje, že při míchání směsí s nemodifikovaným asfaltem a dávkováním větším než 15 % R-mat., je potřeba použít asfaltové pojivo měkčí gradace nebo rejuvenátory tak, aby výsledná penetrace a bod měknutí odpovídaly výsledné deklarované gradaci pojiva. Tento požadavek byl opomenut z důvodu sledování vlivu R-materiálu na směs se stejným typem asfaltového pojiva. [8]

Směsi byly sestaveny s použitím kameniva z čedičového kamenolomu Měřunice a vápenný filer byl získán z vápenky Čertovy Schody. Pro možnost namíchání ACP 32 bylo využito kamenivo frakce 8/32. Ačkoli dávkování takto široké frakce není pro návrh konzistentní, z důvodu homogenosti směsi kameniva a jeho objemových hmotností, byly všechny frakce brány z kamenolomu Měřunice, který bohužel užší frakci neposkytuje.



4.1. Vlastnosti kameniva

4.1.1. Stanovení zrnitosti frakcí kameniva

Pro co nejpřesnější návrh křivky zrnitosti směsi kameniva pro asfaltovou směs bylo zapotřebí zjistit zrnitost jednotlivých frakcí, obzvláště pak frakce 8/32, pro kterou nebyly dostupné žádné podklady z dřívějších použití. Směs kameniva obsahovala frakce 0/4, 4/8, 8/11, 11/16, 8/32 a kamenivo z R-materiálu frakce 0/16. Odběr vzorků proběhl přímo v areálu obalovny firmy EKOSTAVBY Louny s.r.o., která má R-materiál a kamenivo nízkých frakcí zastřešeny z důvodu redukce vlhkosti.



Obrázek 29 – ZASTŘEŠENÉ KAMENIVO FRAKCE 0/4 [vlastní zdroj]



Obrázek 30 – DEPA KAMENIVA HRUBŠÍCH FRAKČÍ [vlastní zdroj]



Obrázek 31 - ZASTŘEŠENÝ R-MATERIÁL 0/16 [vlastní zdroj]



Obrázek 32 - KAMENIVO FRAKCE 8/32 [vlastní zdroj]



Frakce byly podrobeny síťovému rozboru dle ČSN EN 933-1 *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Síťový rozbor*. Zkouška spočívá ve stanovení zrnitosti pomocí sestavy sít, které jsou vertikálně uloženy nad sebou od síta s největší velikostí oka (nahore) po síto s nejmenším otvorem (dole) a vibračního zařízení. Celkem bylo použito 14 sít s velikostmi čtvercových ok 45 mm; 31,5 mm; 22,4 mm; 16 mm; 11,2 mm; 8 mm; 5,6 mm; 4 mm; 2 mm; 1 mm; 0,5 mm; 0,25 mm; 0,125 mm a 0,063 mm.

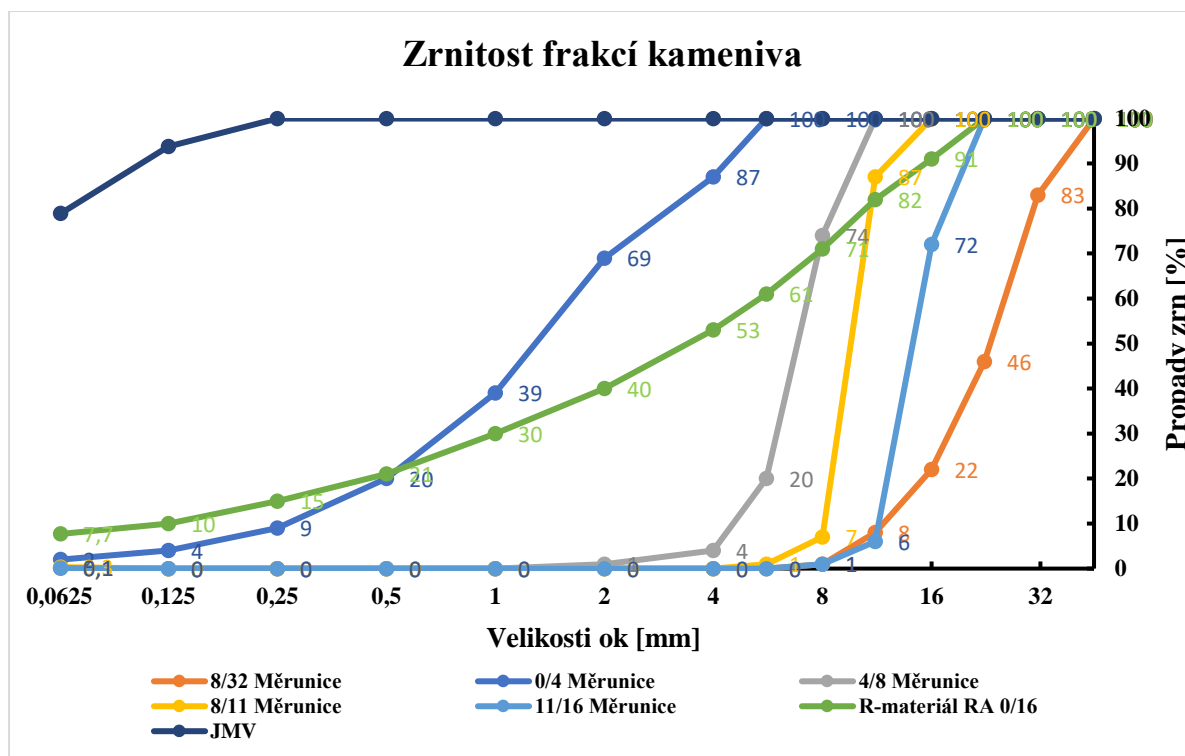
Nejprve se směs kameniva vysype na sloupec sít. Třesení vibračního zařízení vyvozuje propady zrn danými síty sloupce a zkouška probíhala, dokud nedošlo ke kompletnímu prosetí, což v mém případě bylo 30 minut. Síta se poté jednotlivě odebírají od síta s největší velikostí oka a pro důkladné prosetí je každým sítem zatřeseno navíc ještě ručně. Jednotlivé propady se následně vyjádří v procentech podílu zastoupení hmotnosti kameniva daného síta a celkové navážky. [29]



Obrázek 33 – PŘÍSTROJ PRO MECHANICKÉ PROSÉVÁNÍ [vlastní zdroj]



Obrázek 34 – SÍTA PRO STANOVENÍ ZRNITOSTI KAMENIVA [vlastní zdroj]



Graf 1 - ZRNITOST FRAKČÍ KAMENIVA

4.1.2. Složení směsí kameniva

Křivka zrnitosti směsi kameniva byla navržena dle procentuální navážky zastoupených frakcí, kde snahou bylo dodržet podobné dávkování frakce 8/32 u obou směsí, aby došlo k dodržení požadavku pro možnost konzistentního porovnání výsledků. Obory zrnitosti byly zadány dle ČSN 73 6121 z roku 1994, ale hlavním cílem byl návrh čáry zrnitosti podle Füllerovy křivky.

4.2. Stanovení minimálního obsahu asfaltového pojiva

České normy směs ACP 32 neobsahují a z toho důvodu byl minimální obsah asfaltového pojiva stanoven ze slovenských předpisů na 3,8 % hmotnosti. [9]

Z důvodu vysoké objemové hmotnosti kameniva z kamenolomu Měřunice byla hodnota minimálního obsahu asfaltového pojiva, pro asfaltovou směs bez přidání R-materiálu, upravena dle postupu určeného normou ČSN 73 6121, použitím korelačního součinitele. Požadovaná hodnota 3,8 % je určená pro směs kameniva s objemovou hmotností 2,650 Mg/m³. Směs kameniva pro ACP 32 bez R-mat. má průměrnou objemovou hmotnost 3,043 Mg/m³. Korelační koeficient α je podílem objemové hmotnosti uvedené normou a skutečné objemové hmotnosti kameniva. Výpočet výsledného minimálního obsahu pojiva v % hmotnosti je: [8]

$$B_{min} = 3,8 * \frac{2,650}{3,043} = 3,4 \%$$

Vzorec 1 - VÝPOČET MINIMÁLNÍHO OBSAHU ASFALTOVÉHO POJIVA KORELAČNÍM KOEFICIENTEM [8]



4.3. Křivky zrnitosti

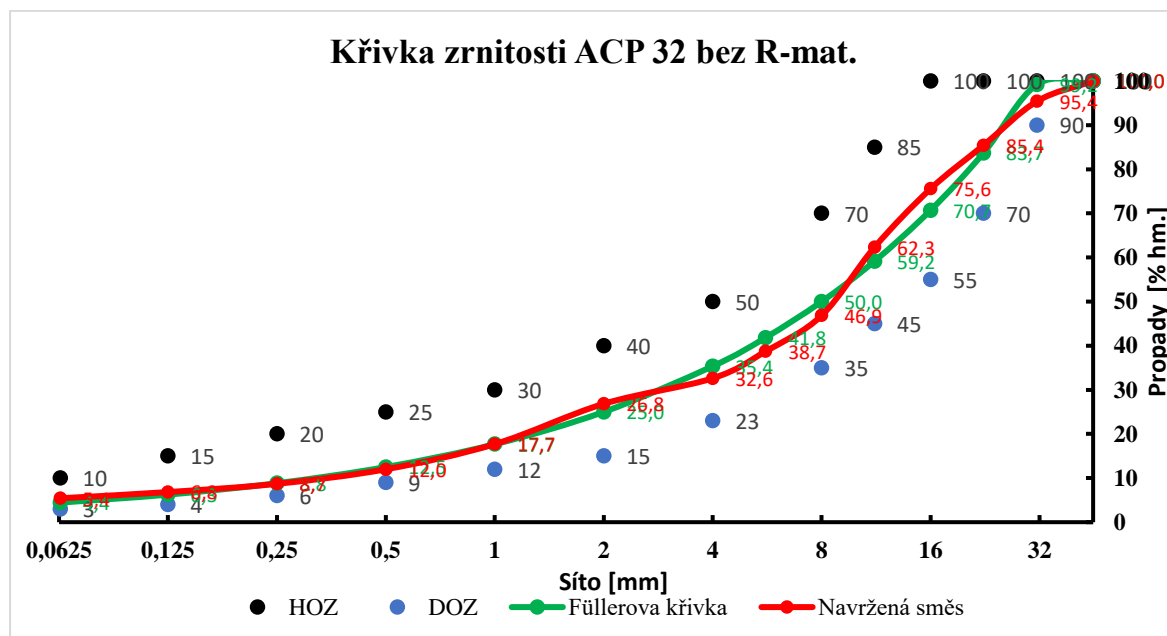
Receptury pro směsi jsou uvedeny v tabulkách 40 a 41 s hodnotami navážky pro míchání v laboratorní míchačce. Obsah asfaltového pojiva v R-materiálu je 5,1 %. Při míchání ACP 32 s 40 % R-materiálu bylo přidáno 1,9 % asfaltového pojiva 50/70 pro dosažení požadované hodnoty 3,9 %.

ACP 32 BEZ R-MATERIÁLU		
FRAKCE	ZASTOUPENÍ [%]	NAVÁŽKA [g]
0/4	28,9 %	2890,0
4/8	12,5 %	1250,0
8/11	11,6 %	1160,0
11/16	11,6 %	1160,0
8/32	26,1 %	2610,0
Filler	5,8 %	580,0
R-mat.	0,0 %	0,0
pojivo 50/70	3,5 %	350,0
SUMA	100,0 %	10000,0

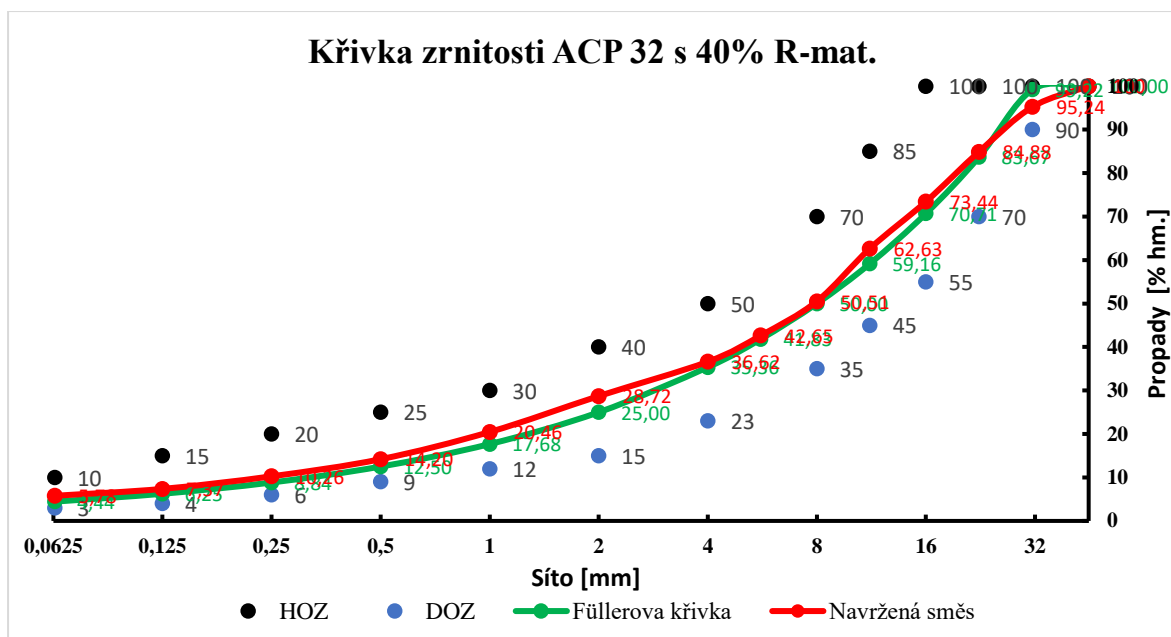
ACP 32 S 40 % R-MATERIÁLU		
FRAKCE	ZASTOUPENÍ [%]	NAVÁŽKA [g]
0/4	13,5 %	1350,0
4/8	5,7 %	570,0
8/11	4,8 %	480,0
11/16	3,9 %	390,0
8/32	26,9 %	2690,0
Filler	2,9 %	290,0
R-mat.	38,4 %	3840,0
asf. pojivo	3,9 %	390,0
SUMA	100,0 %	1000,0

Tabulka 41 - RECEPTURA ACP 32 BEZ R-MATERIÁLU Tabulka 40 - RECEPTURA ACP 32 S 40 % R-MATERIÁLU

Výsledné křivky zrnitosti určené dle procentuálního zastoupení frakcí kameniva jsou vykresleny v grafech 2 a 3.



Graf 2 - KŘIVKA ZRNITOSTI ACP 32 BEZ R-MAT.



Graf 3 - KŘIVKA ZRNITOSTI ACP 32 S 40 % R-MAT.

5. Analýza návrhových směsí z laboratorní míchačky

Před samotnou výrobou asfaltové směsi v obalovně ve velkém množství, bylo zapotřebí ověřit, zda navržená směs splňuje předepsané požadavky na zrnitost, minimální obsah asfaltového pojiva a mezerovitost.

Požadavky na zrnitost a minimální obsah kameniva byly již stanoveny v předchozí kapitole. Co se týče mezerovitosti, hodnoty pro minimální a maximální mezerovitost byly převzaty ze slovenských předpisů, které stanovují $V_{\min} = 4 \%$ a $V_{\max} = 9,0 \%$. Avšak snahou bylo navrhnout směs tak, aby nebyla příliš mezerovitá a při realizaci asfaltové vrstvy s předpokladem průměrné míry zhutnění 98,0 %, měla mezerovitosti kolem 7,0 %. To znamená, že bylo potřeba, aby Marshallova tělesa při hutnění rázovým zhutňovačem měla mezerovitost průměrně 5,5 %.

5.1. Výroba směsí v laboratorní míchačce

Výroba směsí probíhala dle postupu určeného normou *ČSN EN 12697-35 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 35: Laboratorní výroba směsi*. Pro hutnění namíchaných směsí s asfaltem 50/70 je uvedena referenční teplota 150 °C. S uvážením tepelných ztrát přesunem namíchané směsi a skutečností, že směs s 40 % R-materiálu bude mít menší hodnotu penetrace, byla teplota pro míchání a hutnění stanovena na 160 °C. To současně splňuje podmínku, že maximální teplota míchané směsi v laboratoři nesmí překročit referenční teplotu pro hutnění o více než 20 °C. [30]



Míchání a výroba vzorků probíhala v akreditované laboratoři VIAKONTROL, spol. s.r.o. na pracovišti C v Lounech. Nejprve se kamenivo, filer a asfaltové pojivo navážilo dle tabulek 40, 41 a následně se umístilo do sušárny, kde bylo temperováno na 160 °C (pojivo bylo vloženo později, z důvodu zamezení degradace pojiva dlouhým temperováním, které kamenivo potřebuje). Zároveň se do sušárny umístily i formy pro zhutňování těles, aby se zabránilo zbytečným ztrátám teploty a lepení směsi na povrch formy při výrobě rázovým zhutňovačem.

Do přehřáté laboratorní míchačky (160 °C) se zpočátku vložilo pouze kamenivo bez fileru, které se nechalo promíchat na pár cyklů. Poté se do směsi kameniva přidalo asfaltové pojivo 50/70 a po 30–60 sekundách míchání byl vložen filer. Proces míchání trval celkem 3 minuty pro ACP 32 bez R-materiálu a 5 minut pro ACP 32 s 40 % R-mat. Po dokončení procesu byl zkontrolován stav promíchání směsi.



Obrázek 35 - SUŠÁRNA [vlastní zdroj]



Obrázek 36 - LABORATORNÍ MÍCHAČKA [vlastní zdroj]

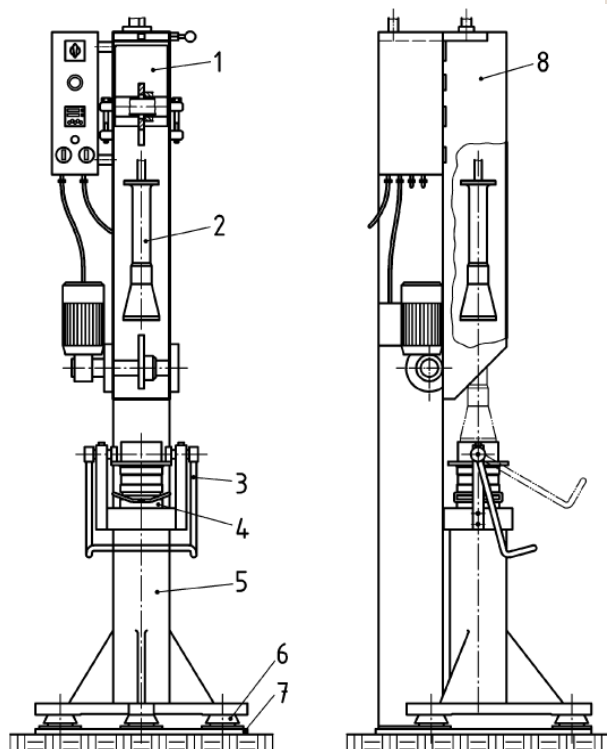
Směsi byly odebrány v navážkách po 1250 gramech do přehřátých nádob. Zbytkové množství se umístilo zpět do sušárny pro pozdější stanovení maximální objemové hmotnosti, zrnitosti a obsahu asfaltového pojiva s použitím extraktoru.



5.2. Výroba Marshallových těles

Výroba Marshallových těles probíhala dle normy ČSN EN 12697-30 *Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem* (ilustrativní schéma rázového zhutňovače viz. obrázek 37). Pro prvotní stanovení vlastností asfaltových směsí byla vytvořena dvě tělesa pro každou směs a z důvodu dodržení předepsaných rozměrů tělesa o průměru ($101,6 \pm 0,1$) mm a výškou ($63,5 \pm 2,5$) mm byla stanovena navážka 1250 gramů. [31]

Slovenské normy mají pro výrobu Marshallových těles směsi AC 32 rázovým zhutňovačem stanovenou hutnicí energií 2 x 75 úderů. Pro účely této práce byla směs hutněna 2 x 50 úderů, aby podmínky přípravy byly stejné jako pro směsi do podkladních vrstev podle českých norem. [8][9]



Obrázek 37 - SCHÉMA RÁZOVÉHO ZHUTŇOVAČE [31]



Obrázek 38 - RÁZOVÝ ZHUTŇOVAČ [vlastní zdroj]

Legenda:

- 1 základní zdvihací zařízení s motorovým pohonem pro hutnicí beran a s počítadlem úderů
- 2 hutnicí pěk s válcovou vodící tyčí hutnicího beranu
- 3 excentrická vačka upínacího zařízení
- 4 podkladní deska formy pro hutnění, na kterou se forma připevní
- 5 zhutňovací podstavec
- 6 patky
- 7 ocelová podkladní deska
- 8 ochranný kryt



Výroba probíhá nejprve složením formy z přehřáté ocelové podložky, válcové formy a nástavce. Na dno formy se umístí separační papír, který zabraňuje přilepení směsi na ocelovou podložku. Asfaltová směs se následně nasype do formy, kde se povrch urovná a vloží se další separační papír. Takto připravená sestava je neprodleně upnuta na podkladní desku zhutňovače a zhutněna 50 údery z každé strany. Při výrobě většího počtu těles je vhodné si jeden separační papír označit, aby bylo zřetelné, zda byla forma otočena. Tělesa se po vychladnutí vyjmou z formy výtlačným zařízením. [31]



Obrázek 40 - HUTNÍCÍ FORMA [vlastní zdroj]



Obrázek 39 - VÝTLAČNÉ ZAŘÍZENÍ [vlastní zdroj]

5.3. Objemová hmotnost SSD

Objemová hmotnost SSD byla stanovena na Marshallových tělesech v souladu s normou ČSN EN 12697-6 *Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa*.

Při zkoušce metodou SSD se postupuje následovně [32]:

- a) Stanoví se hmotnosti suchého tělesa.
- b) Tělesa se ponoří do vodní lázně na minimálně 30 minut (nejdéle však 3 hodiny).
- c) Stanoví se hustota vody při zkušební teplotě.
- d) Stanoví se hmotnost ponořeného, nasyceného zkušebního tělesa, přičemž nesmí docházet k úniku bublin při vážení.
- e) Těleso se vyjme z vodní lázně a povrch se osuší jelenicí.
- f) Hmotnost nasyceného tělesa vodou se stanoví ihned po osušení jelenicí.



Obrázek 41 - STANOVENÍ HMOTNOSTI PONOŘENÉHO TĚLESA VE VODĚ [vlastní zdroj]

Objemová hmotnost SSD zkušebních těles se stanoví výpočtem dle vzorce:

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

Vzorec 2 - OBJEMOVÁ HMOTNOST SSD [32]

Kde:

ρ_{bssd} je objemová hmotnost SSD [Mg/m^3]

ρ_w je hustota vody při zkušební teplotě [Mg/m^3]

m_1 je hmotnost suchého tělesa [g]

m_2 je hmotnost ponořeného tělesa ve vodě [g]

m_3 je hmotnost nasyceného tělesa vodou a povrchově osušeným jelenicím [g]

Hustota vody je vypočtena ze vztahu:

$$\rho_w = 10^{-3} * \left(1,00025205 + \frac{7,59 * t - 5,32 * t^2}{10^6} \right)$$

Vzorec 3 - HUSTOTA VODY PŘI ZKUŠEBNÍ TEPLITĚ [32]

Kde:

ρ_w je hustota vody při zkušební teplotě [Mg/m^3]

t je teplota vody [$^{\circ}\text{C}$]



Výsledné hodnoty zkušebních těles pro směsi ACP 32 bez R-materiálu a ACP 32 s 40 % R-materiálu jsou uvedeny v následujících tabulkách 42 a 43.

ACP 32 BEZ R-MATERIÁLU					
č. vzorku	hmotnost na suchu m_1 [g]	hmotnost pod vodou m_2 [g]	osušená hmotnost m_3 [g]	objemová hmotnost ρ_{bssd} [Mg/m ³]	Ø objemová hmotnost ρ_{bssd} [Mg/m ³]
I.	1246,1	778,7	1250,8	2,635	2,640
II.	1243,8	779,8	1249,3	2,645	
Teplota vody		20 °C		Hustota vody	0,9983 Mg/m ³

Tabulka 42 - OBJEMOVÁ HMOTNOST SSD PRO ACP 32 BEZ R-MATERIÁLU [32]

ACP 32 S 40 % R-MATERIÁLU					
č. vzorku	hmotnost na suchu m_1 [g]	hmotnost pod vodou m_2 [g]	osušená hmotnost m_3 [g]	objemová hmotnost ρ_{bssd} [Mg/m ³]	Ø objemová hmotnost ρ_{bssd} [Mg/m ³]
I.	1252,8	777,7	1260,0	2,593	2,597
II.	1259,8	786,3	1269,9	2,601	
Teplota vody		20 °C		Hustota vody	0,9983 Mg/m ³

Tabulka 43 - OBJEMOVÁ HMOTNOST SSD PRO ACP 32 S 40 % R-MATERIÁLU [32]

5.4. Maximální objemová hmotnost

Zkouška maximální objemové hmotnosti proběhla volumetrickým postupem dle normy ČSN EN 12697-5 *Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti*. Princip stanovení maximální objemové hmotnosti pyknometrem udává hmotnost připadající na jednotku objemu asfaltové směsi bez mezer.

Potřebné pomůcky pro stanovení maximální objemové hmotnosti jsou [33]:

- Destilovaná voda
- Teploměr s přesností $\pm 0,1$ °C
- Váha s přesností $\pm 0,1$ g
- Pyknometr + nástavec o známém objemu
- Vakuová nádoba s vývěvou a manometrem

Před samotnou zkouškou je potřeba připravit vzorky. Asfaltové směsi se vyndají ze sušárny a nasypají se na rovný nelepivý povrch, na kterém se v průběhu chladnutí oddělují jednotlivá zrna a shluky. [33]



Postup zkoušky je následovný [33]:

- a) Stanoví se hmotnost prázdného pyknometru s nástavcem o známém objemu (obrázek 43)
- b) Vzorek se umístí do pyknometru.
- c) Stanoví se hmotnost pyknometru s nástavcem a vzorkem.
- d) Pyknometr se naplní destilovanou vodou maximálně 30 mm pod okraj.
- e) Pomocí vakuové nádoby s vývěvou a manometrem se odstraní vzduch z nádoby se zbytkovým tlakem 4 kPa po dobu 15 minut.
- f) Pyknometr se následně umístí do vodní lázně a nechá se temperovat, dokud se teploty vzorku vody v pyknometru a vodní lázně nevyrovnají (obrázek 42).
- g) Pyknometr se následně doplní destilovanou vodou, která má stejnou teplotu jako voda v pyknometru, na referenční značku nástavce.
- h) Na závěr se pyknometr vyjme z vodní lázně, osuší a ihned se stanoví jeho hmotnost.



Obrázek 42 - VODNÍ LÁZEŇ S VAKUOVOU NÁDOBOU
[vlastní zdroj]



Obrázek 43 - PYKNOMETR S
NÁSTAVCEM [vlastní zdroj]

Pro stanovení maximální objemové hmotnosti je potřeba stanovit hustotu destilované vody. Postup výpočtu je ekvivalentní se vzorcem 3 z kapitoly 5.3. Objemová hmotnost SSD. Teplota destilované vody a sestavy pyknometru se vzorkem ve vodní lázni byla nastavena na 25 °C. Tato teplota odpovídá hustotě vody $\rho_w = 0,9971 \text{ Mg/m}^3$. [32]



Maximální objemová hmotnost se následně stanoví ze vztahu:

$$\rho_{mw} = \frac{m_2 - m_1}{10^{-3} * V_p - \frac{m_3 - m_2}{\rho_w}}$$

Vzorec 4 - MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÁ HMOTNOST [33]

Kde:

- ρ_{mw} je maximální objemová hmotnost směsi [Mg/m³]
 V_p je objem pyknometru s nástavcem [m³]
 m_1 je hmotnost pyknometru a nástavce [g]
 m_2 je hmotnost pyknometru s nástavcem a vzorkem [g]
 m_3 je hmotnost pyknometru s nástavcem, vzorkem a vodou [g]
 ρ_w je hustota vody při zkušební teplotě [Mg/m³]

Výsledné maximální objemové hmotnosti jsou uvedeny v tabulkách 44 a 45.

ρ_{wm} ACP 32 BEZ R-MATERIÁLU		
Hmotnost pyknometru s nástavcem + vzorek – m_2	1727,6	g
Hmotnost pyknometru s nástavcem – m_1	696,4	g
Hmotnost pyknometru s nástavcem + vzorek s vodou – m_3	2685,0	g
Objem pyknometru – V_p	1320,9	mm ³
Teplota vody	25	°C
Zjištěná maximální objemová hmotnost – ρ_{wm}	2,859	Mg/m³
Hustota vody – ρ_w	0,9971	Mg/m ³

Tabulka 44 - MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÁ HMOTNOST ACP 32 BEZ R-MATERIÁLU

ρ_{wm} ACP 32 S 40 % R-MATERIÁLU		
Hmotnost pyknometru s nástavcem + vzorek – m_2	1706,1	g
Hmotnost pyknometru s nástavcem – m_1	703,5	g
Hmotnost pyknometru s nástavcem + vzorek s vodou – m_3	2666,0	g
Objem pyknometru – V_p	1327,8	mm ³
Teplota vody	25	°C
Zjištěná maximální objemová hmotnost – ρ_{wm}	2,746	Mg/m³
Hustota vody – ρ_w	0,9971	Mg/m ³

Tabulka 45 - MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÁ HMOTNOST ACP 32 S 40 % R-MATERIÁLU



5.5. Mezerovitost

Mezerovitost je veličina, která značí objem vzduchových mezer v asfaltovém zkušebním tělese a je vyjádřena v procentech celkového objemu zkušebního tělesa. Způsob stanovení je popsán v ČSN EN 12697-8 *Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí*. [34]

Pro výpočet mezerovitosti je normou definován následující vztah:

$$V_a = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} * 100$$

Vzorec 5 - MEZEROVITOST [34]

Kde:

V_a je mezerovitost tělesa [%]

ρ_m je maximální objemová hmotnost směsi [Mg/m^3]

ρ_b je objemová hmotnost zkušebního tělesa [Mg/m^3]

Dalším ukazatelem je mezerovitost směsi kameniva. Tato veličina popisuje objem mezer mezi zrny kameniva zhutněné asfaltové směsi, který zahrnuje objem mezer vyplněných vzduchem a objem asfaltového pojiva ve zkušebním tělese. [34]

Je vyjádřena z následujícího vzorce:

$$VMA = V_a + \frac{B * \rho_b}{\rho_B}$$

Vzorec 6 - MEZEROVITOST SMĚSI KAMENIVA [34]

Kde:

VMA je mezerovitost směsi kameniva [%]

ρ_b je objemová hmotnost těles [kg/m^3]

ρ_B je objemová hmotnost asfaltového pojiva [kg/m^3]

B je hmotnostní obsah pojiva ve směsi [%]

Jako poslední ukazatel je normou zmíněn stupeň vyplnění mezer pojivem určený vzorcem:

$$VFB = \frac{B * \rho_b}{\rho_B * VMA} * 100$$

Vzorec 7 - STUPEŇ VYPLNĚNÍ MEZER POJIVEM [34]

Kde:

VFB je stupeň vyplnění mezer asfaltovým pojivem [%]



Výsledné hodnoty mezerovitosti pro zkušební tělesa asfaltových směsí jsou popsány v tabulkách 46 a 47.

MEZEROVITOST ACP 32 BEZ R-MATERIÁLU					
č. vzorku	Q_{bssd} [Mg/m ³]	Q_m [Mg/m ³]	Va [%]	VMA [%]	VFB [%]
I.	2,635	2,859	7,8	14,8	47,1
II.	2,645		7,5	14,5	48,2

Tabulka 46 - MEZEROVITOST ACP 32 BEZ R-MATERIÁLU

MEZEROVITOST ACP 32 S 40 % R-MATERIÁLU					
č. vzorku	Q_{bssd} [Mg/m ³]	Q_m [Mg/m ³]	Va [%]	VMA [%]	VFB [%]
I.	2,593	2,746	5,6	13,2	52,9
II.	2,601		5,3	12,9	54,1

Tabulka 47 - MEZEROVITOST ACP 32 S 40 % R-MATERIÁLU

5.6. Obsah rozpustného pojiva

Obsah rozpustného pojiva se stanovil pomocí asfaltového extraktoru s použitím perchlorethylenu podle postupů určených normou ČSN EN 12697-1 *Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 1: Obsah rozpustného pojiva*.

Potřebné pomůcky pro provedení zkoušky jsou: sušárna, extraktor, rozpouštědlo, extrakční koš, patrona, váha. [35]



Obrázek 45 - EXTRAKTOR [vlastní zdroj]



Obrázek 44 – EXTRAKČNÍ KOŠ [vlastní zdroj]



Postup extrakce [35]:

- Separční papír se vloží do patrony po vnitřním obvodu tak, aby zcela přiléhal ke stěně po celé ploše.
- Do zváženého extrakčního koše se vloží asfaltový vysušený vzorek a stanoví se hmotnost vzorku s košem.
- Do extraktoru se vloží koš se vzorkem a patronou a spustí se extrakční program.
- Po dokončení extrakce se stanoví hmotnost kameniva a zachyceného fileru na digitální váze.
- Množství obsahu asfaltového pojiva se stanoví jako poměr hmotností asfaltového pojiva a celkové hmotnosti vzorku.

Výpočet pro stanovení obsahu asfaltového pojiva [35]:

$$S = \frac{[M - (M_1 + M_w)]}{M - M_w} * 100$$

Vzorec 8 - OBSAH ASFALTOVÉHO POJIVA [35]

Kde:

S je obsah rozpustného pojiva [%]

M je hmotnost nevysušeného zkušební vzorku [g]

M₁ je hmotnost kamenivo + filer po extrakci [g]

M_w je hmotnost vody v nevysušeném zkušebním vzorku [g]

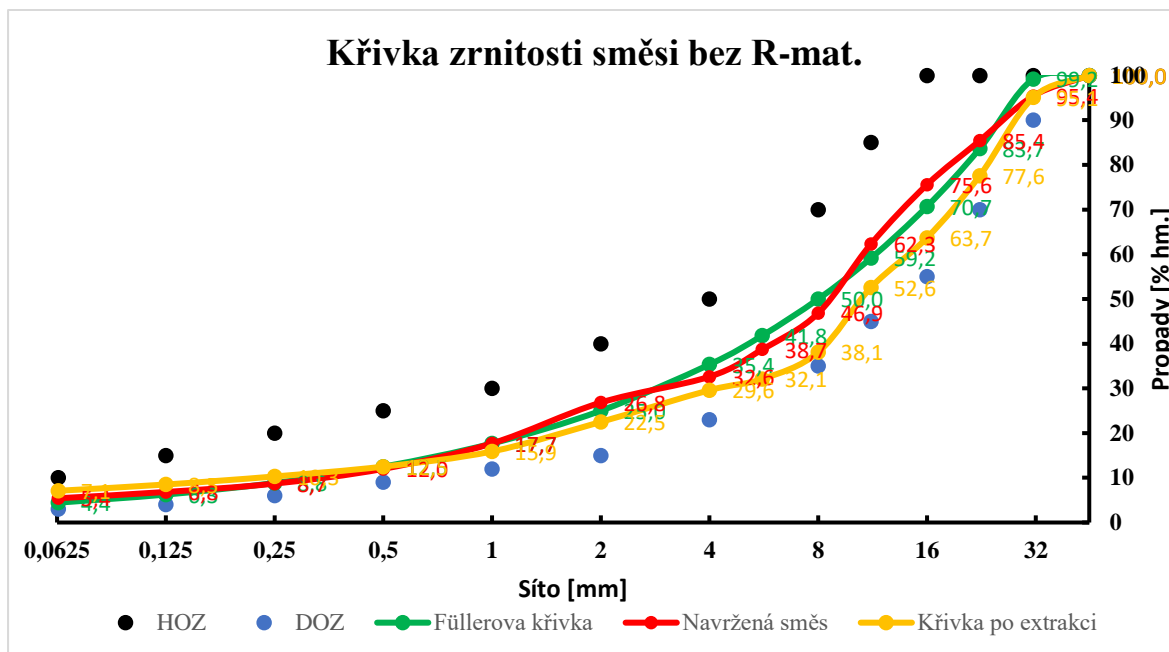
Jelikož použitý vzorek byl vysušený, nepočítalo se s hodnotou M_w a veličina M se uvažovala jako hmotnost vysušeného zkušební vzorku.

OBSAH ASFALTOVÉHO POJIVA		
ACP 32 BEZ R-MAT.	Hmotnost vysušeného vzorku - M	1581,0 g
	Kamenivo + filer - M ₁	1531,7 g
	Obsah rozpustného pojiva - S	3,12 %
ACP 32 S 40 % R-MAT.	Hmotnost vysušeného vzorku - M	1090,9 g
	Kamenivo + filer - M ₁	1051,3 g
	Obsah rozpustného pojiva - S	3,63 %

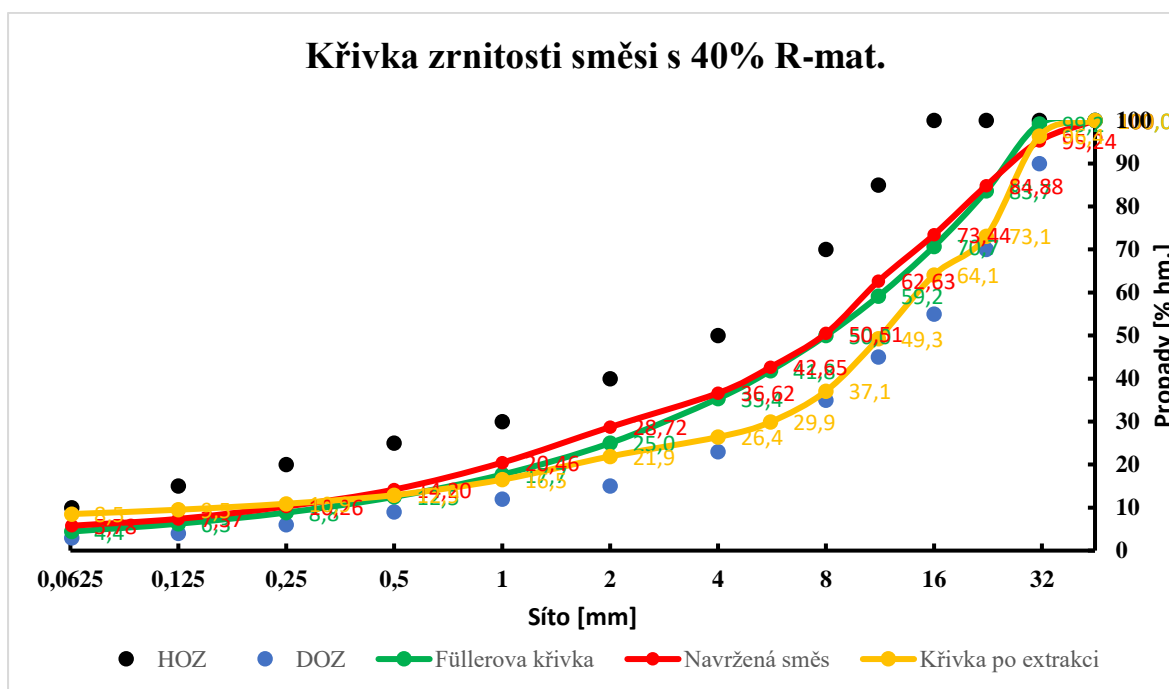
Tabulka 48 - OBSAH ROZPUSTNÉHO POJIVA [35]



Získané kamenivo s filerem bylo po extrakci podrobno síťovým rozbořem s postupem podle kapitoly 4.1.1. Stanovení zrnitosti kameniva. Výsledné propady jednotlivých sítí byly zpracovány do křivek zrnitosti pro porovnání návrhu a skutečnosti.



Graf 4 - KŘIVKA ZRNITOSTI ACP 32 BEZ R-MAT. PO EXTRAKCI



Graf 5 - KŘIVKA ZRNITOSTI ACP 32 S 40 % R-MAT. PO EXTRAKCI



5.7. Vyhodnocení návrhu směsí z laboratorní míchačky

Ačkoli křivky zrnitosti spadaly do oborů zrnitosti, nepodobaly se z velké části Füllerově křivce. V oblasti křivky mezi síty 4 až 31,5 neprobíhaly velké úpravy z důvodu, že při míchání malého množství směsi s takto širokou frakcí vznikají nepřesnosti možným přidáním většího množství menších nebo hrubších zrn při dávkování frakce 8/32. Předpokladem bylo, že při míchání velkého množství směsi v obalovně, bude křivka zrnitosti podobná jako návrhová. Malá změna v dávkování frakcí kameniva proběhla u směsi s 40 % R-materiálu, kde křivka byla mírně posazena výše s většími propady drobných frakcí. Obecně u obou směsí došlo k navýšení dávkování pojiva. Hodnoty obsahů asfaltového pojiva po extrakci byly nižší než minimální stanovená hodnota.

6. Analýza návrhových směsí z obalovny

Nové receptury asfaltových směsí na základě výsledků z předešlé kapitoly jsou uvedeny v tabulkách 49 a 50. U obou směsí došlo ke zvýšení dávkování pojiva a u směsi ACP 32 s 40 % R-materiálu se zvýšilo množství zastoupení frakcí 0/4 a 4/8. Navážka se do programu obalovny zadává v kg/t.

ACP 32 BEZ R-MATERIÁLU		
FRAKCE	DÁVKOVÁNÍ [%]	NAVÁŽKA [kg/t]
0/4	28,8 %	288,0
4/8	12,6 %	126,0
8/11	11,5 %	115,0
11/16	11,5 %	115,0
8/32	25,9 %	259,0
Filler	5,8 %	58,0
R-mat.	0,0 %	0
asf. 50/70	3,9 %	39,0
SUMA	100,0 %	1000,0

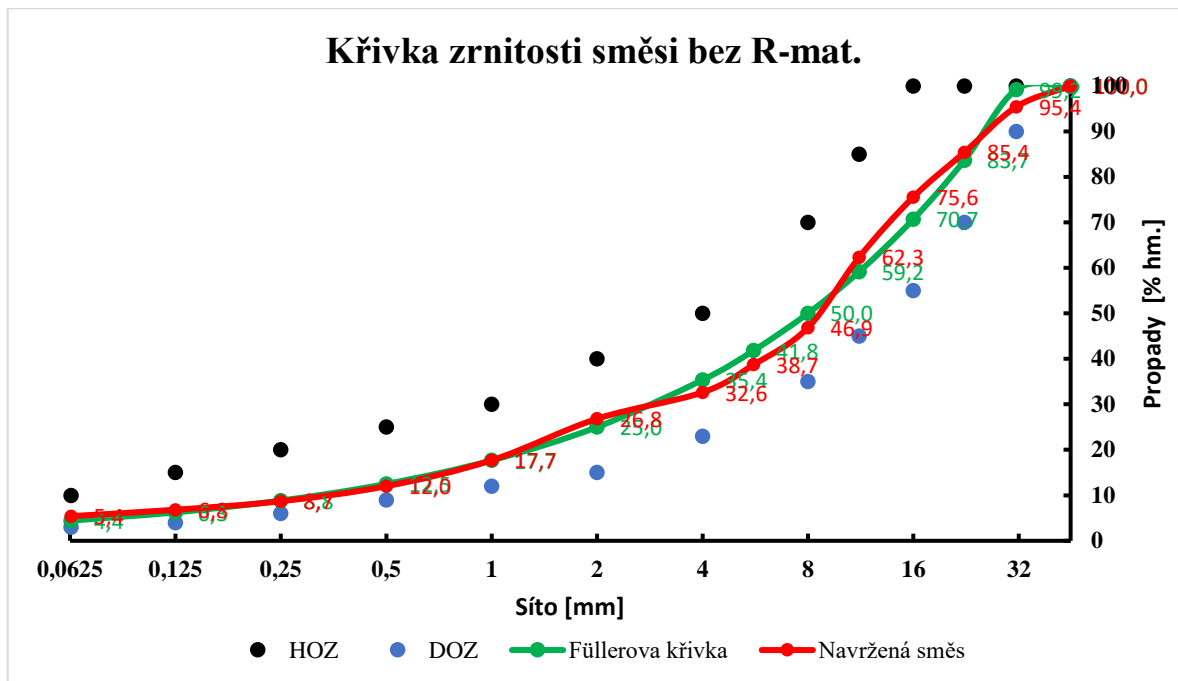
Tabulka 50 - RECEPTURA ACP 32 BEZ R-MATERIÁLU

ACP 32 S 40 % R-MATERIÁLU		
FRAKCE	DÁVKOVÁNÍ [%]	NAVÁŽKA [kg/t]
0/4	15,3 %	153,0
4/8	6,7 %	67,0
8/11	4,8 %	48,0
11/16	3,8 %	38,0
8/32	24,0 %	240,0
Filler	2,9 %	29,0
R-mat.	38,4 %	384,0
asf. 50/70	4,1 %	41,0
SUMA	100,0 %	1000,0

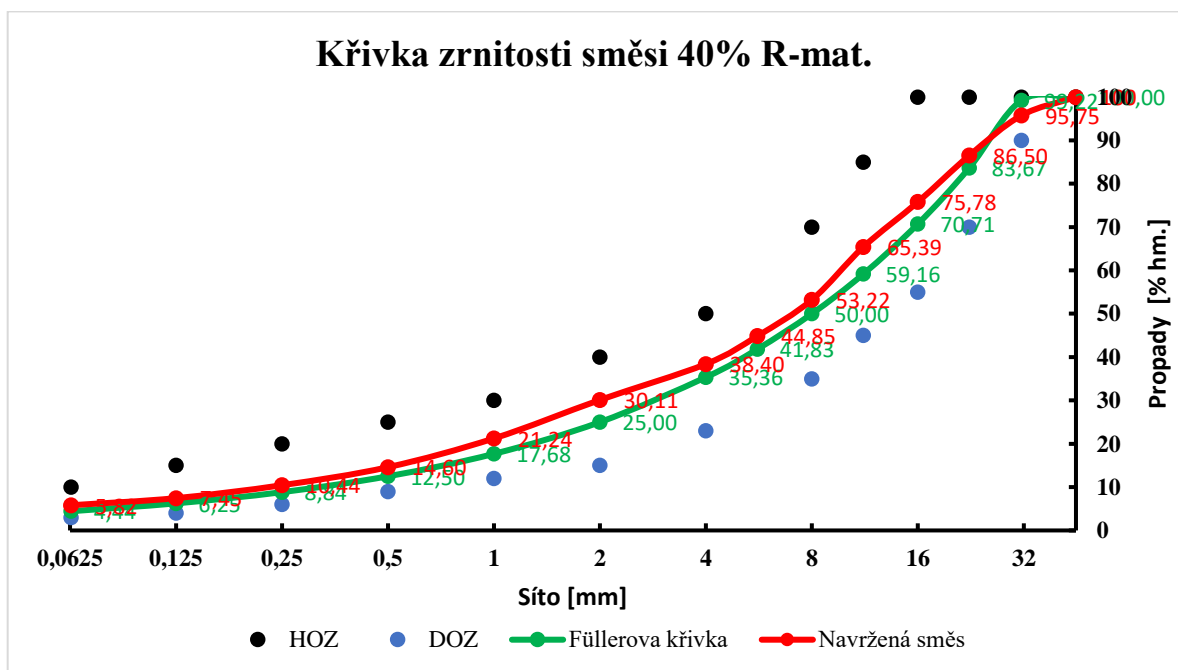
Tabulka 49 - RECEPTURA ACP 32 S 40 % R-MATERIÁLU



Nové návrhové křivky zrnitosti jsou vyznačeny v grafech 6 a 7.



Graf 6 - NÁVRHOVÁ KŘIVKA ZRNITOSTI ACP 32 BEZ R-MATERIÁLU



Graf 7 - NÁVRHOVÁ KŘIVKA ZRNITOSTI ACP 32 S 40 % R-MATERIÁLU



6.1. Výroba směsí v šaržové obalovně

Navržené asfaltové směsi se vyrobily v šaržové obalovně firmy EKOSTAVBY Louny s.r.o. Jedná se o plně automatizovanou, elektricky řízenou obalovnu Benninghoven. Ohřev kameniva je zajištěn hořákem na zemní plyn. Obsahuje tři zásobníky na vyrobené směsi o celkové kapacitě 250 tun. Součástí obalovny jsou 4 sila na silniční asfalt o kapacitě 4x80 tun a paralelní buben pro ohřev recyklovaného materiálu. Výrobní kapacita obalovny při plynulém provozu je 180 t/hod.



Obrázek 46 - ŠARŽOVÁ OBALOVNA EKOSTAVBY Louny s.r.o. [vlastní zdroj]



Obrázek 47 - SUŠÍČÍ BUBEN PRO OHŘEV KAMENIVA
[vlastní zdroj]



Obrázek 48 - SILA NA SILNIČNÍ ASFALT
[vlastní zdroj]



Kamenivo a recyklovaný materiál jsou naváženy do jednotlivých zásobníků, rozdělených podle frakcí, pomocí nakladače a jsou následně dopravené do bubnů pomocí korečkových dopravníků.



Obrázek 49 - ZÁSOBNÍKY NA KAMENIVO [vlastní zdroj]

Receptura asfaltových směsí se zadala do řídicího programu obalovny podle tabulek 49 a 50. Dále byl zvolen míchací čas na 22 sekund pro směs bez R-materiálu a pro směs s 40 % R-materiálu byl čas prodloužen o 5 sekund v souladu s normou ČSN 73 6121. Doba otevření míchačky byla stanovena na 8 sekund pro směs bez R-mat. a 10 sekund pro směs s R-materiálem. Teploty ohřevů jednotlivých materiálů byly nastaveny tak, aby nedocházelo k jejich degradaci a výsledná asfaltová směs měla teplotu 170,0 °C.

Pro zjištění správnosti nastavení obalovny a ověření návrhu bylo vyrobeno 15 tun každé asfaltové směsi, které byly následně položeny na zkušebním úseku určené stavby (viz. následující kapitola 7). Při výrobě byly odebrány vzorky, ze kterých byla vyrobena tělesa a ověřily se vlastnosti směsí. Zkoušky pro ověření vlastností probíhaly stejně jako v kapitole 5. a v této části již nebudou popsány, uvedeny budou pouze výsledky.



Obrázek 50 - ODEBRANÝ VZOREK ACP 32 Z OBALOVNY [vlastní zdroj]



6.2. Objemová hmotnost SSD

ACP 32 BEZ R-MATERIÁLU					
č. vzorku	hmotnost na suchu m_1 [g]	hmotnost pod vodou m_2 [g]	osušená hmotnost m_3 [g]	objemová hmotnost ρ_{bssd} [Mg/m ³]	Ø objemová hmotnost ρ_{bssd} [Mg/m ³]
I.	1245,7	786,5	1246,9	2,701	2,699
II.	1252,8	790,8	1254,2	2,697	
Teplota vody		20 °C		Hustota vody	0,9983 Mg/m ³

Tabulka 51 - OBJEMOVÁ HMOTNOST SSD ACP 32 BEZ R-MATERIÁLU [32]

ACP 32 S 40 % R-MATERIÁLU					
č. vzorku	hmotnost na suchu m_1 [g]	hmotnost pod vodou m_2 [g]	osušená hmotnost m_3 [g]	objemová hmotnost ρ_{bssd} [Mg/m ³]	Ø objemová hmotnost ρ_{bssd} [Mg/m ³]
I.	1259,8	781,7	1264,2	2,607	2,600
II.	1264,6	786,7	1273,6	2,593	
Teplota vody		20 °C		Hustota vody	0,9983 Mg/m ³

Tabulka 52 - OBJEMOVÁ HMOTNOST SSD ACP 32 S 40 % R-MATERIÁLU [32]

6.3. Maximální objemová hmotnost

ρ_{wm} ACP 32 BEZ R-MATERIÁLU	
Hmotnost pyknometru s nástavcem + vzorek – m_2	1692,3 g
Hmotnost pyknometru s nástavcem – m_1	702,3 g
Hmotnost pyknometru s nástavcem + vzorek s vodou – m_3	2656,1 g
Objem pyknometru – V_p	1312,6 mm ³
Teplota vody	25 °C
Zjištěná maximální objemová hmotnost – ρ_{wm}	2,861 Mg/m³
Hustota vody – ρ_w	0,9971 Mg/m ³

Tabulka 53 - MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÁ HMOTNOST ACP 32 BEZ R-MATERIÁLU [33]

ρ_{wm} ACP 32 S 40 % R-MATERIÁLU	
Hmotnost pyknometru s nástavcem + vzorek – m_2	1737,6 g
Hmotnost pyknometru s nástavcem – m_1	703,4 g
Hmotnost pyknometru s nástavcem + vzorek s vodou – m_3	2687,1 g
Objem pyknometru – V_p	1327,8 mm ³
Teplota vody	25 °C
Zjištěná maximální objemová hmotnost – ρ_{wm}	2,754 Mg/m³
Hustota vody – ρ_w	0,9971 Mg/m ³

Tabulka 54 - MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÁ HMOTNOST ACP 32 S 40 % R-MATERIÁLU [33]



6.4. Mezerovitost

MEZEROVITOST ACP 32 BEZ R-MATERIÁLU					
č. vzorku	Q_{bssd} [Mg/m ³]	Q_m [Mg/m ³]	Va [%]	VMA [%]	VFB [%]
I.	2,701	2,861	5,6	15,4	63,7
II.	2,697		5,7	15,5	63,1

Tabulka 55 - MEZEROVITOST ACP 32 BEZ R-MATERIÁLU [34]

MEZEROVITOST ACP 32 S 40 % R-MATERIÁLU					
č. vzorku	Q_{bssd} [Mg/m ³]	Q_m [Mg/m ³]	Va [%]	VMA [%]	VFB [%]
I.	2,607	2,754	5,3	15,3	65,1
II.	2,593		5,8	15,8	63,0

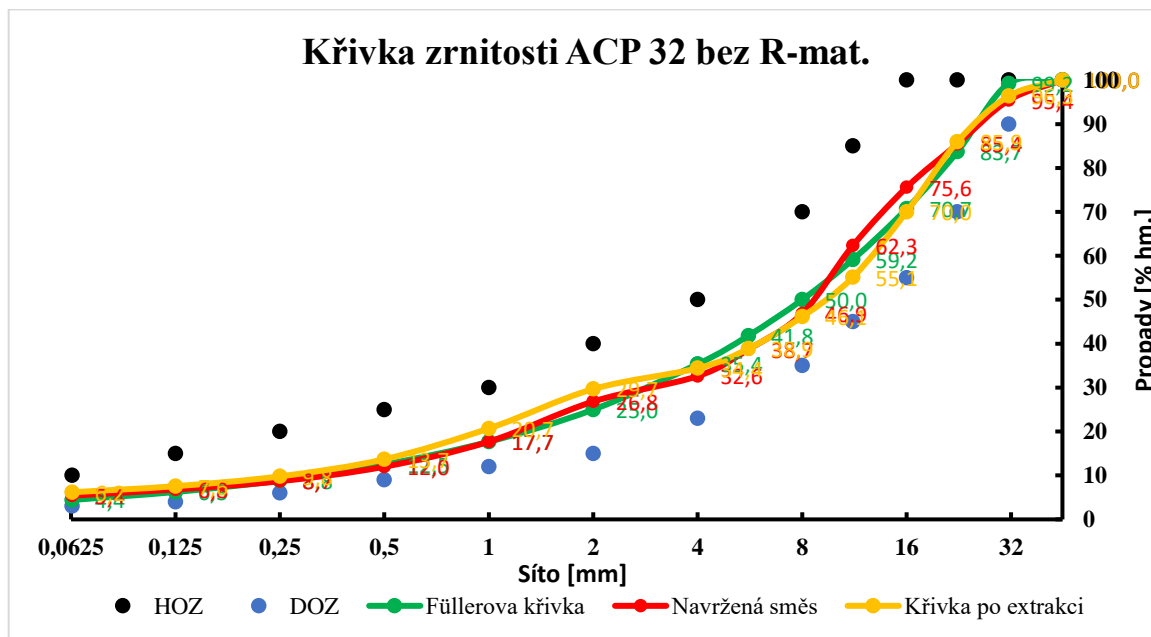
Tabulka 56 - MEZEROVITOST ACP 32 S 40 % R-MATERIÁLU [34]

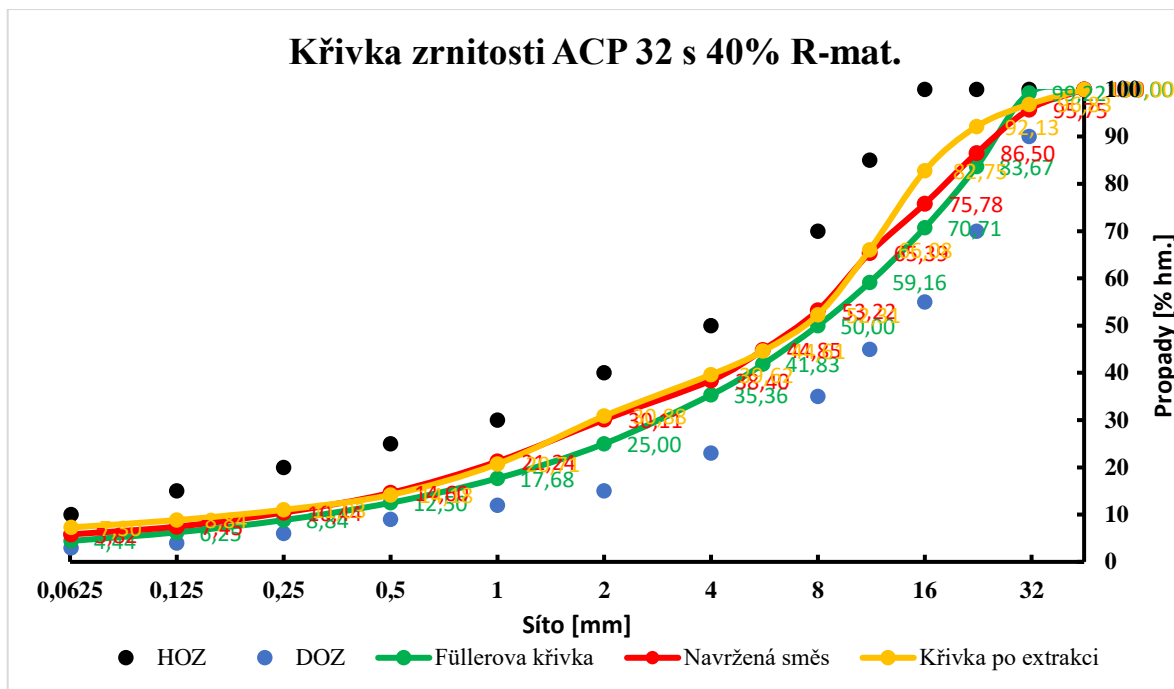
6.5. Obsah rozpustného pojiva

OBSAH ASFALTOVÉHO POJIVA		
ACP 32 BEZ R-MAT.	Hmotnost vysušeného vzorku – M	1018,6 g
	Kamenivo + filer – M ₁	981,8 g
	Obsah rozpustného pojiva – S	3,61 %
ACP 32 S 40 % R-MAT.	Hmotnost vysušeného vzorku – M	1516,0 g
	Kamenivo + filer – M ₁	1456,5 g
	Obsah rozpustného pojiva – S	3,92 %

Tabulka 57 - OBSAH ROZPUSTNÉHO POJIVA ASFALTOVÝCH SMĚSÍ [35]

6.6. Křivky zrnitosti





Graf 9 - KŘIVKA ZRNITOSTI ACP 32 S 40 % R-MATERIÁLU

6.7. Vyhodnocení návrhu směsí z obalovny

Navržené směsi byly označeny jako vyhovující. Mezerovitost odpovídá přibližně požadované hodnotě 5,5 % a obsah rozpustného pojiva splňuje požadavek na minimální hodnotu. Křivky zrnitosti mají příznivý tvar a blíží se Füllerově křivce, na kterou se směs kameniva navrhovala. S těmito recepturami bude tedy provedena i finální pokládka.

Při pokládce zkušebního úseku se asfaltová směs bez R-materiálu zdánlivě nedostatečně promíchala. Z toho důvodu byly míchací časy obalovny u této směsi prodlouženy o 2 sekundy.



7. Pokládka ACP 32

7.1. Realizovaná stavba

Předmětem pokládky byla realizace podkladní vrstvy ACP 32 na stavbě obytné a obchodní zóny Na Homoli v Žatci. Investorem je firma ES Reality, která je součástí skupiny společností kolem firmy EKOSTAVBY Louny s.r.o. Jedná se o developerský projekt zón pro realizaci 130 rodinných a řadových domů, 8 bytových domů a 1,5 hektaru obchodních zón.

Navržené směsi ACP 32 byly položeny na 650 metrovém úseku komunikací s šířkou vozovky 5,4 metrů a jednostranným příčným sklonem 2,0 % po celé délce realizovaného úseku komunikace (obrázek 51). Pro pokládku podkladní vrstvy bylo třeba vyrobit celkem 750 tun navržených asfaltových směsí.



Obrázek 51 – FOTO Z DRONA REALIZOVANÉHO ÚSEKU PODKLADNÍ VRSTVY ACP 32 [vlastní zdroj]

Stavba byla realizována na podzim 2023. Při výstavbě spodní podkladní vrstvy a před samotnou pokládkou proběhlo ověření únosnosti podloží statickými a rázovými (dynamickými) zatěžovacími zkouškami. Po celou dobu pokládky byly monitorovány klimatické podmínky a míra zhutnění při válcování s různými hutnicími účinky. Na závěr byly odvrtány jádrové vývrty pro posouzení fyzikálně mechanických vlastností podkladních směsí.



7.2. Statická zatěžovací zkouška SZZ

Statická zatěžovací zkouška slouží k přímému ověření deformačních charakteristik, které jsme schopni určit na základě hodnot daného statického zatížení a změřených deformací zkoušené vrstvy. [36][37]

Součásti zařízení SZZ [37]:

- Kruhová zatěžovací deska o průměru 300 mm (v případě naší situace), s tuhostí určenou dle ČSN 73 6190.
- Protizátěž, nejčastěji hutnicí válec nebo naložené nákladní auto, ideálně s hmotností vyšší než 12 tun.
- Tenzometrický snímač s přesností 1,0 % nejvyššího zatížení při zkoušce.
- Měřicí nosník s optoelektronickým snímačem dráhy. Podpěry měřicího nosníku mají být od hrany kruhové desky umístěny ve vzdálenosti 1,250 m, při použití desky o průměru 300 mm.
- Počítačová jednotka pro zaznamenání a vyhodnocení měření.
- Hydraulický zatěžovací lis, který musí umožňovat stupňovité zvyšování a snižování síly a její udržování bez kolísání po dobu několika minut.
- Kulový kloub, zajišťující centrické zatížení desky i při nerovnoměrném stlačení vrstvy
- Další pomůcky pro přípravu místa měření (metr, smetáček, vodováha atp.).

Provádění a vyhodnocování SZZ:

Kruhová zatěžovací deska se položí na povrch zkoušené vrstvy, která má být rovná a zbavená všech nečistot a volných zrn. V případě nerovností lze povrch vyrovnat tenkou vrstvou stejnozrného písku se zrnky v intervalu 0,1 až 1,0 mm nebo sádrovou kaší. Zatěžovací deska by měla být vždy uložena tak, aby byla ve vodorovném stavu a zatížení působilo v jejím středu. [36][37]

Následně je kruhová deska opatřena hydraulickým lisem, kulovým kloubem, protizátěží (válec, naložené nákladní auto) s nástavci pro opření o protizátěž a měřicím nosníkem se zařízením pro snímání posunů ve středu desky. [36][37]

Zatížení probíhá s 2 zatěžovacími cykly. Každý cyklus obsahuje nejméně 6 zatěžovacích stupňů a 3 odlehčovací stupně. Na každém zatěžovacím stupni se zatížení udržuje bez kolísání, dokud se neustálí zatlačování desky do podloží (zatlačování považujeme za ustálené, pokud je změna čtení deformace během 3 minut nejvýše 0,05 mm). Výstupem měření je závislost napětí a deformace – hysterezní smyčka. Počítačová jednotka následně vypočítá veličiny E_{def1} , E_{def2} a jejich vzájemný poměr E_{def2}/E_{def1} . [36][37]



Vyhodnocení E_{def} ručním výpočtem probíhá pomocí následujícího vzorce:

$$E_{def} = \frac{1,5 * \Delta p * r}{\Delta y}$$

Vzorec 9 - VYHODNOCENÍ MODULU PŘETVÁRNOSTI [37]

Kde:

E_{def} je modul přetvárnosti [MPa]

Δp je změna kontaktního napětí [MPa]

r je poloměr zatěžovací desky [m]

Δy je změna zatlačení zatěžovací desky při změně napětí Δp [m]

Projektová dokumentace požadovala na spodní podkladní vrstvě $E_{def,2} \geq 80,0$ MPa a na zemní pláni modul přetvárnosti $E_{def,2} \geq 45,0$ MPa, kde poměr $E_{def,2}/E_{def,1}$ nesměl být vyšší než 2,5. Výsledky statických zatěžovacích zkoušek jsou uvedeny v následující tabulce:

Situování zkoušky	Modul přetvárnosti [MPa]		Poměr $E_{def,2}/E_{def,1}$
	$E_{def,1}$	$E_{def,2}$	
Zemní pláň – větev 1 - osa komunikace	35,2	56,8	1,61
Zemní pláň – větev 2 - osa komunikace	28,0	46,4	1,66
Zemní pláň – větev 3 - osa komunikace	55,0	86,1	1,57
Spodní podkladní vrstva – větev 1 - osa komunikace	64,5	112,3	1,74
Spodní podkladní vrstva – větev 2 - osa komunikace	63,0	107,8	1,71
Spodní podkladní vrstva – větev 3 - osa komunikace	73,5	119,0	1,62

Tabulka 58 - VÝSLEDKY SZZ

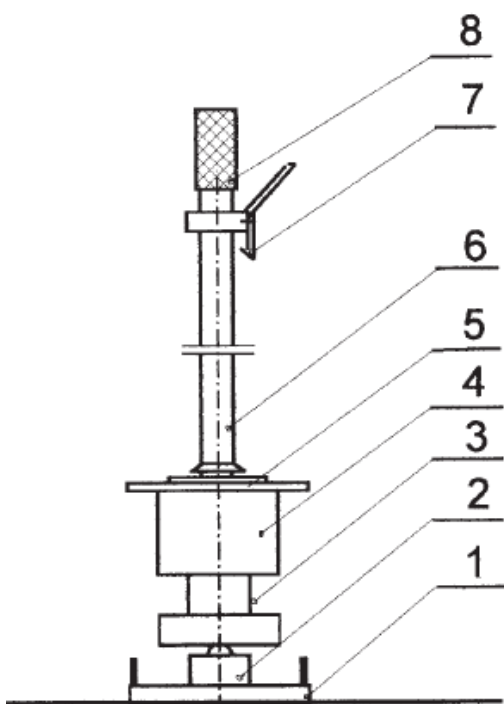


7.3. Rázová zatěžovací zkouška LDD

Výhodou této zkoušky je její rychlost provedení a nenáročnost na zařízení, kde není potřeba aplikace protizátěže jako u statické zatěžovací zkoušky. Metodu lze aplikovat ve stísněných podmínkách např. při hloubení rýh pro inženýrské sítě. Zkouška se provádí dle ČSN 73 6192 *Rázové zatěžovací zkoušky vozovek a podloží s lehkou dynamickou deskou (LDD)*. V našem případě bylo použito rázové zařízení skupiny C.

Součásti zařízení:

- Kruhová zatěžovací deska o průměru 300 mm s tuhostí odpovídající ČSN 73 6190. (1)
- Pouzdra se středícím kloubem a vestavěným absolutním snímačem. (2)
- Tlumicí systém s dosahem rázového pulzu 18 ms. (3)
- Závaží (4) s kruhovou rukojetí (5).
- Vodící tyče závaží. (6)
- Západky pro aretaci závaží. (7)
- Rukojetí. (8)



Obrázek 53 – SCHÉMA ZAŘÍZENÍ RÁZOVÉ ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY [38]



Obrázek 52 - ZAŘÍZENÍ RÁZOVÉ ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY [vlastní zdroj]



Kruhová deska by měla být umístěna na rovném povrchu bez volných zrn a možných nečistot. Zkouška spočívá v měření hodnot průhybů jednotlivými snímači, které jsou vyvolány 3 rázovými účinky závaží o určité amplitudě rázových pulzů zatěžovacích cyklů. Rázovým zařízením skupiny C se získává rázový modul deformace M_{vd} . Tento modul je automaticky vypočítaný elektronickým zařízením, které snímá průběh zkoušky s tím, že Poissonovo číslo je zavedeno jako konstanta s hodnotou 0,2. Pro vyhodnocení rázové zatěžovací zkoušky je nutné korelovat s hodnotami ze zkoušek provedených standardní metodou (např. SSZ). Rázový modul se následně vypočítá z následujícího vzorce: [38]

$$M_{vd} = 1,5 * \sigma * a / y_c$$

Vzorec 10 - RÁZOVÝ MODUL DEFORMACE [38]

Kde:

M_{vd} je rázový modul deformace [MPa]

σ je kontaktní napětí pod zatěžovací deskou [MPa]

a je poloměr zatěžovací desky [mm]

y_c je průhyb pod středem zatěžovací desky [mm]

Rázová zatěžovací zkouška byla provedena pro ověření výsledků únosnosti a hlavně rovnoměrnosti ztuhnutí podkladu po vyrovnávce RA 0/16. Výsledky jsou uvedeny v následující tabulce:

Situování zkoušky	Rázový modul deformace M_{vd} [MPa]	Zkoušeno dle
Spodní podkladní vrstva – větev 1 - osa komunikace	92,8	ČSN 73 6192 skupina C
Spodní podkladní vrstva – větev 2 - osa komunikace	88,9	
Spodní podkladní vrstva – větev 3 - osa komunikace	93,7	

Tabulka 59 - VÝSLEDKY RÁZOVÉ ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY



7.4. Rozprostírání a hutnění směsí

Pokládka navržených směsí probíhala v průběhu tří dnů na přelomu října a listopadu. Z důvodu velkého množství kanalizačních poklopů šachet, vodovodních hrnků, vpustí a nedostatečných poloměrů oblouků přístupových cest na stavbu, nebylo možné použít návěsové soupravy, takže pro dostatečné zásobování finišeru asfaltovou směsí bylo tedy zvoleno 5 nákladních aut 8x4 s kapacitou převozu 18 tun směsi. To znamená, že na jednu otoč bylo možné položit 90 tun.



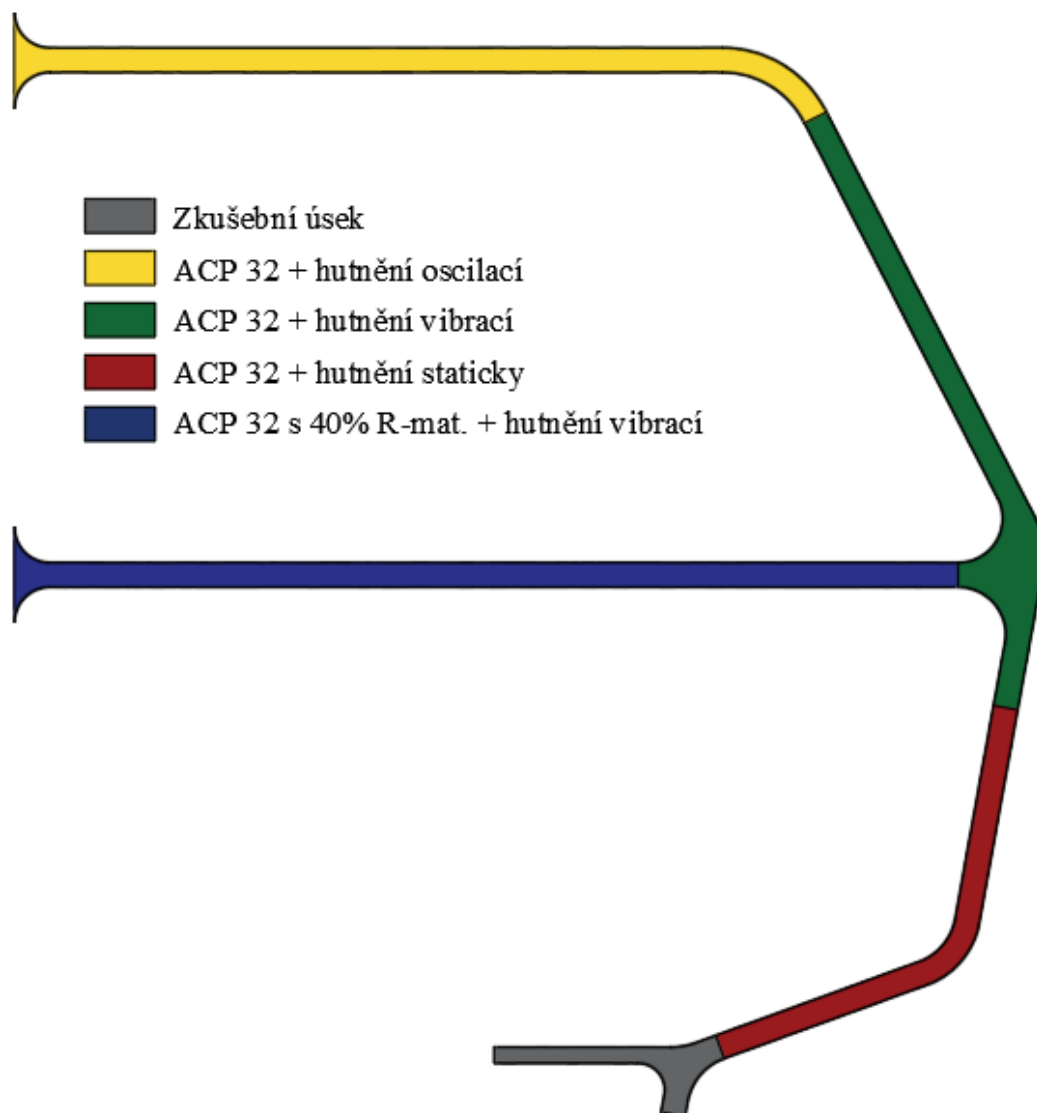
Obrázek 54 - SKLÁPĚČ 8x4 SCANIA P 410 [vlastní zdroj]

Dopravní vzdálenost z obalovny na stavbu byla pro nákladní auto přibližně 30 minut. Krátká dojezdová vzdálenost zajistila minimální ochlazování směsi a tím dobrou zpracovatelnost při pokládce. Proti ochlazování a znečišťování byla asfaltová směs chráněna zaplachtováním kovové korby nákladního auta a proti nalepování asfaltové směsi na povrch korby bylo zabráněno použitím separačního prostředku.



Před začátkem pokládky byla stavba rozdělena do úseků podle použitých hutnicích účinků silničního válce a typu pokládané směsi (obrázek 55).

Malá část stavby byla vyhrazena pro zkušební úsek, ze kterého se odebraly vzorky pro ověření volumetrických vlastností směsí (viz kapitola 6.) a současně zjištění potřebného nastavení strojů tak, aby předhutnění (míra zhutnění) finišeru bylo alespoň vyšší než 80 % pro zajištění dobrých podmínek pro válcování.



Obrázek 55 - SCHÉMA ROZDĚLENÍ ÚSEKŮ STAVBY [vlastní zdroj]

Asfaltová směs ACP 32 bez R-materiálu byla hutněna staticky, oscilací a vibrací a směs s 40 % R-mat. byla hutněna pouze vibračním účinkem.



7.4.1. Rozprostírání směsí

Zvolený stroj pro pokládku směsí byl pásový finišer Vögele SUPER 2100-2. Tento finišer byl zvolen z důvodu jeho vysokého výkonu a možnosti roztažení lišty AB 600 TV na 6 metrů délky, což bylo ideální pro pokládku na jeden záběr při jednostranném sklonu vozovky o šířce 5,4 metrů.



Obrázek 56 - PÁSOVÝ FINIŠER VÖGELE SUPER 2100-2 S LIŠTOU AB 600 TV NA STAVBĚ [vlastní zdroj]

Vögele SUPER 2100-2 s lištou AB 600 TV	
Provozní hmotnost [t]	22,5
Kapacita násypky [t]	14
Podvozek	pásový s gumovými podložkami
Maximální výkon [t/h]	1100
Šířka pokládky [m]	3,0 až 6,0
Maximální tloušťka pokládky [mm]	30
Rychlost finišeru při pokládce [m/min]	až 25,0
Amplitudy tamperů [mm]	2, 4 a 7
Volitelná rychlost tamperů [ot/min]	až 1800
Rychlost vibrační desky [ot/min]	až 3000

Tabulka 60 - SPECIFIKACE VÖGELE SUPER 2100-2 + AB 600 TV [16]



Před pokládkou byla nahřáta pokládková lišta a proběhlo iniciální nastavení finišeru. Ze zkušeností z pokládky zkušebního úseku, byly tampery nastaveny na amplitudu 4 mm s rychlostí 1300 ot/min a vibrační deska na 2500 ot/min. Proti nalepování asfaltové směsi na stěny násypky byl povrch nastříkán separačním postříkem.

Tloušťka vrstvy asfaltové směsi po zhutnění byla zvolena na 8,5 cm a pro nastavení lišty do požadovaného sklonu a tloušťky se směs položila ručně v krátkém pruhu podél obrubníků, na který byla následně lišta snesena. Pokládaná vrstva finišerem byla 10,0 cm s předpokladem snížení tloušťky o 1,5 cm hutnicími účinky. Při pokládce bylo použité nivelační zařízení s rychlostí finišeru 4 m/min.



Obrázek 57 - POKLÁDKA ACP 32 [vlastní zdroj]

Při najíždění zastavilo nákladní auto metr před finišerem a vyčkalo dojezdu finišeru. Pokládka kolem kanalizačních šachet byla provedena vyjmutím kanalizačního poklopu a na vyrovnávací betonový prstenec byl umístěn plech, který finišer přešel se záběrem lišty v plné šířce. Následně se úsek směsi nad plechem odstranil ručně a poklop byl umístěn zpět. Tímto způsobem mohla být směs položena strojně v celé ploše bez nutnosti zvedání pokládkové lišty kolem poklopů a nutnosti ruční pokládky (pokládka u vodovodních šoupat proběhla obdobně). Pracovní spáry úseků byly vždy zaříznuty a natřeny asfaltovým pojivem. Z pracovních spár následně finišer startoval pomocí nastavení pokládané výšky dřevěnými hranoly (ukázka v kapitole 3.2.1.).



7.4.2. Hutnění směsí

Pro možnost přesného porovnání jednotlivých hutnících účinků na vrstvu bylo potřeba aplikovat účinky válcem o stejné hmotnosti. Z toho důvodu byl pro hutnění asfaltových směsí zvolen silniční válec HAMM DV+ 90i VO-S, který je schopen hutnit oscilací, vibrací i staticky, kde vibrační zařízení je umístěno na předním běhounu a oscilační na zadním běhounu. Jednotlivé vlastnosti válce jsou uvedeny v tabulce 61.



Obrázek 58 - POUŽITÝ SILNIČNÍ VÁLEC HAMM DV+ 90i VO-S [vlastní zdroj]

HAMM DV+ 90i VO-S			
ZÁKLADNÍ INFORMACE		VIBRACE	
Maximální provozní hmotnost [kg]	12150	Frekvence vib. zařízení I/II [Hz]	42/50
Statické lineární zatížení, přední/zadní [kg/cm]	29,2/26,8	Amplituda běhounu I/II [mm]	0,61/0,40
Šířka běhounů, přední/zadní [mm]	1680/1680	OSCILACE	
Průměr běhounů, přední/zadní [mm]	1200/1200	Oscilační síla [kN]	109
Vyosení běhounů [mm]	1370	Frekvence osc. zařízení [Hz]	36
Rychlost pojezdu [km/h]	0,0 - 11,0	Tangenciální amplituda [mm]	1,25

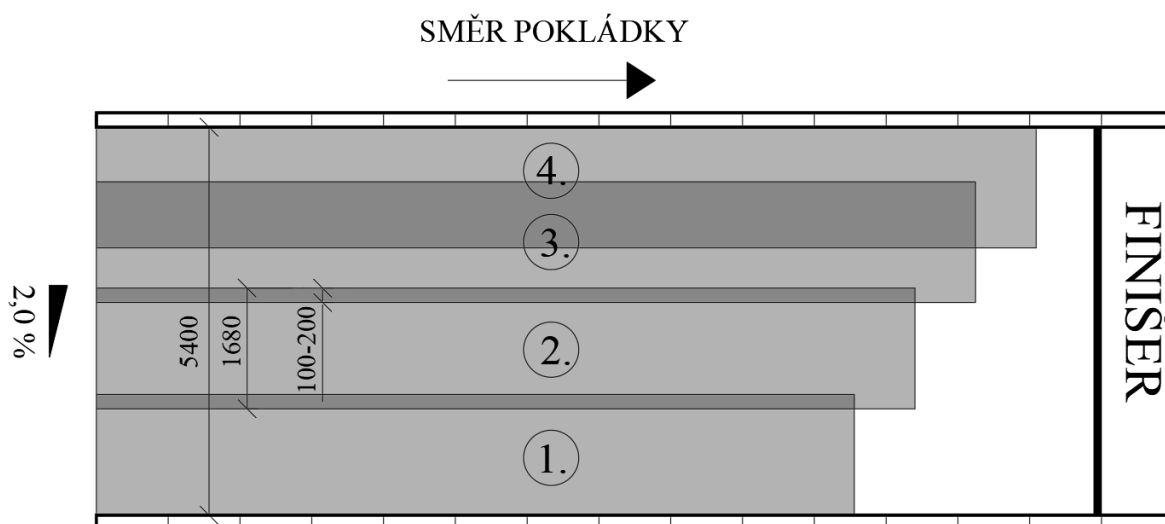
Tabulka 61 - TECHNICKÉ SPECIFIKACE HAMM DV+ 90i VO-S [39]



Před začátkem hutnění byly běhouny válce očištěny a do nádrže válce byla načerpána voda pro skrápění běhounů. Hlavní hutnění směsi probíhalo jedním válcem, z toho důvodu byla zvolena rychlost pojezdu 4,5 km/h, aby válec finišer stíhal, obzvláště pak při hutnění pouze statickým účinkem.

Hutnění vibrací probíhalo s volbou frekvence vibračního zařízení 42 Hz a amplitudou běhounu 0,61 mm. Ačkoli by se ke konci hutnění vibrací měla frekvence zvýšit a amplituda snížit, bylo zmíněné nastavení ponecháno po celou dobu hutnění pro dodržení stejných podmínek při hutnění obou směsí. Oscilace byla nastavena dle tabulky 61 s frekvencí 36 Hz a tangenciální amplitudou 1,25 mm. V každém úseku byl první pojezd v celé šířce proveden pouze staticky.

Jelikož byla vozovka ohraničena obrubníky, první pojezd válce začal od nejnižšího příčného bodu vrstvy a postupoval směrem nahoru s překladem jednotlivých pojezdů o 10–20 cm. Válec za finišerem ukončil část pojezdu do mírného oblouku, aby se zajistila dobrá rovinnost směsi a před samotným zastavením plynule zpomaloval s vypnutou vibrací.



Obrázek 59 - VÁLCOVACÍ SCHÉMA [vlastní zdroj]

Na určeném úseku bylo tímto způsobem hutněno tak, dokud se nedosáhlo požadované míry zhutnění (přibližně 98 %). Po dokončení hlavního hutnění vjel na vrstvu malý válec HAMM HD 14 VV, který pouze povrchově uhladil případné hrany asfaltové směsi vzniklé při hutnění velkým válcem.



Obrázek 60 - POKLÁDKA A HUTNĚNÍ ACP 32 [vlastní zdroj]

7.4.3. Vliv hutnicích účinků na míru zhutnění

Hodnoty míry zhutnění byly měřeny nedestruktivní metodou přístrojem Troxler 4640-B, který za použití gama záření, vyvoleném radioaktivním jádrem z materiálu Cesium-137, vyhodnocuje míru zhutnění a mezerovitost měřené vrstvy. Před samotným měřením bylo potřeba zkalibrovat přístroj a zadat parametry asfaltové směsi, jako je maximální objemová hmotnost, objemová hmotnost Marshallových těles a tloušťka pokládané vrstvy.

Každý úsek, který byl hutněný daným hutnicím účinkem, byl rozdělen na tři části, kde se průběh míry zhutnění měřil po každém pojezdu válce, dokud nebylo dosaženo požadované míry zhutnění 97–98 %. Z důvodu nepřesnosti měření byl každý pojezd měřen několikrát (obvykle v pruhu 1,2 a 3 z válcovacího schématu) a zapsaná hodnota byla jejich průměrem.

Hodnoty byly měřeny za finišerem a za každým pojezdem válce, kde první pojezd byl vždy proveden staticky. Již zmíněný malý válec nevjel na asfaltovou vrstvu (pro uhlazení směsi) dokud neproběhlo dokončení měření průběhů míry zhutnění. Měření probíhalo ve spolupráci s akreditovanou laboratoří VIAKONTROL, spol. s.r.o., která poskytla sondu Troxler 4640-B.

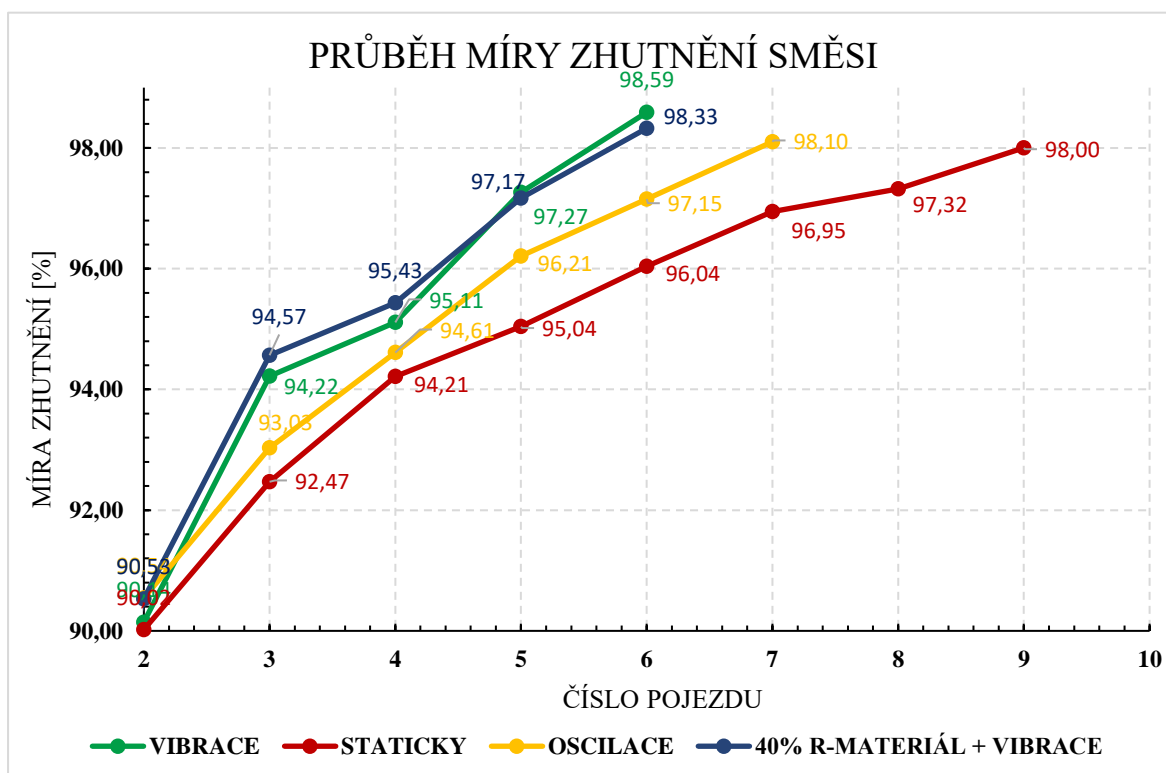


Obrázek 62 - MĚŘENÍ METODOU TROXLER ZA FINIŠEREM [vlastní zdroj]



Obrázek 61 - MĚŘENÍ MÍRY ZHUTNĚNÍ PO 1. POJEZDU VÁLCE [vlastní zdroj]

Průběhy míry zhutnění metodou Troxler jednotlivých pojezdů při použití různých hutních metod jsou uvedeny v grafu 10. Při měření za finišerem se míra zhutnění pohybovala kolem 82,5 %. Podrobné hodnoty jsou uvedeny v příloze B.



Graf 10 - PRŮBĚH MÍRY ZHUTNĚNÍ



Výsledné hodnoty míry zhutnění odpovídaly předpokladům, s nejrychlejším dosažením požadovaných hodnot při válcování vibračí a nejpomalejším se statickým hutněním.

Zpočátku větší hodnoty jednotlivých pojezdů při hutnění ACP 32 s 40 % R-materiálu byly pravděpodobně způsobeny přídatným zařízením na podrcení silničního válce, který byl nasazen na válec z důvodu pokládky SMA na jiné stavbě a nebyl odebrán z časových důvodů. Přídatná hmotnost na válec způsobila nárůst statického liniového zatížení běhounu, a tak vyšší hodnoty zhutnění.

Z grafu lze zároveň vyčíst rychlejší tuhnutí směsi s 40 % R-materiálu po druhém pojezdu (třetí měření). Tento jev je pravděpodobně způsoben větší citlivostí na ochlazování směsi, která vlivem přidání R-mat. bude mít značně nižší hodnoty penetrace výsledného pojiva.

7.4.4. Klimatické podmínky a teploty asfaltových směsí při pokládce

V průběhu pokládky byly zaznamenávány teploty vzduchu, měřené teploměrem a rychlost větru, měřená anemometrem. Norma určuje minimální možnou teplotu pro pokládku 0 °C. Tento požadavek nebyl problém splnit, jelikož pokládka proběhla na konci října a ranní teploty neklesly pod 7,0 °C. Ve všech dnech byl naměřen slabý vítr s maximální hodnotou 2,5 m/s. Pokládka probíhala bez deště na suchém nebo v nejhorším případě zavlhělém podkladu. [7]



Obrázek 63 - ANEMOMETR UNI-T UT363 [vlastní zdroj]



Teploty asfaltových směsí byly měřeny v místě rozhrnovacích šneků a teploty hutněné vrstvy v průběhu válcování, obzvláště při posledním pojezdu. Požadované teploty pro hutnění asfaltových směsí uvedené aktuální normou jsou popsány v tabulce 32 kapitoly 2.6. Teploty rozprostírání jsou vyznačeny v následující tabulce.

Druh asfaltové směsi	Druh asfaltu	Nejnižší přípustná teplota směsi podle tloušťky vrstvy ^{1) 2)} (°C)		
		do 40 mm	40 až 70 mm	70 až 100 mm
AC, BBTM, SMA	100/150 ³⁾	130	120	105
	70/100	145	130	110
	50/70	150	140	120
	30/45	175	160	140
PA, AKO	100/150 ⁴⁾	100	100	–
	70/100	105	100	–
	50/70	105	100	–

1) Teplota směsi se měří v místě rozdělovacího šneku finišeru.
2) Teplotu směsi při použití nízkoteplotního asfaltu, modifikovaného asfaltu a při použití dalších přísad stanovuje výrobce asfaltu nebo přísady.
3) Platí poznámka č. 2 z tabulky 5 této normy.
4) Pojivo 100/150 se používá pouze pro AKO.

Tabulka 62 - NEJNIŽŠÍ TEPLoty ASFALTOVÉ SMĚSI PŘI ROZPROSTÍRÁNÍ [7]

Z důvodu krátké dojezdové vzdálenosti nedocházelo k značnému ochlazení asfaltové směsi při dopravě a jelikož pokládka probíhala plynule, bez prostoje nákladních aut, byla teplota asfaltových směsí, měřená v místě rozhrnovacích šneků, v rozmezí 161,0 – 169,0 °C. Nejnižší teploty při hutnění bylo dosaženo při posledním pojezdu statickým hutněním, kde naměřená teplota hutněné vrstvy byla v průměru 124,5 °C. Při hutnění nebyl zaznamenán výrazný pokles teploty z důvodu větší pokládané tloušťky, kde si směs drží svou teplotu značně lépe než u tenčích vrstev. Lze tedy konstatovat, že při pokládce nebyly porušeny normou požadované hodnoty na klimatické podmínky a teploty asfaltových směsí. [7]



Obrázek 64 - MĚŘENÍ TEPLoty PŘI HUTNĚNÍ [vlastní zdroj]



7.5. Jádrové vývrty

Na každém úseku byly provedeny 4 vývrty o průměru 150 mm a 4 vývrty o průměru 100 mm (celkem bylo tedy zhotoveno 32 vývrtů), které byly rovnoměrně rozmístěny po celé délce úseku. Při odběru byl vrták chlazen vodou a vývrt byl po odvrtání vytažen pomocí speciálních kleští.

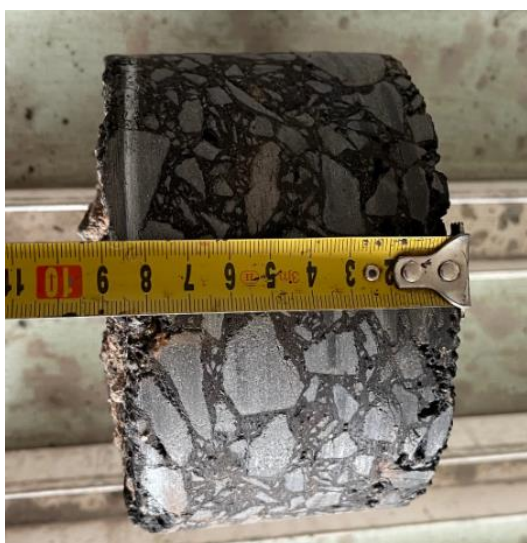


Obrázek 65 - VRTAČKA PRO ZHOTOVENÍ JÁDROVÉHO VÝVRTU [vlastní zdroj]



Obrázek 66 – NÁSTAVCE PRO JÁDROVÉ VÝVRTY 100 mm a 150 mm [vlastní zdroj]

Díra způsobená vývrtem byla zasypaná vrstvou šterkodrtě a studenou obalovanou asfaltovou směsí, která byla zhutněna ručním pěstem. Zhotovení jádrových vývrtů proběhlo ve spolupráci se společností Viakontrol, spol. s.r.o. Průměrná tloušťka vývrtů byla 86,1 mm s minimální hodnotou vývrtu 78,47 mm. To znamená, že vrstvy asfaltových směsí splňují požadavky na minimální hodnoty požadované normou ČSN 73 6121 v tabulce 14 (min. 0,90 h pro průměrnou hodnotu a min. 0,80 h pro každý vývrt). Podrobné hodnoty tlouštěk jsou uvedeny v příloze A.



Obrázek 68 - JÁDROVÝ VÝVRT [vlastní zdroj]



Obrázek 67 - ZATĚSNĚNÍ VRSTVY PO JÁDROVÉM VÝVRTU [vlastní zdroj]



8. Laboratorní zkoušky

Následující zkoušky vzorků asfaltových směsí proběhlo na pracovišti silniční laboratoře katedry silničních staveb ČVUT v Praze fakulty stavební.

8.1. Značení vzorků

Laboratorní zkoušky probíhaly na 16 Marshallových tělesech a 32 vývrtech zhotovených ze dvou asfaltových směsí a hutněných různými způsoby. Pro přehled jsou zde popsány zkratky pro značení jednotlivých vzorků:

M – Marshallovo těleso

R – Asfaltová směs vzorku obsahuje 40 % R-materiálu

O – vývrt směsi hutněné oscilací

V – vývrt směsi hutněné vibrací

S – vývrt směsi hutněné staticky

100; 150 – průměr jádrového vývrstu

1-8 – pořadí vzorků

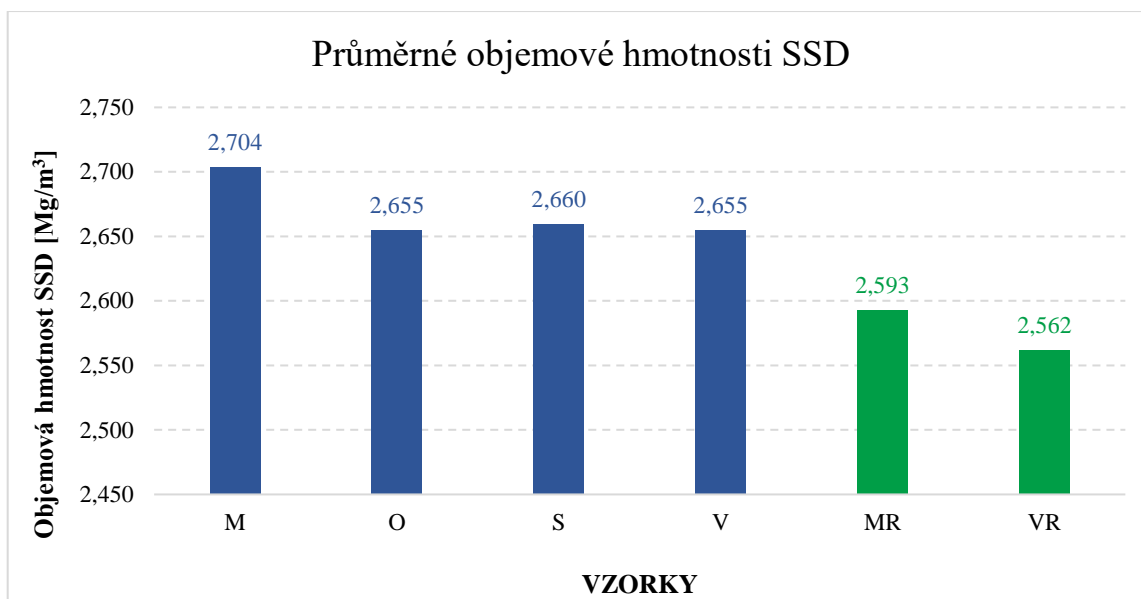
Příklady:

1MR – Marshallovo těleso asfaltové směsi s 40 % R-materiálu s označením 1

1VR_150 – Vývrt asfaltové směsi s 40 % R-materiálu hutněný vibrací o průměru 150 mm s označením 1

8.2. Objemová hmotnost SSD

Jelikož byla objemová hmotnost na vzorkách stanovena několikrát, nebude postup zkoušky v této kapitole popsán. Zkouška probíhala stejným způsobem dle kapitoly 5.3. Pro přesné určení objemové hmotnosti byly před provedením zkoušky vývrty zaříznuty ve spodní části, z důvodu nalepení RA 0/16, kterým byla vyrovnána spodní podkladní vrstva pro pokládku navržených směsí. Průměrné hodnoty objemových hmotností jsou vyznačeny v grafu 11. Naměřené hmotnosti a výsledné hodnoty jednotlivých vzorků jsou uvedeny v příloze B.



Graf 11 - PRŮMĚRNÉ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI [32]

Na Marshallových tělesech zhotovených ze směsí odebraných při pokládce se ověřila správnost výsledků objemových hmotností vzorků ze zkušebního úseku z kapitoly 6.2. Zároveň lze sledovat pokles objemových hmotností vývrtů, způsobený nižší mírou zhutnění asfaltových směsí při hutnění silničním válcem na stavbě.

8.3. Mezerovitost

Mezerovitost byla opět stanovena dle ČSN EN 12697-8 *Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí a postup zkoušky* je uveden v kapitole 5.5. V tabulce 63 jsou popsány průměrné hodnoty variant a hodnoty pro jednotlivé vzorky jsou uvedeny v příloze B.

VARIANTA	ρ_{bssd} [Mg/m ³]	ρ_m [Mg/m ³]	V _a [%]	VMA [%]	VFB [%]
M	2,704	2,861	5,5	15,3	64,1
O	2,655		7,2	17,0	57,7
S	2,660		7,0	16,8	58,3
V	2,655		7,2	17,0	57,7
MR	2,593	2,754	5,8	15,8	63,0
VR	2,562		7,0	16,9	58,8

Tabulka 63 - PRŮMĚRNÉ HODNOTY MEZEROVITOSTÍ VARIANT [35]

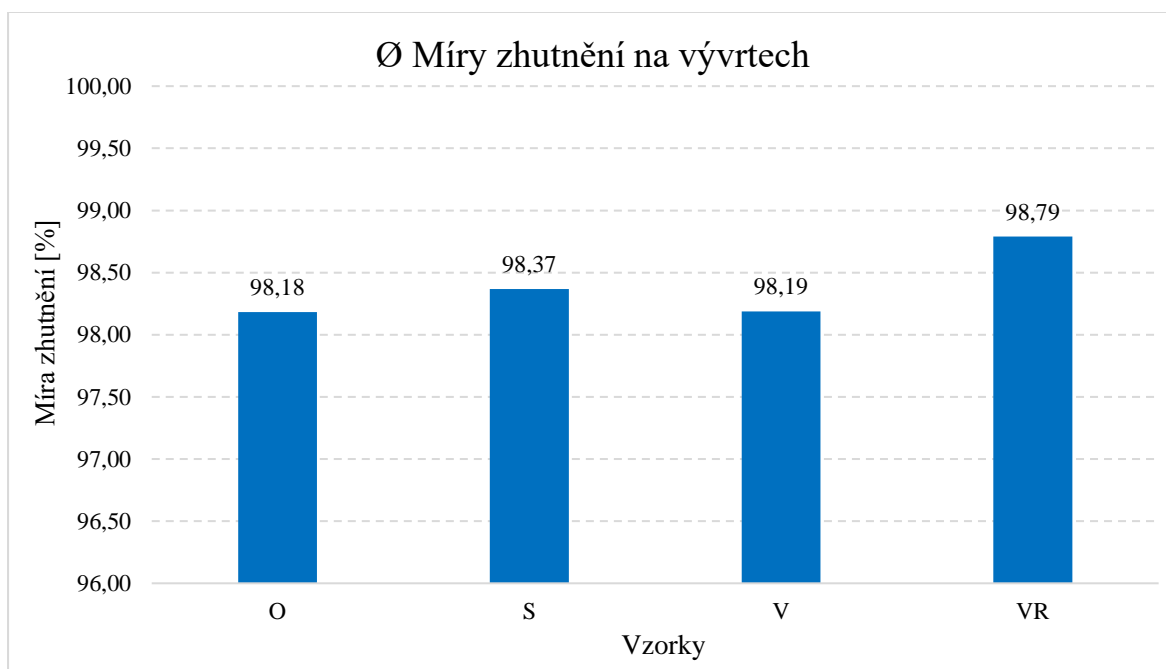
Hodnoty mezerovitostí asfaltových směsí odpovídají požadovaným hodnotám při návrhu a spadají do mezí hodnot stanovených normou ČSN 73 6121 pro ACP 22 a zároveň vyhovují mezím ze slovenských požadavků na AC 32 P (4,0 - 9,0 %).



8.4. Míra zhutnění vývrťů

Míra zhutnění destruktivním způsobem byla provedena dle ČSN 73 6160 – *Zkoušení asfaltových směsí*. Zkouška spočívá v porovnání předepsaných objemových hmotností zjištěným na Marshallových tělesech s objemovými hmotnostmi naměřených na vývrťech a vyjadřuje se v procentech. [40]

Stanovené průměrné hodnoty míry zhutnění na vývrťech jsou uvedeny v grafu č. 12. Míry zhutnění jednotlivých vzorků jsou uvedeny v příloze B.



Graf 12 - PRŮMĚRNÉ HODNOTY MÍRY ZHUTNĚNÍ VZORKŮ [40]

Výsledné hodnoty míry zhutnění zjištěné destruktivním způsobem odpovídají požadavkům stanoveným normou ČSN 73 6121, která určuje minimální hodnotu na vývrťech 96 % (viz. tabulka 39 kapitoly 3.4.). Žádná hodnota míry zhutnění na vývrťech neklesla pod tuto mez. [7]

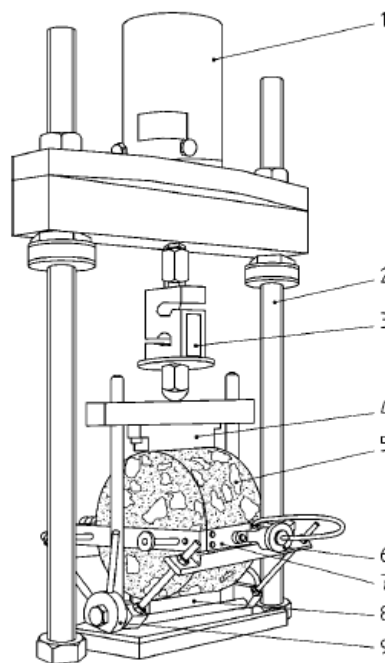


8.5. Moduly tuhosti

Měření modulů tuhosti na vzorkách bylo provedeno v souladu s normou ČSN EN 12697-26 *Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 26+A1: Tuhost* dle přílohy C, která popisuje metodu pro měření pružné tuhosti asfaltové směsi pomocí zkoušky v příčném tahu IT-CY. Zkouška proběhla na vývrtech i tělesech vyrobených v laboratoři při zkušebních teplotách 15 °C a 40 °C. Tělesa byla temperována na požadovanou teplotu po dobu nejméně 4 hodin. [41]



Obrázek 70 - ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ IT-CY
[vlastní zdroj]



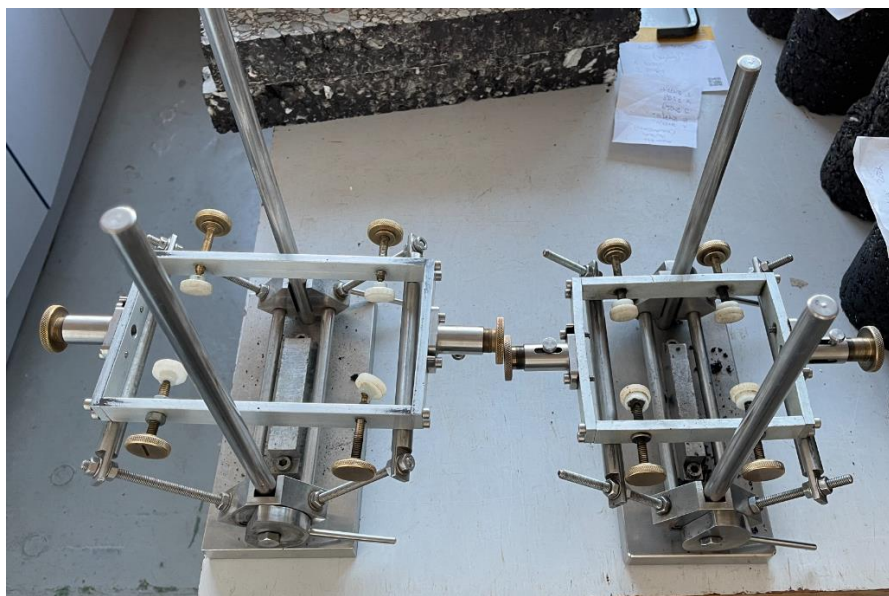
Obrázek 69 - SCHÉMA ZKUŠEBNÍHO
ZAŘÍZENÍ IT-CY [41]

LEGENDA:

- 1 pneumatický zdroj zatížení
- 2 ocelový zatěžovací rám
- 3 snímač síly
- 4 horní zatěžovací pás
- 5 zkušební těleso
- 6 LVDT nastavovací šroub
- 7 rámeček s LVDT
- 8 spodní zatěžovací pás
- 9 nastavovací podpěra rámečku



Zkouška začala vložení vytemperovaného tělesa do kovového rámečku LVDT na spodní zatěžovací pás. Těleso bylo následně upevněno rovnoměrně pomocí upínacích šroubů a na vrchní část tělesa byl umístěn horní zatěžovací pás. Do počítačového programu zkoušky se vložily informace o zkoušeném tělese, teplotě (výška, průměr, Poissonovo číslo) a počtu cyklů. Měřící sondy se umístily do pozice pro měření. Poté se přístroj nechal zkalibrovat na hodnotu síly, potřebné k vyvození požadované příčné deformace deseti zkušebními cykly. Nakonec proběhlo samotné měření modulu tuhosti pěti cykly. Výsledné hodnoty byly vyhodnoceny automaticky programem. Pro každé těleso proběhlo toto měření dvakrát (pro druhé měření se těleso pootočilo o 90° pro přesnost výsledku).



Obrázek 71 - LVDT RÁMEČKY PRO TĚLESA O PRŮMĚRU 150 A 100 mm [vlastní zdroj]

Na základě daných parametrů byly moduly tuhosti vyhodnoceny v závislosti na následujícím vzorci:

$$E = \frac{F * (v + 0,27)}{(z * h)}$$

Vzorec 11 - MODUL TUHOSTI [41]

Kde:

F je maximální hodnota zatížení [kN]

E je modul tuhosti [MPa]

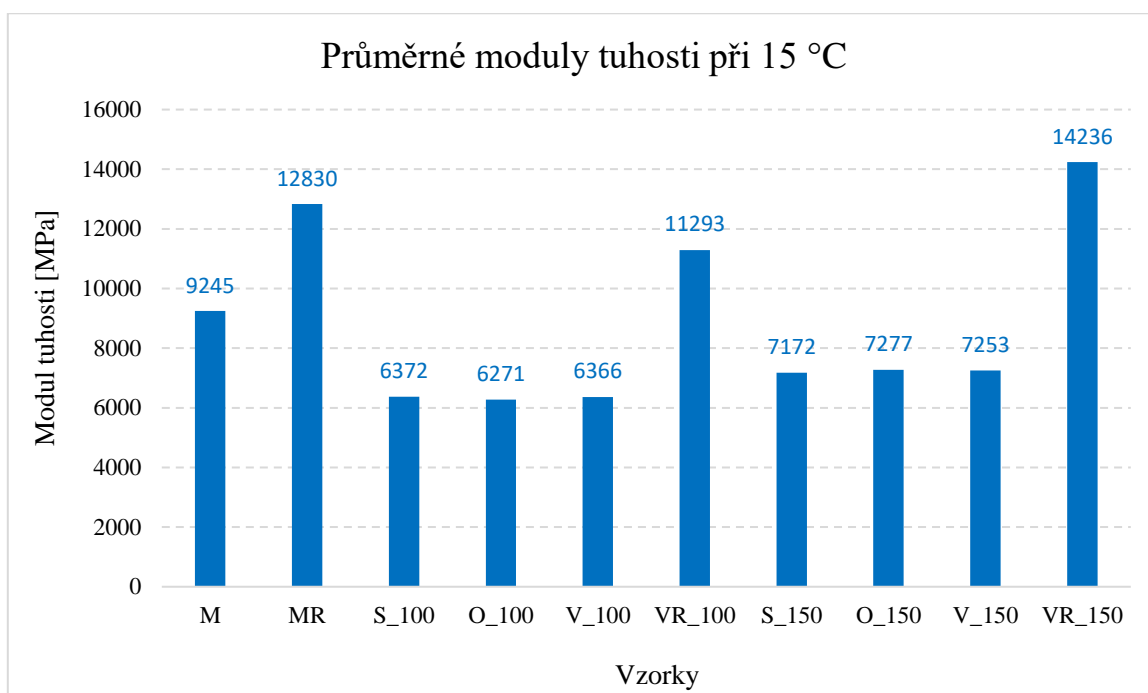
z je amplituda pružné horizontální deformace [mm]

h je průměrná tloušťka zkušebního tělesa [mm]

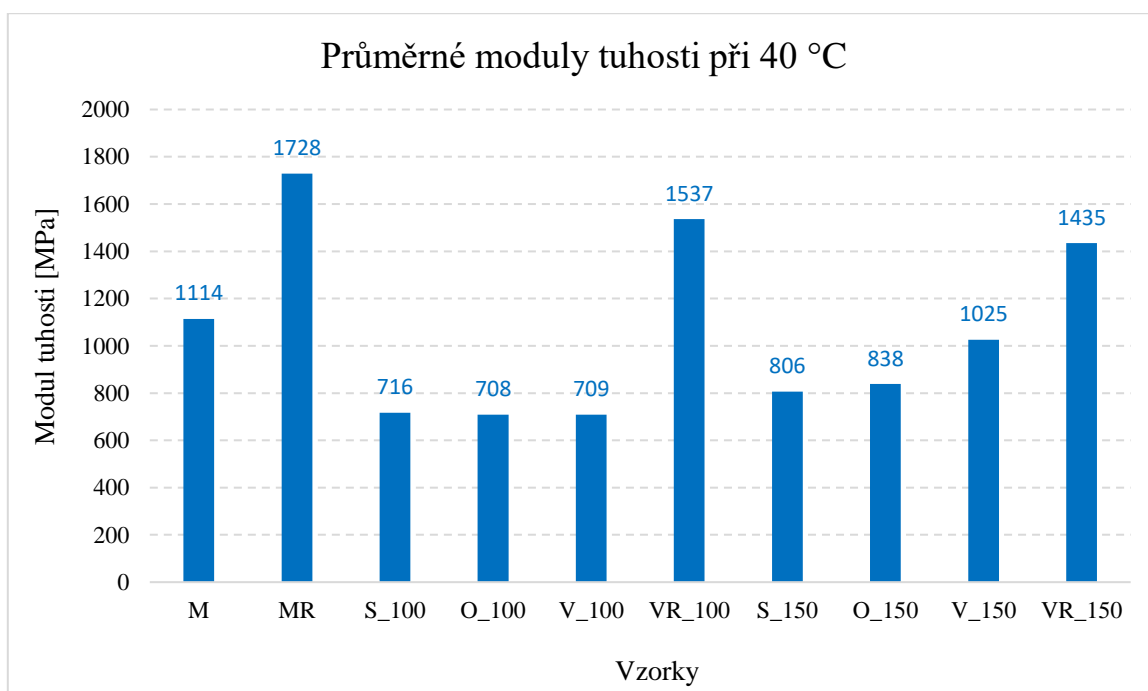
v je Poissonovo číslo [/]



Průměrné hodnoty výsledků modulů tuhosti jsou uvedeny v grafech 13 a 14.



Graf 13 - PRŮMĚRNÉ HODNOTY MODULŮ TUHOSTI PŘI TEPLOTĚ 15 °C



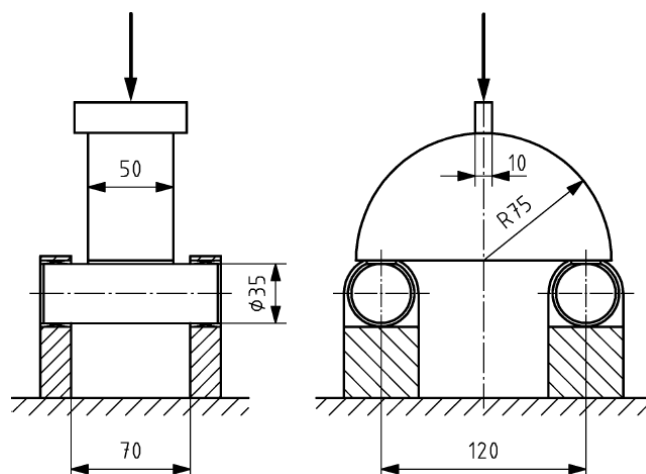
Graf 14 - PRŮMĚRNÉ HODNOTY MODULŮ TUHOSTI PŘI TEPLOTĚ 40 °C

Z uvedených výsledků lze vyčíst, že moduly tuhosti značně klesají s rostoucí teplotou. Dle předpokladů byly moduly tuhosti u směsí s 40 % R-materiálu vyšší a zároveň u vývrtů nebyly hodnoty nějak ovlivněny hutnicími účinky. Naměřené moduly byly přibližně o 10 % vyšší při měření vývrtů o průměru 150 mm oproti 100 mm.



8.6. Zkouška odolnosti proti šíření trhlin

Podstatou zkoušky je zatížení půlválcového tělesa třibodovým ohybem tak, že spodní límec, kde ve středu je předem naříznuta trhlina, je zatěžován tahem. V průběhu zkoušky dochází ke zvyšování deformace při zatížení trnem hydraulického lisu, který se pohybuje za konstantní rychlosti 2,5 mm/min (rychlost se liší od normové 5,0 mm/min. z důvodu stanovení přesnějších vztahů mezi deformací a napětím). Zkouška se řídí normou ČSN EN 12697-44 *Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 44: Šíření trhliny zkouškou ohybem na půlválcovém zkušebním tělese*. [42]



Obrázek 72 - SCHÉMA ZATÍŽENÍ TĚLESA TŘÍBODOVÝM OHYBEM [42]

Zkouška byla provedena na Marshallových tělesech a vývrtech o průměru 100 mm a 150 mm. Příprava vzorků spočívala v jejich seříznutí na předepsanou výšku 50 mm a rozříznutí napůl pro získání požadovaného tvaru půlválcového tělesa. Na spodní límec, který byl zatěžován tahem, byla naříznuta drážka o hloubce 10 mm, za účelem kontrolovaného vzniku trhliny uprostřed zatěžovaného límce.

Tělesa byla označena a temperována na 0 °C po dobu 6 hodin. Následně bylo těleso vyjmuto z klimatické komory a uloženo do zkušebního zařízení mezi zatěžovací pásek a válečkové podpory. Těleso muselo být umístěno na válečkové podpory rovnoměrně tak, aby zatěžovací pásek zatížil vzorek uprostřed nad předem naříznutou trhlinou. Poté bylo těleso vystaveno zatížení hydraulického lisu do jeho porušení. [42]



Obrázek 73 - ZAŘÍZENÍ PRO ZKOUŠKU ODOLNOSTI
VŮČI ŠÍŘENÍ TRHLIN [vlastní zdroj]



Obrázek 74 - ZAŘÍZENÍ PRO SLEDOVÁNÍ
ZATĚŽOVACÍHO DIAGRAMU [vlastní zdroj]

Na konci provedené zkoušky byla vizuálně zkontrolována platnost zkoušky přiložením doplňkového zařízení, které stanovuje rozsah platnosti. Platí, že po přiložení musí trhlina ležet v této oblasti a zároveň se musí rozvíjet z místa naříznuté drážky.



Obrázek 75 - TRHLINA V ROZSAHU PLATNOSTI
[vlastní zdroj]



Obrázek 76 - NEPLATNÁ ZKOUŠKA [vlastní zdroj]



Výsledné hodnoty z této zkoušky byly přetvořeny, maximální napětí a odolnost vůči lomu (kritická hodnota lomové houževnatosti). Tyto veličiny vychází z hodnot zjištěných z provedené zkoušky, které jsou hodnota maximální síly a hodnota deformace v okamžiku porušení zkušebního tělesa. Hodnoty byly vypočítány z následujících rovnic:

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

Vzorec 12 - PŘETVOŘENÍ PŘI MAXIMÁLNÍ SÍLE [42]

Kde:

$\varepsilon_{max,i}$ je přetvoření při působení maximální síly [%]

ΔW_i je svislý posun tělesa při maximální síle [mm]

W_i je výška tělesa při maximální síle [mm]

$$\sigma_{max,i} = \frac{F_{max,i}}{D_i * t_i}$$

Vzorec 13 - NAPĚTÍ PŘI PORUŠENÍ TĚLESA [42]

Kde:

$\sigma_{max,i}$ je napětí při porušení zkušebního tělesa [N/mm²]

D_i je průměr zkušebního tělesa [mm]

t_i je tloušťka zkušebního tělesa [mm]

$F_{max,i}$ je maximální síla zkušebního tělesa [N]

$$K_{Ic,i} = \sigma_{max,i} Y_1 \sqrt{\pi a_i}$$

Vzorec 14 - ODOLNOST VŮČI LOMU TĚLESA [42]

Kde:

Y_1 je faktor intenzity napětí při standardním režimu I [-]

a_i je hloubka drážky zkušebního tělesa [mm]

$$Y_1 = 4,782 - 1,219 * \left(\frac{a_i}{r_i}\right) + 0,063 * \exp\left(7,045 * \left(\frac{a_i}{r_i}\right)\right)$$

Vzorec 15 - FAKTOR INTENZITY NAPĚTÍ [42]

Kde:

r_i poloměr zkušebního tělesa [mm]

a_i hloubka drážky zkušebního tělesa [mm]



Z důvodu připojení přídatného zařízení pro záznam pracovního diagramu v průběhu zkoušky (obrázek 74), jsme schopni vypočítat lomovou práci a následně zjistit lomovou energii.

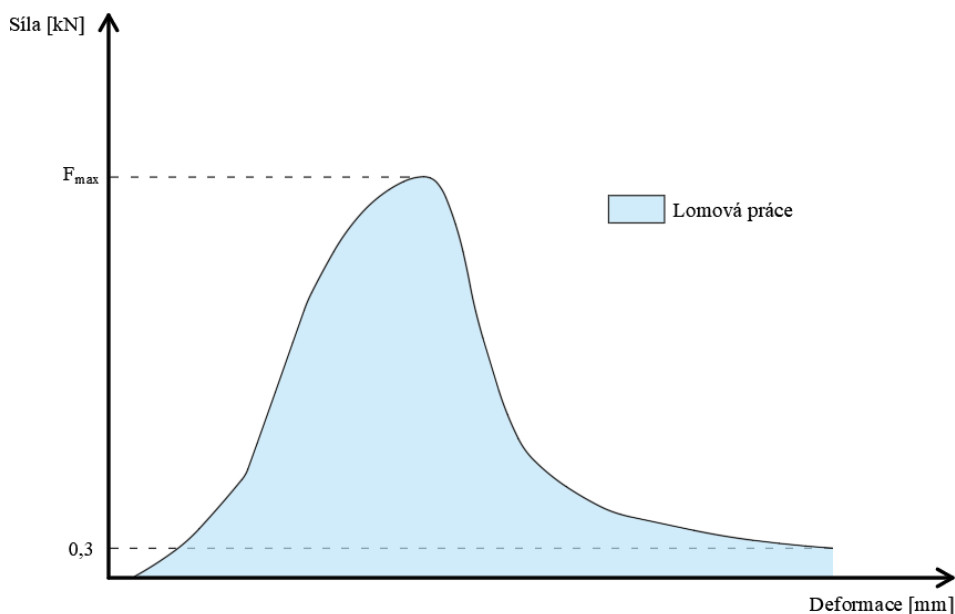
Lomová práce je stanovena jako integrál zatěžovací křivky, tzn. jako plocha pod křivkou pracovního diagramu od zahájení zkoušky po odtěžovací větev. Zkouška probíhala, dokud se odtěžovací větev nedostala na nulovou nebo kvazi-nulovou hodnotu zatížení. Nulová hodnota, pokud nedošlo ke křehkému lomu, byla nastavena na 0,3 kN. Lomovou energii norma nepožaduje a ani neuvádí, ale jelikož určení lomové houževnatosti pouze z hlediska maximální síly může být občas zavádějící, byla tato hodnota stanovena.

$$G_f = \frac{W}{t * (w - a)}$$

Vzorec 16 - LOMOVÁ ENERGIE

Kde:

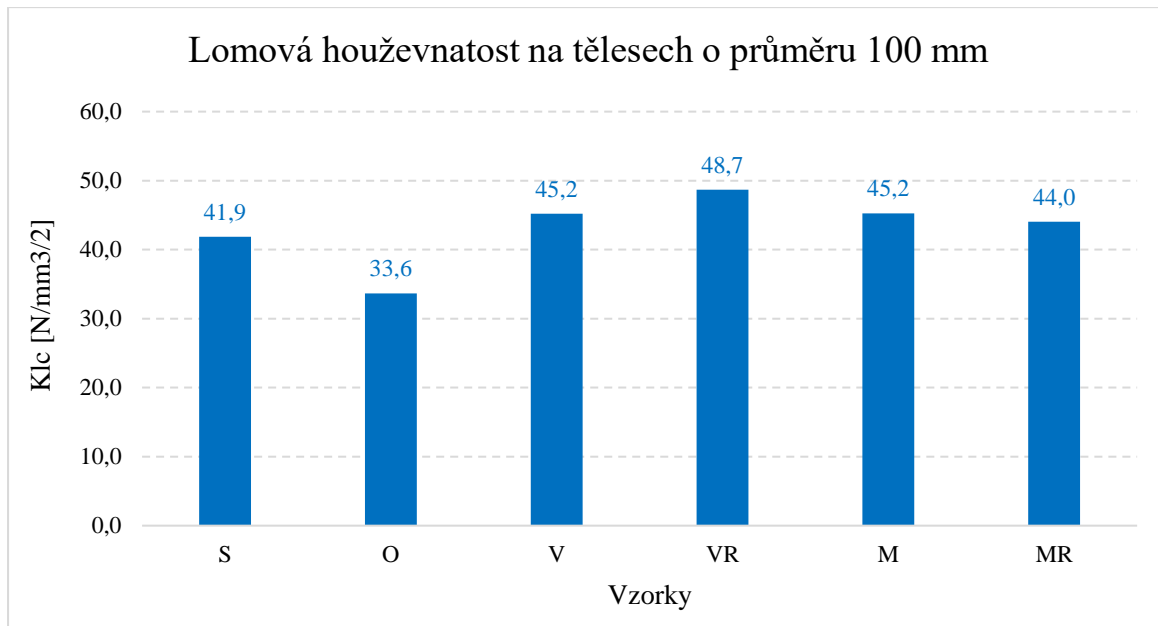
- W je lomová práce [J]
- t je tloušťka zkušebního tělesa [m]
- w je výška zkušebního tělesa [m]
- a je hloubka uměle vyříznuté drážky [m]



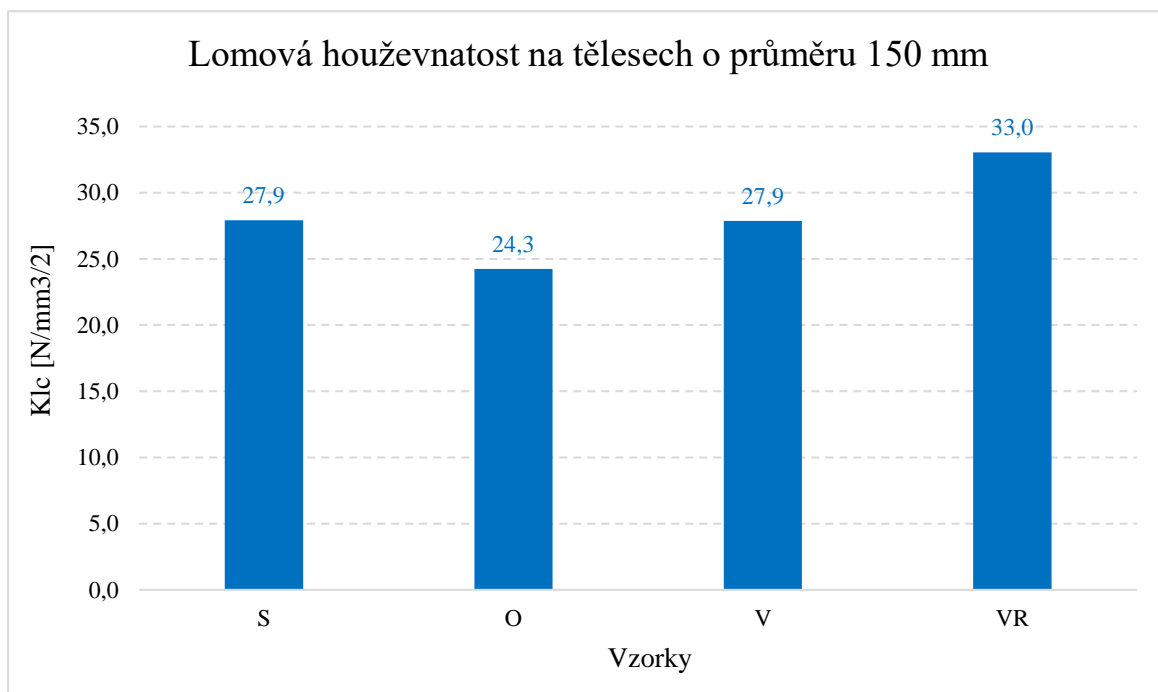
Obrázek 77 - ZATĚŽOVACÍ DIAGRAM PRO VÝPOČET LOMOVÉ PRÁCE



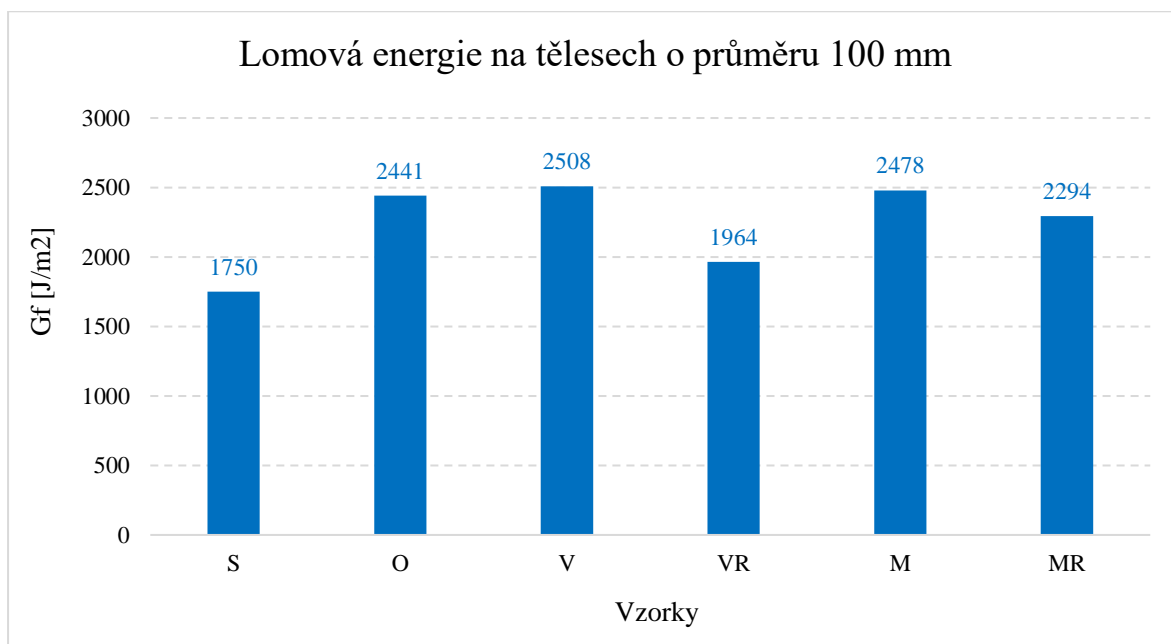
Výsledky hodnot odolnosti vůči lomu a lomové energie jsou znázorněny v následujících grafech:



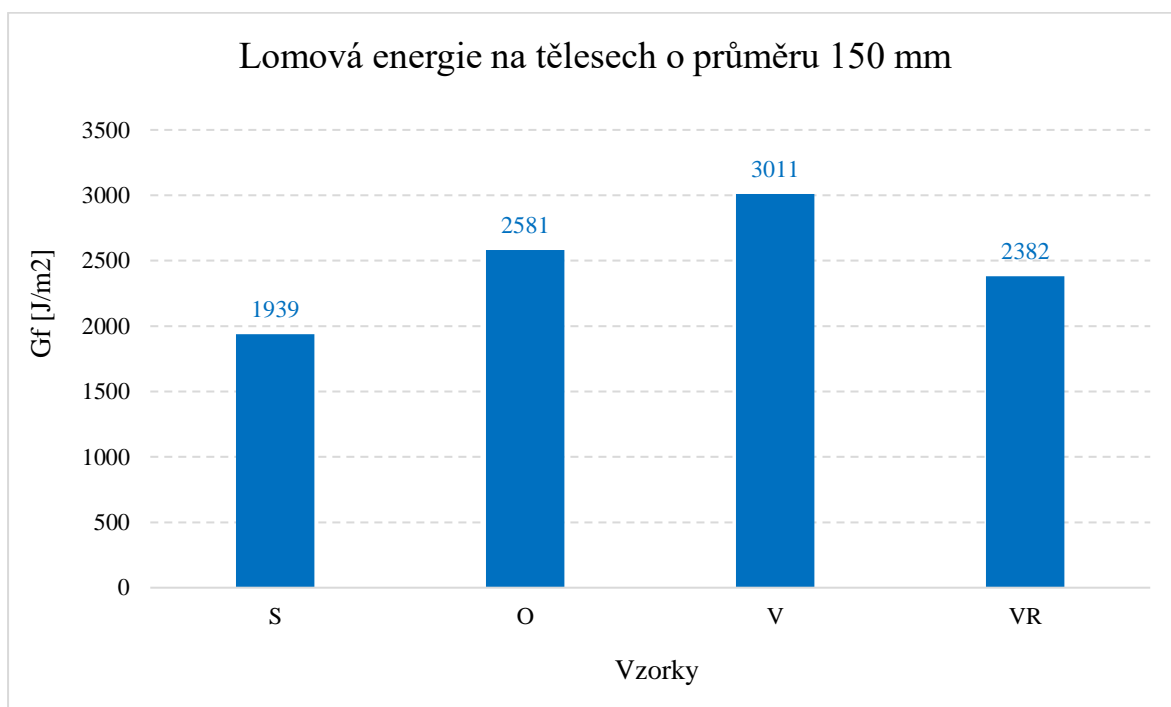
Graf 15 - LOMOVÁ HOUŽEVNATOST NA TĚLESECH O PRŮMĚRU 100 mm



Graf 16 - LOMOVÁ HOUŽEVNATOST NA TĚLESECH O PRŮMĚRU 150 mm



Graf 17 - LOMOVÁ ENERGIE NA TĚLESECH O PRŮMĚRU 100 mm



Graf 18 - LOMOVÁ ENERGIE NA TĚLESECH O PRŮMĚRU 150 mm



8.7. Marshallova zkouška

Marshallova zkouška spočívá ve stanovení hodnoty stability, která je definována jako odolnost zkušebního tělesa proti deformaci a probíhá dle normy *ČSN EN 12697-34 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 34: Marshallova zkouška*. Zkouška probíhala na Marshallových tělesech hutněných 2 x 50 úderů rázovým zhutňovačem a na vývrtech o průměru 100. [43]

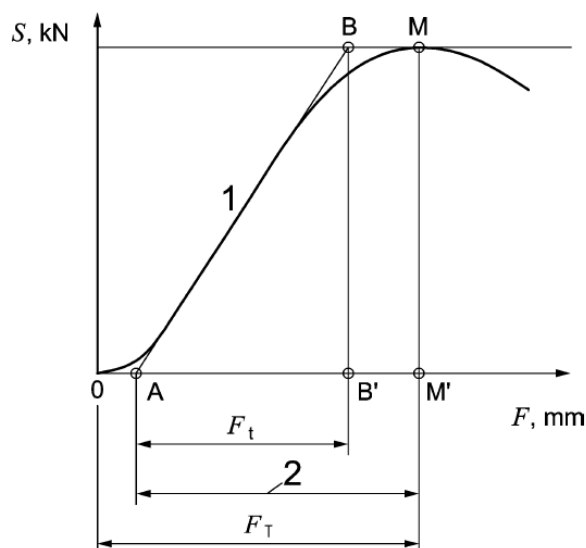
Vzorky byly nejprve temperovány ve vodní lázni na 60 °C po dobu 40 minut a do zkušebního softwaru se zadaly rozměry těles. Neprodleně po vyjmutí z vodní lázně byly vzorky umístěny do čelistí lisu, který na těleso vyvinul zatížení za konstantní rychlosti 50 mm/min. Měření probíhalo do porušení vzorku a sledovala se závislost maximální síly a přetvoření. [43]



Obrázek 78 - ZAŘÍZENÍ PRO MARSHALLOVU ZKOUŠKU [vlastní zdroj]



Software pro Marshallovu zkoušku zároveň při měření hodnoty zatížení a přetvoření také zaznamenává průběh pracovního diagramu, který by měl mít stejný tvar jako diagram z následujícího obrázku. Program také umožňuje kontrolu vyhodnocení maximální síly a přetvoření a případnou korekci špatně vyhodnocených výsledků, na základě průběhu křivky pracovního diagramu.



Obrázek 79 - PRACOVNÍ DIAGRAM MARSHALLOVY ZKOUŠKY [43]

Legenda:

- F_t tečné přetvoření
- F_T celkové přetvoření
- S stabilita
- 1 tečna
- 2 přetvoření F

Výsledná hodnota Marshallovy stability je určena na základě vynásobení změřené hodnoty korekčním faktorem, který zohledňuje rozdílné rozměry těles a je vyjádřen následujícím vzorcem. [43]

$$c = 5,2 * e^{-0,0259*h}$$

Vzorec 17 - KOREKČNÍ FAKTOR STABILITY [43]

Kde:

- c je korekční faktor [-]
- h je výška zkušební tělesa



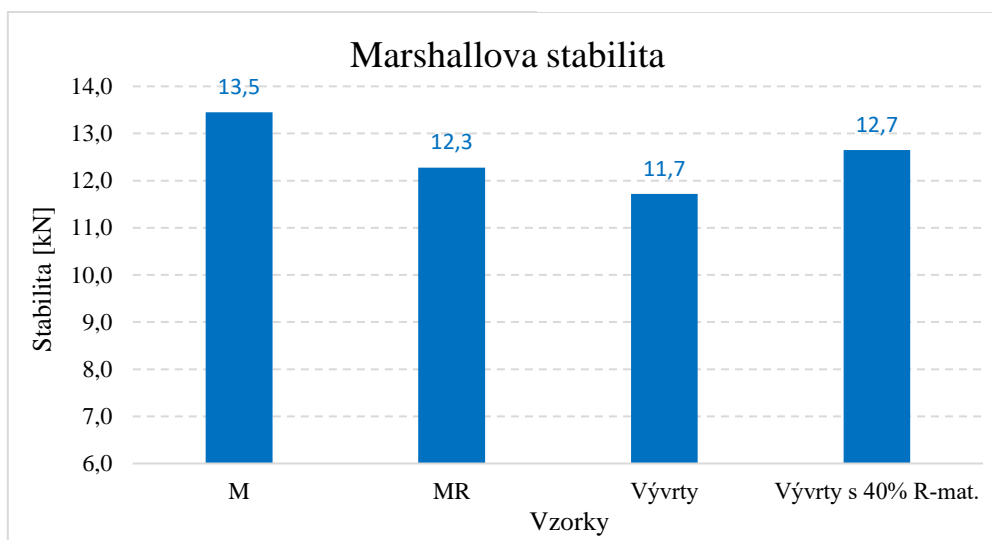
Výsledky Marshallovy zkoušky jsou zobrazeny v následujících tabulkách a grafech.

Vzorek	Stabilita [kN]	Přetvoření [mm]
2M	14,6	6,1
3M	11,4	5,4
4M	14,5	5,6
5M	13,3	7,1
ØM	13,5	6,1
1MR	11,0	4,5
2MR	11,0	4,1
3MR	11,2	10,4
4MR	15,9	6,3
ØMR	12,3	6,3

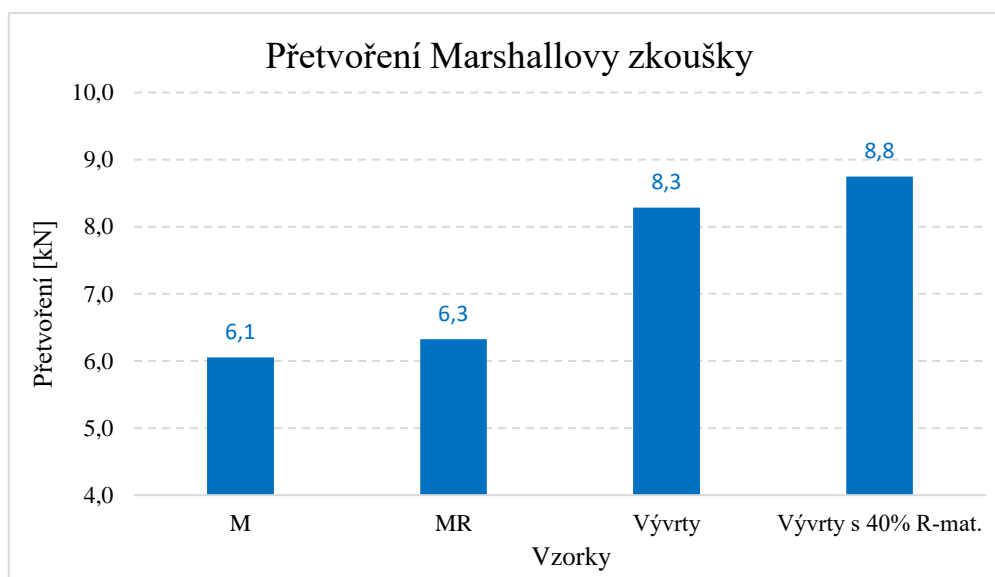
Tabulka 64 - MARSHALLOVA STABILITA NA TĚLESECH

Vzorek	Stabilita [kN]	Přetvoření [mm]
1S_100	14,1	5,6
2S_100	12,8	10,3
1V_100	9,4	7,9
2V_100	10,7	6,0
1O_100	9,0	9,2
2O_100	14,5	10,7
Ø	11,7	8,3
1VR_100	15,4	6,0
2VR_100	9,9	11,5
Ø	12,7	8,8

Tabulka 65 - MARSHALLOVA STABILITA NA VÝVRTECH



Graf 19 - POROVNÁNÍ HODNOT MARSHALLOVY STABILITY



Graf 20 - POROVNÁNÍ HODNOT PŘETVOŘENÍ MARSHALLOVY ZKOUŠKY



9. Závěr

Tato diplomová práce se zabývala návrhem dvou směsí ACP 32, s a bez R-materiálu, které byly vyrobeny v laboratorní míchačce a obalovně. Celkem bylo vyrobeno přibližně 750 tun těchto směsí, které byly následně položeny při realizaci podkladní asfaltové vrstvy komunikace při výstavbě obytné a obchodní zóny Na Homoli v Žatci. Před samotnou pokládkou byla ověřena únosnost spodní podkladní vrstvy statickou a rázovou zatěžovací zkouškou. Z položené vrstvy bylo odebráno 32 vývrtů a ze směsí se současně vyrobilo 16 Marshallových těles.

Cílem této práce bylo stanovení vlastností směsí při rozprostírání a hutnění, obzvláště pak při hutnění různými hutnicími způsoby, kde byla sledována míra zhutnění po jednotlivých pojezdech válce a byl stanoven potřebný počet pojezdů pro dosažení její požadované hodnoty. Zároveň byly na směsích stanoveny volumetrické a fyzikálně-mechanické vlastnosti, které byly mezi sebou porovnány.

Pro pokládku asfaltových směsí byly zvoleny vhodné dopravní prostředky pro dopravu materiálu, finišer a válec, který je schopný hutnit požadovanými účinky. Při samotné pokládce nebyly zjištěny žádné komplikace při pokládce směsí s velikostí zrna 32 mm, ale bylo potřeba vzít v potaz zvýšení hutnicí energie vhodným nastavením tamperů finišeru při rozprostírání a amplitudy s frekvencí silničního válce. Se získanými zkušenostmi při pokládce této směsi by bylo vhodné snížit rychlost finišeru a válce, ale bohužel z časových důvodů to nebylo možné.

Průběh míry zhutnění byl pozorován při válcování metodou vibrací (u obou směsí), oscilací a staticky. Dle předpokladů, nejrychlejšího nabytí požadované hodnoty míry zhutnění došlo při válcování vibrací a nejpomalejšího při válcování statickým způsobem, kde jediný hutnicí účinek bylo statické lineární zatížení běhounů. Zároveň z výsledků lze usoudit, že zpočátku se obě směsi hutnily stejně, ale ke konci se podepsala citlivost směsi ACP 32 s 40 % R-materiálu na ochlazování způsobená vyšší tuhostí výsledného pojiva, kde se rychlost hutnění citelně zpomalila. Hodnota míry zhutnění při vibraci směsi s R-materiálem byla při prvním pojezdu vyšší, z důvodu větší váhy válce způsobené přídatným zařízením.



Směs ACP 32 byla navržena s přihlédnutím na starší dostupné normy a slovenské předpisy, které obsahují směsi s obsahem kameniva o velikosti 32 mm. Při návrhu křivky zrnitosti byly použity obory zrnitosti z normy ČSN 73 6121 z roku 1994, ale hlavním nástrojem pro návrh byla Füllerova křivka. Minimální obsah asfaltového pojiva byl stanoven na 3,8 % podle slovenských katalogových listů asfaltových směsí KLAZ 1/2019.

Hodnoty mezerovitosti směsí vyhovovaly normám (jelikož ACP 32 české normy neuvádějí, byly použity meze pro ACP 22) jak pro Marshallova tělesa, tak pro vývrty. Mezerovitosti vývrťů byly přibližně o 2 % vyšší z důvodu nižší míry zhutnění.

Při stanovení modulů tuhosti byly dle předpokladů zjištěny vyšší hodnoty u vzorků temperovaných na nižší teplotu 15 °C a při zkoušení za teploty 40 °C došlo k poklesu modulů tuhosti v průměru o 85 %. Zároveň se projevila již zmíněná vyšší tuhost ACP 32 s 40 % R-materiálu, z důvodu snížení gradace asfaltového pojiva přidáním recyklovaného materiálu. Vývrty také prokázaly snížení modulů tuhosti oproti Marshallovým tělesům přibližně o 30 %, což bylo pravděpodobně způsobeno vyšší mezerovitostí jádrových vývrťů. Hodnoty byly také na vývrtech o průměru 150 mm vyšší než u vývrťů s průměrem 100 mm. Z výsledků lze také usoudit, že způsob hutnění nemá žádný vliv na fyzikálně mechanické vlastnosti směsí, pokud je dosaženo stejné míry zhutnění a jsou dodrženy správné technické postupy.

U zkoušky odolnosti proti šíření trhlin je obtížnější určit nějaké trendy a ucelené závěry, jelikož výsledky byly velmi ovlivněny místem nařiznutí drážky, ze které se trhlina šířila. Pokud byla drážka nařiznuta do kamene, dosahovaly hodnoty lomové energie až 4500 J/m² (z toho důvodu se někdy trhlina šířila z jiného místa viz. obrázek 76 str. 116), kdežto výsledky těles s drážkou mimo zrno se mohly pohybovat kolem 2000 J/m². S takhle velkými odchylkami by bylo potřeba pro přesné výsledky provádět zkoušku s větším počtem vzorků. Každopádně lze z výsledků usoudit, že dle předpokladů R-materiál ovlivnil směs zvýšením její lomové houževnatosti, ale snížením lomové energie. Hodnoty na vývrtech rozdílných průměrů se také lišily tím, že lomová houževnatost byla nižší na jádrových vývrtech o průměru 150 mm, ale měly větší lomovou energii než jádrové vývrty o průměru 100 mm.

Při Marshallově zkoušce byly zjištěny poměrně vysoké hodnoty stability, které byly nejvyšší na tělesech z laboratorní míchačky a nižší při zkoušení na jádrových vývrtech. Současně jádrové vývrty dosahovaly značně vyšších hodnot deformací oproti Marshallovým tělesům. Hodnoty Marshallovy stability směsí ACP 32 zároveň výrazně přesahovaly požadované hodnoty na stabilitu všech směsí z normy ČSN 73 6121 z roku 1994, která byla poslední normou určující požadavky na tuto zkoušku.



Souhrnné výsledky praktické části jsou uvedeny v následující tabulce.

Veličina	ACP 32 bez R- mat.	ACP 32 S 40 % R-mat.	Jádrové vývrty bez R-mat.	Jádrové vývrty s 40 %R-mat.
Průměrná objemová hmotnost ρ_{bssd} [Mg/m ³]	2,704	2,593	2,657	2,562
Maximální objemová hmotnost ρ_m [Mg/m ³]	2,861	2,754	2,861	2,754
Obsah rozpustného pojiva [%]	3,61	3,92	3,61	3,92
Mezerovitost V_a [%]	5,5	5,8	7,15	6,98
Průměrná míra zhutnění [%]	100,0	100,0	98,25	98,79
Průměrné moduly tuhosti při 15 °C [MPa]	9245,2	12830,1	6785,2	12764,1
Průměrné moduly tuhosti při 40 °C [MPa]	1114,0	1728,1	800,6	1486,2
Lomová houževnatost [N/mm ^{3/2}]	45,2	44,0	31,4	37,3
Lomová energie [N/mm ^{3/2}]	2477,8	2294,3	2462,2	2267,8
Marshallova stabilita [kN]	13,5	12,3	11,7	12,7

Tabulka 66 - SOUHRN PRAKTICKÉ ČÁSTI



Seznam použité literatury

- [1] ČSN 73 6148 – Asfaltový beton pro kryty vozovek (z 15.11.1967)
- [2] ČSN 73 6121 – Stavba vozovek – Hutněné asfaltové vrstvy – Provádění a kontrola shody (březen 2023)
- [3] ČSN 73 6149 – Asfaltový beton pro kryty vozovek (z 16.9.1983)
- [4] ČSN 73 6149 – Asfaltový beton pro kryty vozovek (z 06.05.1991)
- [5] ČSN 73 6121 – Stavba vozovek – hutněné asfaltové vrstvy (červenec 1994)
- [6] ČSN 73 6121 – Stavba vozovek – Hutněné asfaltové vrstvy – Provádění a kontrola shody ČSN 73 6121 (březen 2004)
- [7] ČSN 73 6121 – Stavba vozovek – Hutněné asfaltové vrstvy – Provádění a kontrola shody ČSN 73 6121 (únor 2019)
- [8] ČSN 73 6121 – Stavba vozovek – Hutněné asfaltové vrstvy – Provádění a kontrola shody ČSN 73 6121 (březen 2023)
- [9] Katalógové listy asfaltových zmesí KLAZ 1/2019
- [10] TKP 6 Technicko-kvalitativní podmínky – hutněné asfaltové směsi (20.12.2019)
- [11] Školení STEPS 7 – Pokládka hutněných asfaltových směsí doc. Ing. Václav Hanzík CSc., Ing. Petr Mondschein Ph.D.
- [12] Roads ČR – Stavební stroje Vögele; <https://www.road-group.info/stroje/voegele/>
- [13] VAA News Center: Paver Setup: Getting consistent take-offs every time; https://vaa.mynewscenter.org/wp-content/uploads/2019/01/PaverSetup_Image4-300x226.jpg
- [14] ForConstructionPros. CONEXPO Video: A Look at the Vogele Tamper Screed. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=wGp1_3-VX04. Accessed Feb. 6, 2020.
- [15] WIRTGEN GROUP – Pokládková lišta AB 600; <https://www.wirtgen-group.com/ocs/de-de/voegele/ab-600-228-p/>
- [16] WIRTGEN GROUP – Road pavers; <https://www.wirtgen-group.com/ocs/en-cz/voegele/road-pavers-50-c/>
- [17] Asfaltové směsi – Rozdělení, výroba, pokládka, hutnění; Ing. Jan Valentin, Ph.D.; ČVUT, Fsv, Katedra silničních staveb



- [18] Lectura specs – Vögele Super 1300-3i;
<https://www.lecturaspecs.cz/cz/model/stavebni-stroje/pasove-finisery-vogele/super-1300-3i-11752906>
- [19] EKOSTAVBY Louny – technika dopravních staveb;
<https://www.ekostavbylouny.cz/stavebni-vyroba/dopravni-stavby/technika-pro-dopravni-stavby.html>
- [20] STAVBA-STROJE BVP 18/45 D BOMAG;
<https://www.stavba-stroje.cz/vibracni-desky-jednosmerne/vibracni-deska-jednosmerna-bvp-18-45-d-bomag/>
- [21] Asfaltové směsi – Ing. Petr Mondschein Ph.D.; ČVUT Fsv, Katedra silničních staveb
- [22] Constrofacilitator – Compaction Equipment, Pneumatic Tyred Rollers;
<https://constrofacilitator.com/compaction-equipment-pneumatic-tyred-rollers/>
- [23] WIRTGEN-GROUP Pneumatic Tyre Rollers HAMM HP 280i;
<https://www.wirtgen-group.com/ocs/en-us/hamm/hp-280i-19258-p/>
- [24] Standard Vibration – Amman Group; obrázek z videa dostupného na
<https://www.youtube.com/watch?v=j-qglC3CEMQ>
- [25] WIRTGEN-GROUP – tandem rollers;
<https://www.wirtgen-group.com/ocs/en-cz/hamm/tandem-rollers-131-c/>
- [26] Highways today – More than 35 years of oscillation with HAMM solutions for asphalt construction and earthwork; obrázek z:
<https://highways.today/2018/05/28/oscillation-hamm-solutions-asphalt-construction-earthwork/>
- [27] AMMAN – ARX 110 C; obrázek z webové stránky dostupné na:
<https://www.ammann.com/cz-cz/machines/soil-and-asphalt-compactors/tandem-rollers/arx-110c>
- [28] ENCORUS GROUP – „What is a „Troxler" and why is it important?“ Dostupné na: <https://encorus.com/2018/01/04/what-is-a-troxler-and-why-is-it-important/>
- [29] ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Síťový rozbor
- [30] ČSN EN 12697-35 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 35: Laboratorní výroba směsi



- [31] ČSN EN 12697-30 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem
- [32] ČSN EN 12697-6 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa
- [33] ČSN EN 12697-5 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti
- [34] ČSN EN 12697-8 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí
- [35] ČSN EN 12697-1 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 1: Obsah rozpustného pojiva
- [36] ČSN 73 6190 Statická zatěžovací zkouška podloží a podkladních vrstev vozovek
- [37] ČSN 72 1006 Kontrola zhutnění zemin a sypanin
- [38] ČSN 73 6192 Rázové zatěžovací zkoušky vozovek a podloží
- [39] WIRTGEN GROUP COMPANY – HAMM DV+ 90i VO-S – Technical data sheet
- [40] ČSN 73 6160 – Zkoušení asfaltových směsí
- [41] ČSN EN 12697-26 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 26+A1: Tuhost
- [42] ČSN EN 12697-44 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 44: Šíření trhliny zkouškou ohybem na půlválcovém zkušebním tělese
- [43] ČSN EN 12697-34 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 34: Marshallova zkouška



Příloha A – Zrnitost kameniva

Kamenivo 0/4 Měřunice			Kamenivo 4/8 Měřunice		
125 mm	-	% hm.	125 mm	-	% hm.
90 mm	-	% hm.	90 mm	-	% hm.
63 mm	-	% hm.	63 mm	-	% hm.
45 mm	100	% hm.	45 mm	100	% hm.
31,5 mm	100	% hm.	31,5 mm	100	% hm.
22,4 mm	100	% hm.	22,4 mm	100	% hm.
16 mm	100	% hm.	16 mm	100	% hm.
11,2 mm	100	% hm.	11,2 mm	100	% hm.
8 mm	100	% hm.	8 mm	74	% hm.
5,6 mm	100	% hm.	5,6 mm	20	% hm.
4 mm	87	% hm.	4 mm	4	% hm.
2 mm	69	% hm.	2 mm	1	% hm.
1 mm	39	% hm.	1 mm	0	% hm.
0,5 mm	20	% hm.	0,5 mm	0	% hm.
0,25 mm	9	% hm.	0,25 mm	0	% hm.
0,125 mm	4	% hm.	0,125 mm	0	% hm.
0,063 mm	2	% hm.	0,063 mm	0,1	% hm.

Tabulka 67 - ZRNITOST FRAKČÍ 0/4 A 4/8

Kamenivo 8/11 Měřunice			Kamenivo 11/16 Měřunice		
125 mm	-	% hm.	125 mm	-	% hm.
90 mm	-	% hm.	90 mm	-	% hm.
63 mm	-	% hm.	63 mm	-	% hm.
45 mm	100	% hm.	45 mm	100	% hm.
31,5 mm	100	% hm.	31,5 mm	100	% hm.
22,4 mm	100	% hm.	22,4 mm	100	% hm.
16 mm	100	% hm.	16 mm	72	% hm.
11,2 mm	87	% hm.	11,2 mm	6	% hm.
8 mm	7	% hm.	8 mm	1	% hm.
5,6 mm	1	% hm.	5,6 mm	0	% hm.
4 mm	0	% hm.	4 mm	0	% hm.
2 mm	0	% hm.	2 mm	0	% hm.
1 mm	0	% hm.	1 mm	0	% hm.
0,5 mm	0	% hm.	0,5 mm	0	% hm.
0,25 mm	0	% hm.	0,25 mm	0	% hm.
0,125 mm	0	% hm.	0,125 mm	0	% hm.
0,063 mm	0,3	% hm.	0,063 mm	0,1	% hm.

Tabulka 68 - ZRNITOST FRAKČÍ 8/11 A 11/16



R-materiál RA 0/16			JMV Čertovy Schody		
125	mm	- % hm.	125	mm	- % hm.
90	mm	- % hm.	90	mm	- % hm.
63	mm	- % hm.	63	mm	- % hm.
45	mm	100 % hm.	45	mm	100 % hm.
31,5	mm	100 % hm.	31,5	mm	100 % hm.
22,4	mm	100 % hm.	22,4	mm	100 % hm.
16	mm	91 % hm.	16	mm	100 % hm.
11,2	mm	82 % hm.	11,2	mm	100 % hm.
8	mm	71 % hm.	8	mm	100 % hm.
5,6	mm	61 % hm.	5,6	mm	100 % hm.
4	mm	53 % hm.	4	mm	100 % hm.
2	mm	40 % hm.	2	mm	100 % hm.
1	mm	30 % hm.	1	mm	100 % hm.
0,5	mm	21 % hm.	0,5	mm	100 % hm.
0,25	mm	15 % hm.	0,25	mm	100 % hm.
0,125	mm	10 % hm.	0,125	mm	93,8 % hm.
0,063	mm	7,7 % hm.	0,063	mm	78,9 % hm.

Tabulka 69 - ZRNITOST JMV A RA 0/16

Kamenivo 8/32 Měrunice	
125	mm - % hm.
90	mm - % hm.
63	mm - % hm.
45	mm 100 % hm.
31,5	mm 83 % hm.
22,4	mm 46 % hm.
16	mm 22 % hm.
11,2	mm 8 % hm.
8	mm 1 % hm.
5,6	mm 0 % hm.
4	mm 0 % hm.
2	mm 0 % hm.
1	mm 0 % hm.
0,5	mm 0 % hm.
0,25	mm 0 % hm.
0,125	mm 0 % hm.
0,063	mm 0,1 % hm.

Tabulka 70 ZRNITOST FRAKCE 8/32



Příloha B – Volumetrické vlastnosti

TYP HUTNĚNÍ	Č. MĚŘENÍ	MĚŘENÉ VELIČINY	za lištou finišeru	statický pojezd	1. pojezd vibrací	2. pojezd vibrací	3. pojezd vibrací	4. pojezd vibrací
VIBRACE	I.	Míra zhutnění [%]	82,74	90,86	94,85	95,4	97,5	98,59
		ρ_{bssd} [Mg/m ³]	2,234	2,453	2,561	2,576	2,633	2,662
		V_a [%]	21,92	14,25	10,49	9,97	7,99	6,96
	II.	Míra zhutnění [%]	83,37	89,17	93,96	94,81	97,2	98,41
		ρ_{bssd} [Mg/m ³]	2,251	2,408	2,537	2,560	2,624	2,657
		V_a [%]	21,32	15,85	11,33	10,53	8,27	7,13
	III.	Míra zhutnění [%]	82,13	90,4	93,85	95,12	97,1	98,77
		ρ_{bssd} [Mg/m ³]	2,218	2,441	2,534	2,568	2,622	2,667
		V_a [%]	22,49	14,69	11,43	10,23	8,36	6,79

Tabulka 71 - MÍRA ZHUTNĚNÍ METODOU TROXLER ACP 32 (vibrace)

TYP HUTNĚNÍ	Č. MĚŘENÍ	MĚŘENÉ VELIČINY	za lištou finišeru	statický pojezd	1. pojezd vibrací	2. pojezd vibrací	3. pojezd vibrací	4. pojezd vibrací
40% R. MAT - VIBRACE	I.	Míra zhutnění [%]	82,16	90,21	94,12	95,31	97,24	98,35
		ρ_{bssd} [Mg/m ³]	2,136	2,345	2,447	2,478	2,528	2,557
		V_a [%]	22,21	14,59	10,88	9,76	7,93	6,88
	II.	Míra zhutnění [%]	83,22	90,86	94,91	95,69	97,06	98,29
		ρ_{bssd} [Mg/m ³]	2,164	2,362	2,468	2,488	2,524	2,556
		V_a [%]	21,20	13,97	10,14	9,40	8,10	6,94
	III.	Míra zhutnění [%]	82,45	90,52	94,67	95,30	97,20	98,34
		ρ_{bssd} [Mg/m ³]	2,144	2,354	2,461	2,478	2,527	2,557
		V_a [%]	21,93	14,29	10,36	9,77	7,97	6,89

Tabulka 72 - MÍRA ZHUTNĚNÍ METODOU TROXLER ACP 32 + 40 % R-MATERIÁL (vibrace)

TYP HUTNĚNÍ	Č. MĚŘENÍ	MĚŘENÉ VELIČINY	za lištou finišeru	statický pojezd	1. pojezd s oscilací	2. pojezd s oscilací	3. pojezd s oscilací	4. pojezd s oscilací	5. pojezd s oscilací
OSCILACE	I.	Míra zhutnění [%]	82,73	90,51	93,04	94,76	96,37	97,29	98,13
		ρ_{bssd} [Mg/m ³]	2,234	2,444	2,512	2,559	2,602	2,627	2,650
		V_a [%]	21,93	14,58	12,20	10,57	9,05	8,18	7,39
	II.	Míra zhutnění [%]	83,11	90,71	92,93	94,22	96,18	96,92	97,98
		ρ_{bssd} [Mg/m ³]	2,244	2,449	2,509	2,544	2,597	2,617	2,645
		V_a [%]	21,57	14,39	12,30	11,08	9,23	8,53	7,53
	III.	Míra zhutnění [%]	82,86	90,41	93,12	94,85	96,07	97,25	98,20
		ρ_{bssd} [Mg/m ³]	2,237	2,441	2,514	2,561	2,594	2,626	2,651
		V_a [%]	21,80	14,68	12,12	10,49	9,34	8,22	7,33

Tabulka 73 - MÍRA ZHUTNĚNÍ METODOU TROXLER ACP 32 (oscilace)



TYP HUTNĚNÍ	Č. MĚŘENÍ	MĚŘENÉ VELIČINY	za lištou finašeru	1. statický pojezd	2. statický pojezd	3. statický pojezd	4. statický pojezd	5. statický pojezd	6. statický pojezd	7. statický pojezd	8. statický pojezd	
STATICKÝ	I.	Míra zhutnění [%]	82,22	89,18	91,65	94,37	95,15	96,18	97,01	97,21	97,99	
		ρ_{bssd} [Mg/m ³]	2,220	2,408	2,475	2,548	2,569	2,597	2,619	2,625	2,646	
		V_a [%]	22,41	15,84	13,51	10,94	10,20	9,23	8,45	8,26	7,52	
	II.	Míra zhutnění [%]	82,05	90,28	92,75	93,5	94,71	95,61	96,61	96,61	97,12	97,91
		ρ_{bssd} [Mg/m ³]	2,215	2,438	2,504	2,525	2,557	2,581	2,608	2,608	2,622	2,644
		V_a [%]	22,57	14,80	12,47	11,76	10,62	9,77	8,83	8,83	8,35	7,60
	III.	Míra zhutnění [%]	82,88	90,6	93,01	94,77	95,26	96,33	96,33	97,22	97,64	98,11
		ρ_{bssd} [Mg/m ³]	2,238	2,446	2,511	2,559	2,572	2,601	2,601	2,625	2,636	2,649
		V_a [%]	21,78	14,50	12,22	10,56	10,10	9,09	8,25	8,25	7,85	7,41

Tabulka 74 - MÍRA ZHUTNĚNÍ METODOU TROXLER ACP 32 (statické hutnění)



VZOREK	d ₁ [mm]	d ₂ [mm]	h ₁ [mm]	h ₂ [mm]	h ₃ [mm]	h ₄ [mm]	Ø d [mm]	Ø h [mm]
1O_100	99,29	99,20	88,83	89,42	88,65	86,41	99,25	88,33
2O_100	99,79	99,23	84,28	85,09	86,06	84,48	99,51	84,98
3O_100	99,46	99,63	83,03	83,73	87,10	83,00	99,55	84,22
4O_100	99,96	98,87	87,06	85,59	85,48	86,90	99,42	86,26
1S_100	99,42	99,58	87,48	88,25	86,80	86,96	99,50	87,37
2S_100	99,46	99,89	81,60	82,57	82,43	81,00	99,68	81,90
3S_100	99,36	100,17	85,45	84,59	83,30	83,14	99,77	84,12
4S_100	99,45	99,32	83,62	87,97	91,01	84,23	99,39	86,71
1V_100	99,12	100,03	82,47	82,25	85,47	86,11	99,58	84,08
2V_100	99,24	99,80	80,09	83,82	85,75	83,20	99,52	83,22
3V_100	99,14	99,51	82,73	86,63	90,91	87,20	99,33	86,87
4V_100	99,47	99,44	84,68	86,01	87,61	85,83	99,46	86,03
1R_100	99,78	90,92	89,72	87,68	88,25	88,85	95,35	88,63
2R_100	99,86	99,51	91,01	90,69	89,80	90,65	99,69	90,54
3R_100	99,60	100,05	85,88	86,81	86,13	82,66	99,83	85,37
4R_100	99,60	99,80	88,55	87,59	90,72	87,44	99,70	88,58

Tabulka 75 - ROZMĚRY VÝVRTŮ O PRŮMĚRU 100 mm

VZOREK	d ₁ [mm]	d ₂ [mm]	h ₁ [mm]	h ₂ [mm]	h ₃ [mm]	h ₄ [mm]	Ø d [mm]	Ø h [mm]
1O_150	150,24	150,41	84,92	90,60	88,31	82,95	150,33	86,70
2O_150	150,41	150,81	90,66	90,21	95,00	94,55	150,61	92,61
3O_150	150,45	150,52	80,96	90,59	89,37	79,62	150,49	85,14
4O_150	149,84	150,11	84,50	85,35	82,86	83,70	149,98	84,10
1S_150	149,95	150,01	84,72	80,61	82,20	85,33	149,98	83,22
2S_150	150,17	150,14	86,06	89,91	85,91	85,47	150,16	86,84
3S_150	149,99	149,88	87,11	85,35	88,97	87,16	149,94	87,15
4S_150	150,13	150,15	90,50	91,85	91,42	93,16	150,14	91,73
1V_150	149,91	149,75	92,76	91,35	86,25	92,12	149,83	90,62
2V_150	149,90	150,07	87,10	88,66	83,09	82,83	149,99	85,42
3V_150	150,18	149,89	83,87	87,10	82,49	77,90	150,04	82,84
4V_150	149,92	149,98	84,38	89,14	85,98	86,15	149,95	86,41
1R_150	149,84	149,96	84,00	83,01	82,28	84,11	149,90	83,35
2R_150	149,99	149,89	76,74	78,25	79,55	79,35	149,94	78,47
3R_150	149,94	149,88	87,45	85,33	83,05	86,16	149,91	85,50
4R_150	149,84	150,02	87,46	85,47	87,39	86,39	149,93	86,68

Tabulka 76 - ROZMĚRY VÝVRTŮ O PRŮMĚRU 150 mm



VZOREK	ρ_{bssd} [Mg/m ³]	ρ_m [Mg/m ³]	Va [%]
1M	2,716	2,861	5,1
2M	2,699		5,7
3M	2,702		5,6
4M	2,691		5,9
5M	2,699		5,7
6M	2,711		5,2
7M	2,718		5,0
8M	2,695		5,8
∅	2,704	2,861	5,5

Tabulka 77 - OBJEMOVÉ HMOTNOSTI A MEZEROVITOST MARSHALLOVÝCH TĚLES ACP 32

VZOREK	ρ_{bssd} [Mg/m ³]	ρ_m [Mg/m ³]	Va [%]
1MR	2,585	2,754	6,1
2MR	2,591		5,9
3MR	2,603		5,5
4MR	2,602		5,5
5MR	2,600		5,6
6MR	2,594		5,8
7MR	2,582		6,2
8MR	2,588		6,0
∅	2,593	2,754	5,8

Tabulka 78 - OBJEMOVÉ HMOTNOSTI A MEZEROVITOST MARSHALLOVÝCH TĚLES ACP 32 + 40 % R-MAT

VZOREK	ρ_{bssd} [Mg/m ³]	ρ_m [Mg/m ³]	Míra zhutnění [%]	Va [%]
1O_100	2,669	2,861	98,71	6,7
2O_100	2,652		98,09	7,3
3O_100	2,661		98,41	7,0
4O_100	2,658		98,29	7,1
1S_100	2,614	2,861	96,69	8,6
2S_100	2,663		98,50	6,9
3S_100	2,672		98,81	6,6
4S_100	2,673		98,84	6,6
1V_100	2,652	2,861	98,06	7,3
2V_100	2,651		98,04	7,3
3V_100	2,661		98,41	7,0
4V_100	2,654		98,15	7,2
∅	2,657	2,861	98,25	7,14

Tabulka 79 - VOLUMETRICKÉ VLASTNOSTI VÝVRTŮ O PRŮMĚRU 100 mm



VZOREK	ρ_{bssd} [Mg/m ³]	ρ_m [Mg/m ³]	Míra zhutnění [%]	Va [%]
1VR_100	2,569	2,754	99,07	6,7
2VR_100	2,556		98,55	7,2
3VR_100	2,551		98,36	7,4
4VR_100	2,559		98,70	7,1
∅	2,559	2,861	98,67	7,09

Tabulka 80 - VOLUMETRICKÉ VLASTNOSTI VÝVRTŮ O PRŮMĚRU 100 mm S 40 % R-MAT

VZOREK	ρ_{bssd} [Mg/m ³]	ρ_m [Mg/m ³]	Míra zhutnění [%]	Va [%]
1O_150	2,665	2,861	98,56	6,8
2O_150	2,640		97,63	7,7
3O_150	2,639		97,61	7,7
4O_150	2,654		98,15	7,2
1S_150	2,668	2,861	98,68	6,7
2S_150	2,646		97,87	7,5
3S_150	2,676		98,95	6,5
4S_150	2,666		98,61	6,8
1V_150	2,641	2,861	97,67	7,7
2V_150	2,652		98,08	7,3
3V_150	2,654		98,14	7,2
4V_150	2,675		98,94	6,5
∅	2,656	2,861	98,24	7,15

Tabulka 81 - VOLUMETRICKÉ VLASTNOSTI VÝVRTŮ O PRŮMĚRU 150 mm

VZOREK	ρ_{bssd} [Mg/m ³]	ρ_m [Mg/m ³]	Míra zhutnění [%]	Va [%]
1VR_150	2,558	2,754	98,64	7,1
2VR_150	2,566		98,96	6,8
3VR_150	2,584		99,66	6,2
4VR_150	2,551		98,37	7,4
∅	2,565	2,861	98,91	6,87

Tabulka 82 - VOLUMETRICKÉ VLASTNOSTI VÝVRTŮ O PRŮMĚRU 150 mm S 40 % R-MAT



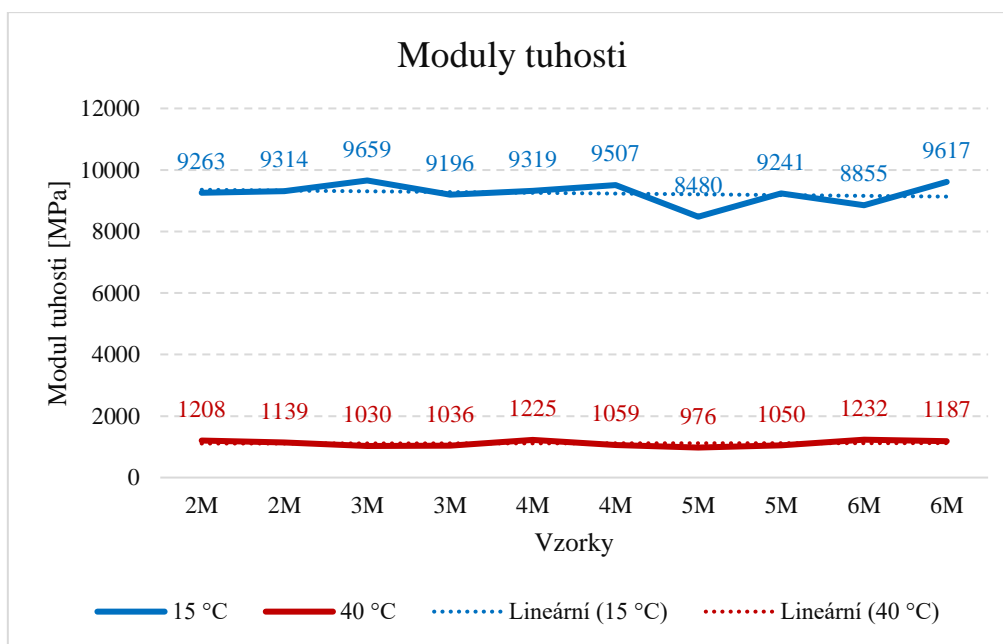
Příloha C – fyzikálně mechanické vlastnosti

ČÍSLO VZORKU	d [mm]	h [mm]	v [-]	vertical force [kN]	Stiffness measured [Mpa]	Stiffness adjusted [Mpa]
2M	101,8	62,0	0,31	4,9	9168	9263
2M	101,8	62,0	0,31	5,0	9261	9314
3M	101,5	61,4	0,31	5,1	9609	9659
3M	101,5	61,4	0,31	4,9	9163	9196
4M	101,5	61,2	0,31	4,9	9288	9319
4M	101,5	61,2	0,31	5,0	9477	9507
5M	101,7	61,8	0,31	4,5	8447	8480
5M	101,7	61,8	0,31	4,9	9197	9241
6M	101,6	61,8	0,31	4,7	8822	8855
6M	101,6	61,8	0,31	5,1	9573	9617

Tabulka 83 - MODULY TUHOSTÍ MARSHALLOVÝCH TĚLES ACP 32 PŘI 15 °C

ČÍSLO VZORKU	d [mm]	h [mm]	v [-]	vertical force [kN]	Stiffness measured [Mpa]	Stiffness adjusted [Mpa]
2M	101,8	62,0	0,45	0,5	1208	1208
2M	101,8	62,0	0,45	0,5	1138	1139
3M	101,5	61,4	0,45	0,4	1032	1030
3M	101,5	61,4	0,45	0,4	1036	1036
4M	101,5	61,2	0,45	0,5	1224	1225
4M	101,5	61,2	0,45	0,4	1059	1059
5M	101,7	61,8	0,45	0,4	979	976
5M	101,7	61,8	0,45	0,5	1049	1050
6M	101,6	61,8	0,45	0,5	1235	1232
6M	101,6	61,8	0,45	0,5	1188	1187

Tabulka 84 - MODULY TUHOSTÍ MARSHALLOVÝCH TĚLES ACP 32 PŘI 40 °C



Graf 21 - POROVNÁNÍ MODULŮ TUHOSTI MT ACP 32 PŘI 15 °C A 40 °C

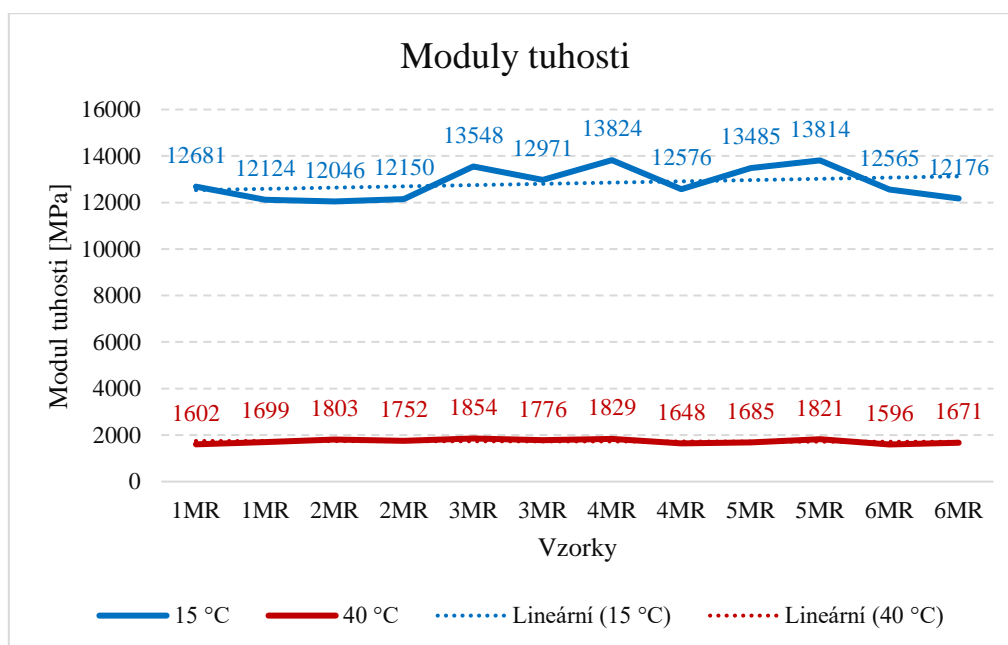
ČÍSLO VZORKU	d [mm]	h [mm]	v [-]	vertical force [kN]	Stiffness measured [Mpa]	Stiffness adjusted [Mpa]
1MR	101,3	62,6	0,31	6,7	12415	12681
1MR	101,3	62,6	0,31	6,4	11859	12124
2MR	101,6	61,8	0,31	6,3	11825	12046
2MR	101,6	61,8	0,31	6,3	11825	12150
3MR	101,6	62,3	0,31	7,1	13220	13548
3MR	101,6	62,3	0,31	6,8	12661	12971
4MR	101,7	61,3	0,31	7,1	13436	13824
4MR	101,7	61,3	0,31	6,5	12300	12576
5MR	101,7	61,9	0,31	7,0	13118	13485
5MR	101,7	61,9	0,31	7,2	13493	13814
6MR	101,8	61,4	0,31	6,5	12280	12565
6MR	101,8	61,4	0,31	6,3	11902	12176

Tabulka 85 - MODULY TUHOSTÍ MT ACP 32 S 40 % R-MAT. PŘI 15 °C



ČÍSLO VZORKU	d [mm]	h [mm]	v [-]	vertical force [kN]	Stiffness measured [Mpa]	Stiffness adjusted [Mpa]
1MR	101,3	62,6	0,45	0,7	1610	1602
1MR	101,3	62,6	0,45	0,7	1702	1699
2MR	101,6	61,8	0,45	0,8	1794	1803
2MR	101,6	61,8	0,45	0,7	1747	1752
3MR	101,6	62,3	0,45	0,8	1849	1854
3MR	101,6	62,3	0,45	0,8	1775	1776
4MR	101,7	61,3	0,45	0,8	1821	1829
4MR	101,7	61,3	0,45	0,7	1644	1648
5MR	101,7	61,9	0,45	0,7	1682	1685
5MR	101,7	61,9	0,45	0,8	1817	1821
6MR	101,8	61,4	0,45	0,7	1595	1596
6MR	101,8	61,4	0,45	0,7	1669	1671

Tabulka 86 - MODULY TUHOSTÍ MT ACP 32 S 40 % R-MAT. PŘI 15 °C



Tabulka 87 - POROVNÁNÍ MODULŮ TUHOSTI MT ACP 32 S 40 % R-MAT. PŘI 15 °C A 40 °C



ČÍSLO VZORKU	d [mm]	h [mm]	v [-]	vertical force [kN]	Stiffness measured [Mpa]	Stiffness adjusted [Mpa]
1S_100	99,5	67,2	0,31	3,6	6145	6159
1S_100	99,5	67,2	0,31	3,6	6234	6251
2S_100	99,7	66,5	0,31	3,7	6494	6520
2S_100	99,7	66,5	0,31	3,8	6603	6630
3S_100	99,8	60,8	0,31	3,2	6131	6147
3S_100	99,8	60,8	0,31	3,5	6669	6691
4S_100	99,4	59,2	0,31	3,2	6270	6294
4S_100	99,4	59,2	0,31	3,2	6270	6286
1O_100	99,2	60,9	0,31	3,2	6075	6101
1O_100	99,2	60,9	0,31	3,5	6588	6615
2O_100	99,5	57,7	0,31	3,6	7175	7184
2O_100	99,5	57,7	0,31	3,2	6461	6472
3O_100	99,5	58,2	0,31	3,2	6378	6401
3O_100	99,5	58,2	0,31	3,2	6293	6319
4O_100	99,4	66,9	0,31	3,1	5299	5309
4O_100	99,4	66,9	0,31	3,3	5748	5768
1V_100	99,6	60,1	0,31	3,2	6269	6284
1V_100	99,6	60,1	0,31	3,3	6350	6365
2V_100	99,5	62,0	0,31	3,3	6092	6110
2V_100	99,5	62,0	0,31	3,4	6402	6410
3V_100	99,3	57,6	0,31	3,3	6646	6662
3V_100	99,3	57,6	0,31	3,3	6623	6645
4V_100	99,5	62,8	0,31	3,3	6118	6130
4V_100	99,5	62,8	0,31	3,4	6303	6321
1VR_100	95,4	58,4	0,31	6,0	11918	11999
1VR_100	95,4	58,4	0,31	5,9	11719	11791
2VR_100	99,7	59,8	0,31	5,2	10087	10204
2VR_100	99,7	59,8	0,31	5,2	10154	10220
3VR_100	99,8	59,4	0,31	6,4	12498	12572
3VR_100	99,8	59,4	0,31	6,2	12108	12154
4VR_100	99,7	57,6	0,31	5,1	10271	10286
4VR_100	99,7	57,6	0,31	5,5	11076	11117

Tabulka 88 - MODULY TUHOSTÍ VÝVRTŮ O PRŮMĚRU 100 mm ACP 32 PŘI 15 °C



ČÍSLO VZORKU	d [mm]	h [mm]	v [-]	vertical force [kN]	Stiffness measured [Mpa]	Stiffness adjusted [Mpa]
1S_100	99,5	67,2	0,45	0,3	775	777
1S_100	99,5	67,2	0,45	0,3	711	709
2S_100	99,7	66,5	0,45	0,3	680	681
2S_100	99,7	66,5	0,45	0,3	736	736
3S_100	99,8	60,8	0,45	0,3	751	756
3S_100	99,8	60,8	0,45	0,2	616	615
4S_100	99,4	59,2	0,45	0,3	753	751
4S_100	99,4	59,2	0,45	0,3	707	707
1O_100	99,2	60,9	0,45	0,3	696	693
1O_100	99,2	60,9	0,45	0,3	751	748
2O_100	99,5	57,7	0,45	0,3	705	704
2O_100	99,5	57,7	0,45	0,3	748	741
3O_100	99,5	58,2	0,45	0,3	679	676
3O_100	99,5	58,2	0,45	0,3	735	735
4O_100	99,4	66,9	0,45	0,3	700	698
4O_100	99,4	66,9	0,45	0,3	675	673
1V_100	99,6	60,1	0,45	0,3	569	569
1V_100	99,6	60,1	0,45	0,3	531	529
2V_100	99,5	62,0	0,45	0,4	839	839
2V_100	99,5	62,0	0,45	0,3	748	748
3V_100	99,3	57,6	0,45	0,3	735	731
3V_100	99,3	57,6	0,45	0,4	798	794
4V_100	99,5	62,8	0,45	0,3	701	701
4V_100	99,5	62,8	0,45	0,3	756	757
1VR_100	95,4	58,4	0,45	0,7	1538	1537
1VR_100	95,4	58,4	0,45	0,6	1331	1331
2VR_100	99,7	59,8	0,45	0,6	1237	1245
2VR_100	99,7	59,8	0,45	0,6	1224	1227
3VR_100	99,8	59,4	0,45	1,0	2155	2145
3VR_100	99,8	59,4	0,45	1,0	1958	1956
4VR_100	99,7	57,6	0,45	0,7	1481	1479
4VR_100	99,7	57,6	0,45	0,6	1376	1376

Tabulka 89 - MODULY TUHOSTÍ VÝVRTŮ O PRŮMĚRU 100 mm ACP 32 PŘI 40 °C



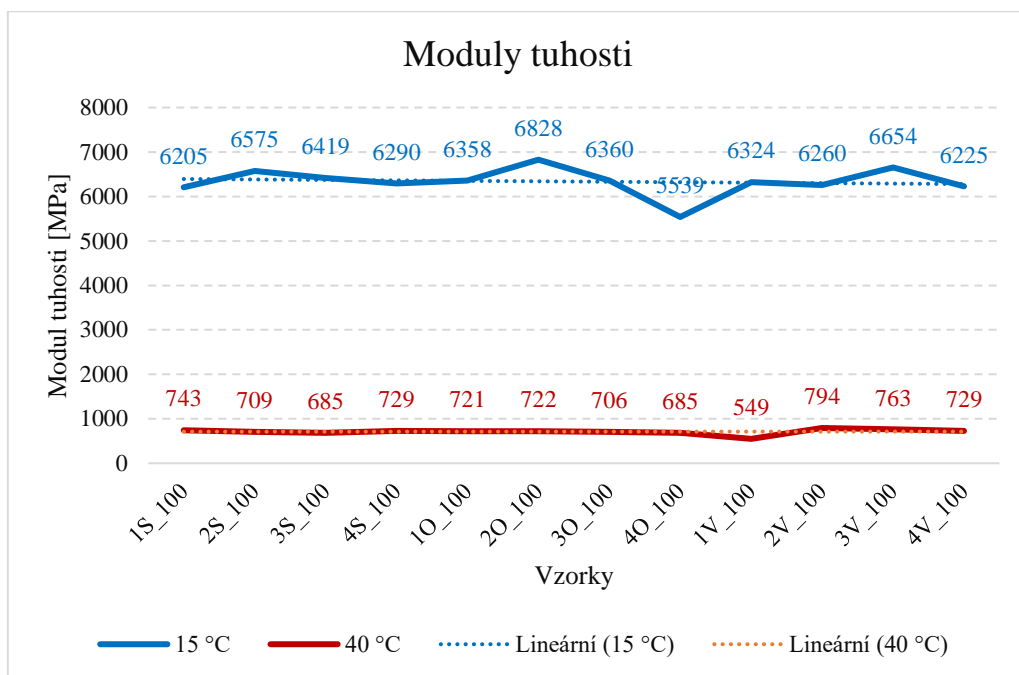
ČÍSLO VZORKU	d [mm]	h [mm]	v [-]	vertical force [kN]	Stiffness measured [Mpa]	Stiffness adjusted [Mpa]
1S_150	150,0	67,2	0,31	3,9	6769	6791
1S_150	150,0	67,2	0,31	3,7	6387	6401
2S_150	150,1	66,5	0,31	3,9	6725	6750
2S_150	150,1	66,5	0,31	3,8	6707	6736
3S_150	150,0	60,8	0,31	3,6	6868	6892
3S_150	150,0	60,8	0,31	3,8	7271	7294
4S_150	150,1	59,2	0,31	4,4	8622	8648
4S_150	150,1	59,2	0,31	4,0	7838	7863
1O_150	150,2	60,9	0,31	3,7	7048	7082
1O_150	150,2	60,9	0,31	3,8	7268	7294
2O_150	150,4	57,7	0,31	3,9	7843	7867
2O_150	150,4	57,7	0,31	3,8	7731	7756
3O_150	150,4	58,2	0,31	3,7	7474	7501
3O_150	150,4	58,2	0,31	3,7	7339	7360
4O_150	149,9	66,9	0,31	3,6	6319	6340
4O_150	149,9	66,9	0,31	4,0	6993	7013
1V_150	149,9	60,1	0,31	3,3	6369	6397
1V_150	149,9	60,1	0,31	3,6	6948	6976
2V_150	149,9	62,0	0,31	4,2	7794	7821
2V_150	149,9	62,0	0,31	4,1	7711	7742
3V_150	150,2	57,6	0,31	3,8	7653	7681
3V_150	150,2	57,6	0,31	3,8	7653	7681
4V_150	149,9	62,8	0,31	3,7	6834	6859
4V_150	149,9	62,8	0,31	3,7	6834	6872
1VR_150	149,8	63,2	0,31	7,1	13032	13163
1VR_150	149,8	63,2	0,31	7,0	12848	12950
2VR_150	150,0	59,8	0,31	7,7	14936	15028
2VR_150	150,0	59,8	0,31	6,9	13385	13450
3VR_150	149,9	59,4	0,31	7,0	13670	13759
3VR_150	149,9	59,4	0,31	7,6	14842	14940
4VR_150	149,8	57,6	0,31	7,6	15306	15387
4VR_150	149,8	57,6	0,31	7,5	15104	15208

Tabulka 90 - MODULY TUHOSTÍ VÝVRTŮ O PRŮMĚRU 150 mm ACP 32 PŘI 15 °C

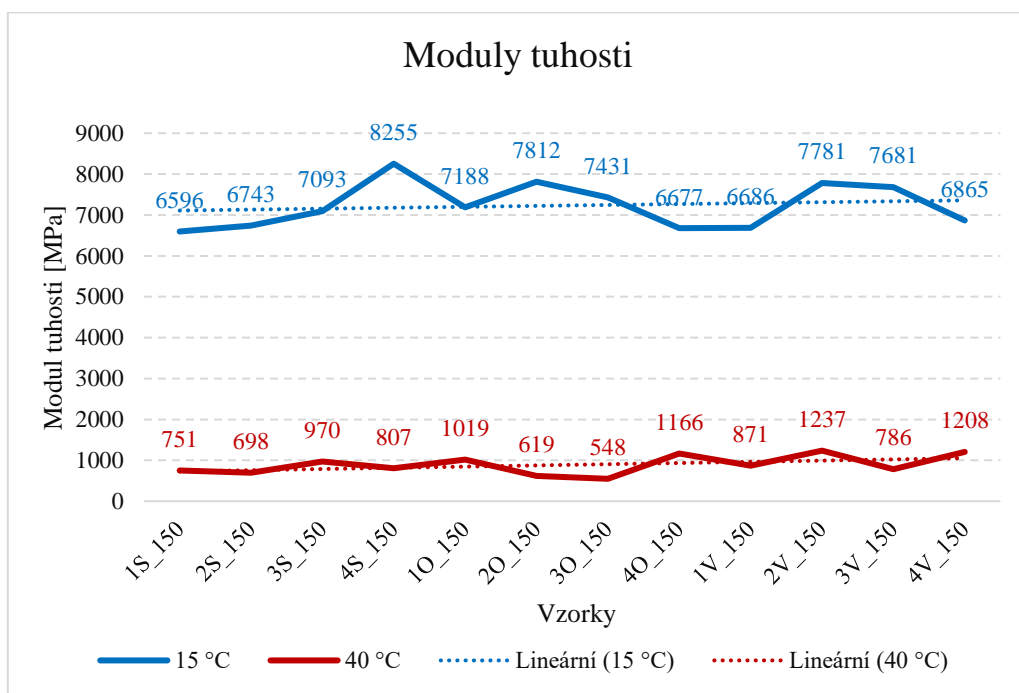


ČÍSLO VZORKU	d [mm]	h [mm]	v [-]	vertical force [kN]	Stiffness measured [Mpa]	Stiffness adjusted [Mpa]
1S_150	150,0	67,2	0,45	0,2	617	616
1S_150	150,0	67,2	0,45	0,3	885	886
2S_150	150,1	66,5	0,45	0,2	682	688
2S_150	150,1	66,5	0,45	0,2	722	708
3S_150	150,0	60,8	0,45	0,5	1158	1070
3S_150	150,0	60,8	0,45	0,3	849	871
4S_150	150,1	59,2	0,45	0,3	814	831
4S_150	150,1	59,2	0,45	0,3	766	783
1O_150	150,2	60,9	0,45	0,4	1142	1173
1O_150	150,2	60,9	0,45	0,3	843	864
2O_150	150,4	57,7	0,45	0,2	571	576
2O_150	150,4	57,7	0,45	0,2	657	663
3O_150	150,4	58,2	0,45	0,2	492	494
3O_150	150,4	58,2	0,45	0,2	599	602
4O_150	149,9	66,9	0,45	0,5	1304	1341
4O_150	149,9	66,9	0,45	0,4	964	992
1V_150	149,9	60,1	0,45	0,4	985	1011
1V_150	149,9	60,1	0,45	0,2	711	730
2V_150	149,9	62,0	0,45	0,5	1404	1445
2V_150	149,9	62,0	0,45	0,4	1001	1029
3V_150	150,2	57,6	0,45	0,2	710	723
3V_150	150,2	57,6	0,45	0,3	834	850
4V_150	149,9	62,8	0,45	0,5	1396	1439
4V_150	149,9	62,8	0,45	0,4	949	977
1VR_150	149,8	63,2	0,45	0,5	1551	1594
1VR_150	149,8	63,2	0,45	0,4	1212	1245
2VR_150	150,0	59,8	0,45	0,4	1254	1289
2VR_150	150,0	59,8	0,45	0,4	1113	1143
3VR_150	149,9	59,4	0,45	0,4	1285	1319
3VR_150	149,9	59,4	0,45	0,5	1438	1475
4VR_150	149,8	57,6	0,45	0,6	1959	2023
4VR_150	149,8	57,6	0,45	0,5	1355	1396

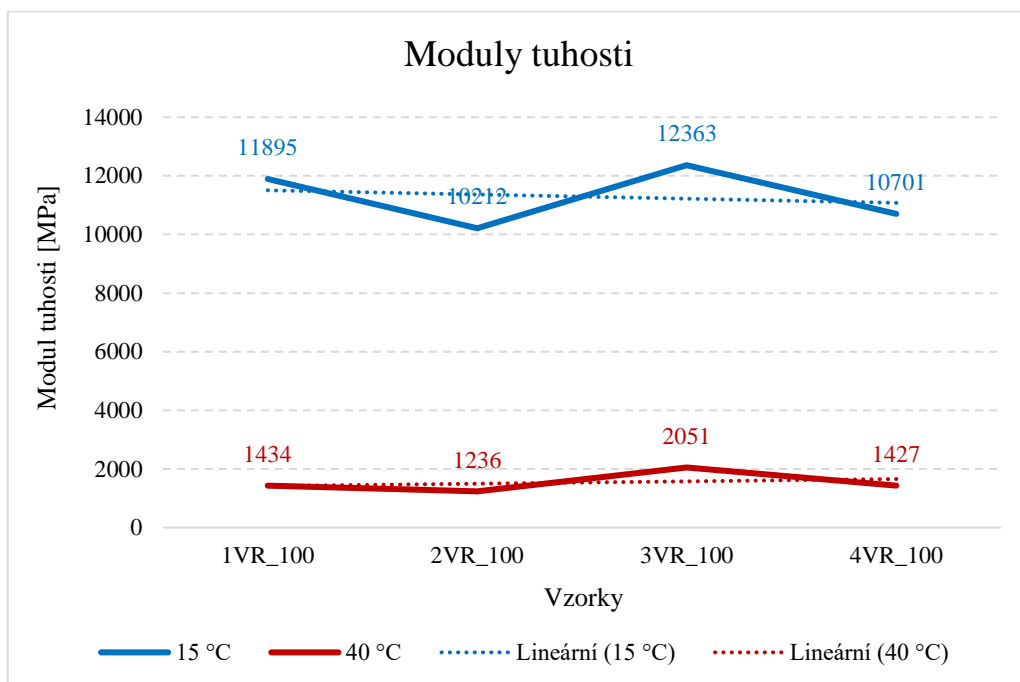
Tabulka 91 - MODULY TUHOSTÍ VÝVRTŮ O PRŮMĚRU 100 mm ACP 32 PŘI 40 °C



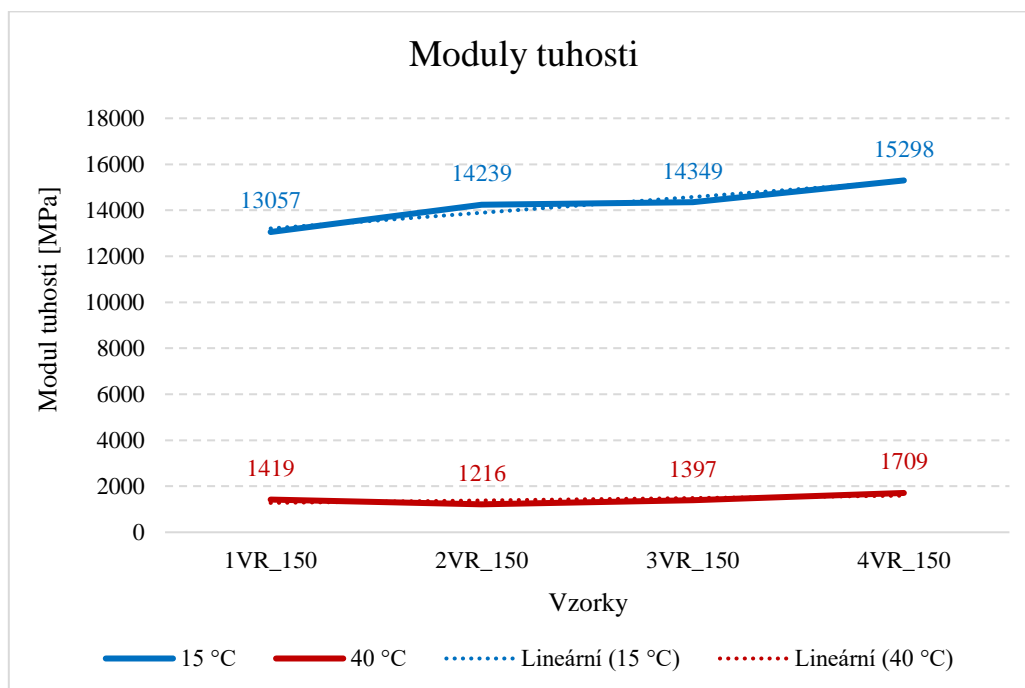
Graf 22 - POROVNÁNÍ MODULŮ TUHOSTI VÝVRTŮ O PRŮMĚRU 100 mm PŘI 15 °C A 40 °C



Graf 23 - POROVNÁNÍ MODULŮ TUHOSTI VÝVRTŮ O PRŮMĚRU 150 mm PŘI 15 °C A 40 °C



Graf 24 - MODULY TUHOSTI VÝVRTŮ + 40 % R-MAT. O PRŮMĚRU 100 mm PŘI 15 °C A 40 °C



Graf 25 - MODULY TUHOSTI VÝVRTŮ + 40 % R-MAT. O PRŮMĚRU 150 mm PŘI 15 °C A 40 °C



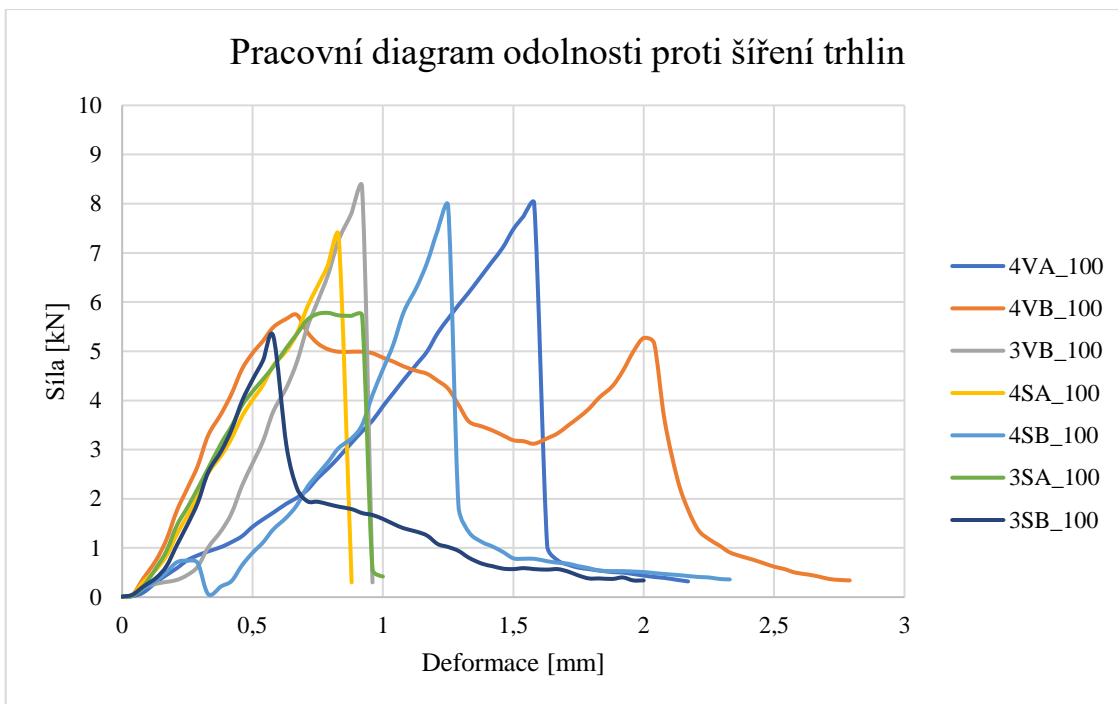
Vzorek	Deformace [mm]	Síla F [kN]	Lomová houževnatost Klc [N/mm ^{3/2}]	Lomová energie Gf [J/m ²]
3S_100A	0,79	5,75	36,2	1786
3S_100B	0,58	5,32	32,8	1433
4S_100A	0,92	7,80	47,9	1588
4S_100B	1,21	7,99	50,5	2193
3O_100A	1,74	7,02	41,0	3717
4O_100A	0,67	5,72	33,7	1589
4O_100B	1,00	4,15	26,2	2018
3V_100A	0,44	7,27	45,4	994
3V_100B	1,01	8,63	51,2	1374
4V_100A	1,63	8,16	49,0	2903
4V_100B	0,65	5,74	35,2	4762
3VR_100A	1,28	6,47	38,1	1839
3VR_100B	0,97	9,22	55,9	1867
4VR_100B	0,87	8,99	52,0	2186
1M_A	1,02	7,03	40,4	2520
1M_B	0,57	7,32	43,1	1631
6M_A	1,89	9,40	53,5	4537
6M_B	0,75	7,39	45,0	1765
8M_A	0,91	6,74	38,7	2157
8M_B	1,30	8,94	50,7	2257
5MR_A	0,93	5,29	31,4	1526
6MR_A	0,58	7,38	40,7	1129
6MR_B	1,94	7,62	46,6	3889
7MR_A	1,06	10,79	64,6	2609
7MR_B	0,72	7,03	38,9	1699
8MR_A	1,34	7,80	46,7	2757
8MR_B	1,00	6,82	39,4	2451

Tabulka 92 - ODOLNOST PROTI ŠÍŘENÍ TRHLIN PŘI 0 °C

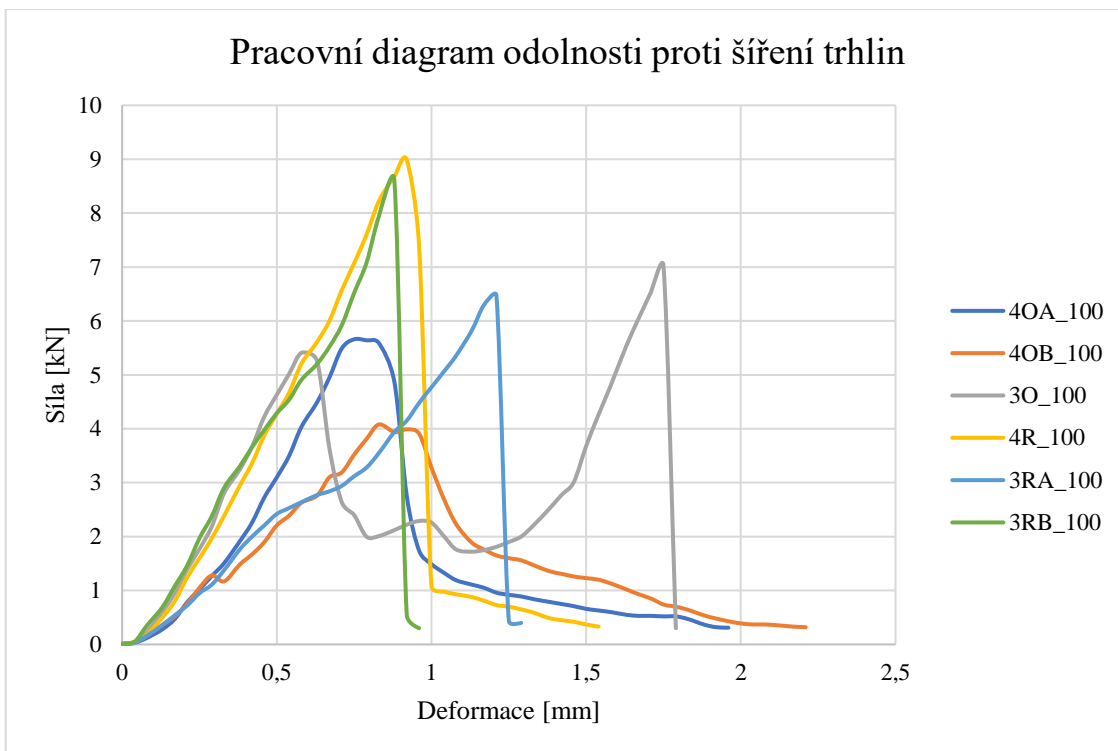


Vzorek	Deformace [mm]	Síla F [kN]	Lomová houževnatost Klc [N/mm ^{3/2}]	Lomová energie Gf [J/m ²]
1S_150B	1,31	11,62	30,1	2133
2S_150A	0,84	10,67	28,6	1498
2S_150B	0,97	9,04	23,3	1504
4S_150A	5,14	10,24	26,9	2357
4S_150B	1,22	12,10	30,7	2202
1O_150A	1,63	14,01	35,7	3332
1O_150B	1,84	11,03	29,8	3831
2O_150A	0,61	6,90	18,2	1190
2O_150B	2,09	10,91	29,2	3016
3O_150A	1,15	9,67	25,9	1575
3O_150B	1,08	9,84	23,1	1691
4O_150A	3,09	7,38	20,4	3955
4O_150B	1,34	4,50	11,7	2061
1V_150A	2,18	12,57	34,6	4156
1V_150B	1,32	9,37	23,9	2132
2V_150A	1,57	10,60	28,5	3079
2V_150B	1,07	9,88	25,6	2333
3V_150A	1,52	11,04	30,0	2861
3V_150B	2,81	11,28	29,2	4590
4V_150A	1,35	9,09	23,9	2594
4V_150B	1,79	10,39	27,2	2343
1VR_150A	1,38	11,31	29,6	2269
1VR_150B	1,73	11,07	30,3	2733
2VR_150A	0,70	12,13	31,4	1323
2VR_150B	0,66	12,59	34,7	1198
3VR_150A	1,76	14,26	37,9	4272
3VR_150B	1,60	10,71	28,7	3234
4VR_150A	1,30	13,30	35,8	2142
4VR_150B	0,78	13,54	35,9	1883

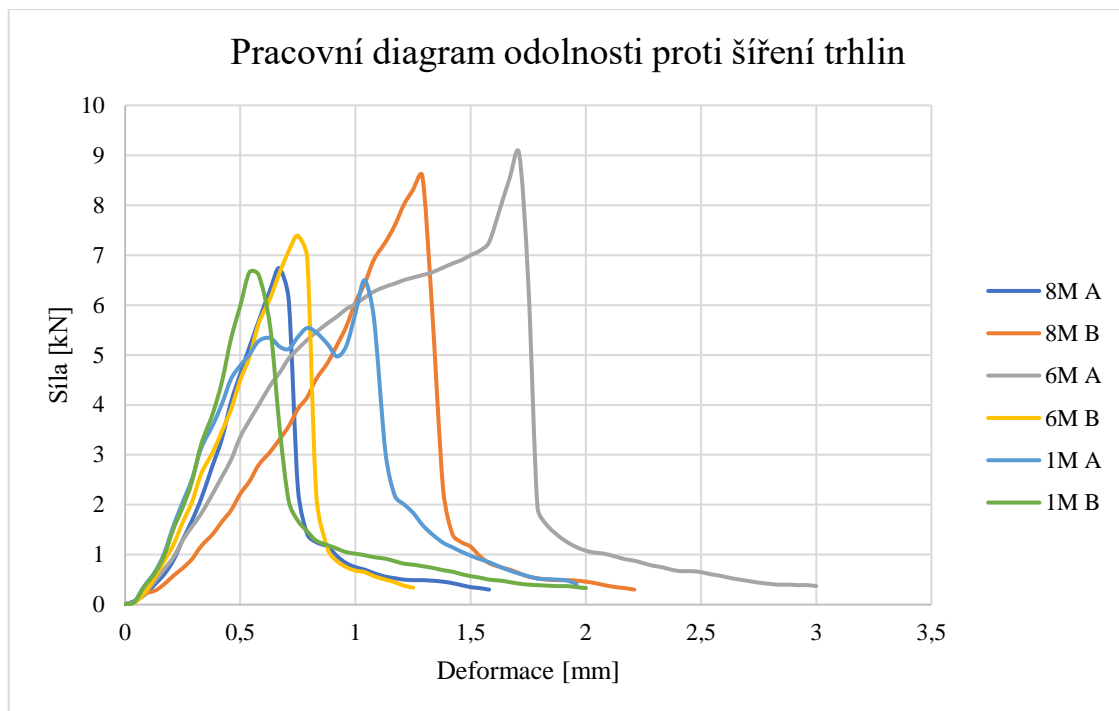
Tabulka 93 - ODOLNOST PROTI ŠÍŘENÍ TRHLIN VZORKŮ PŘI 0 °C



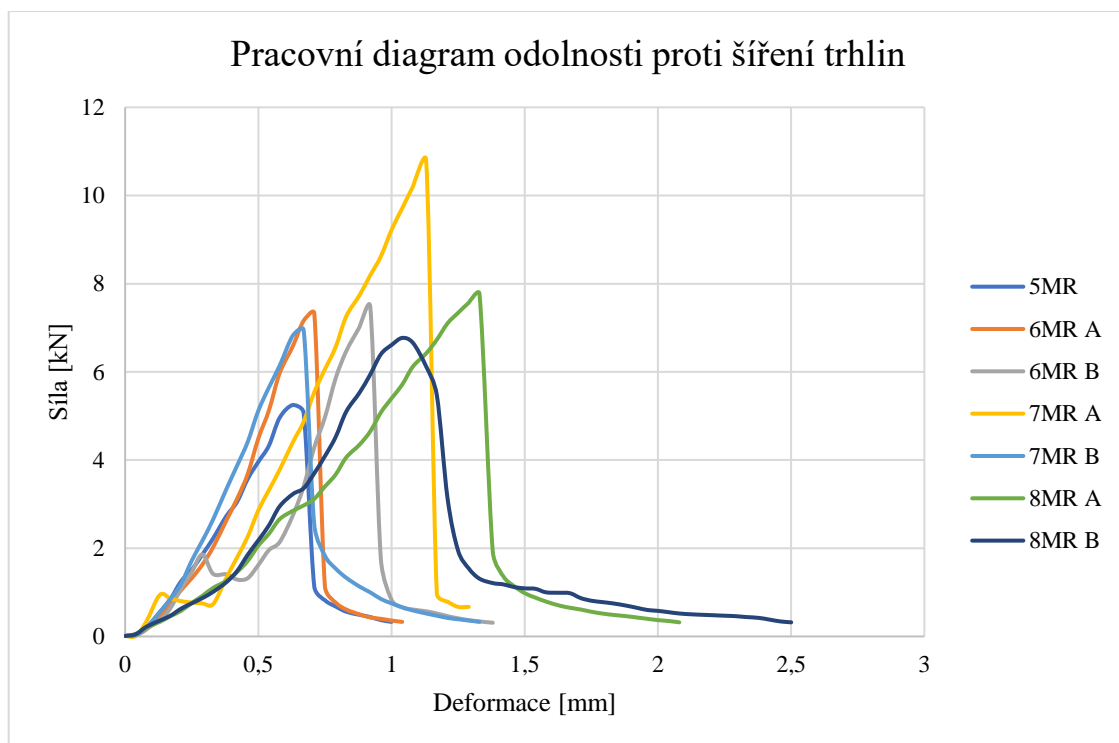
Graf 26 - ODOLNOST PROTI ŠÍŘENÍ TRHLIN VZORKŮ V + S (100 mm)



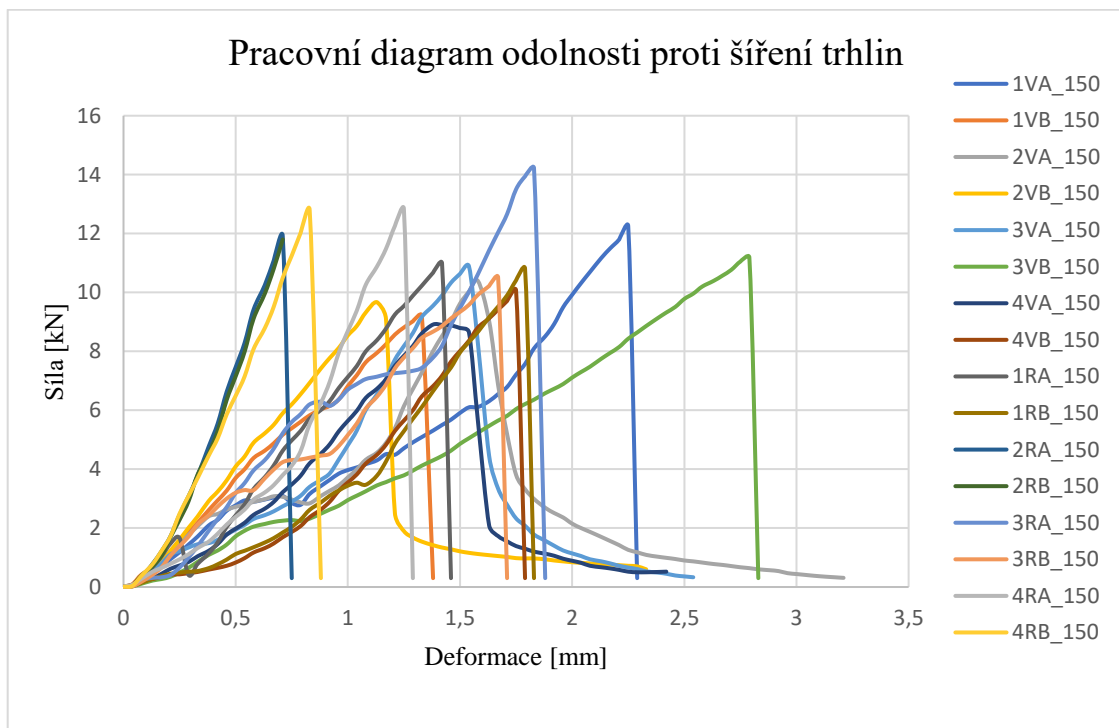
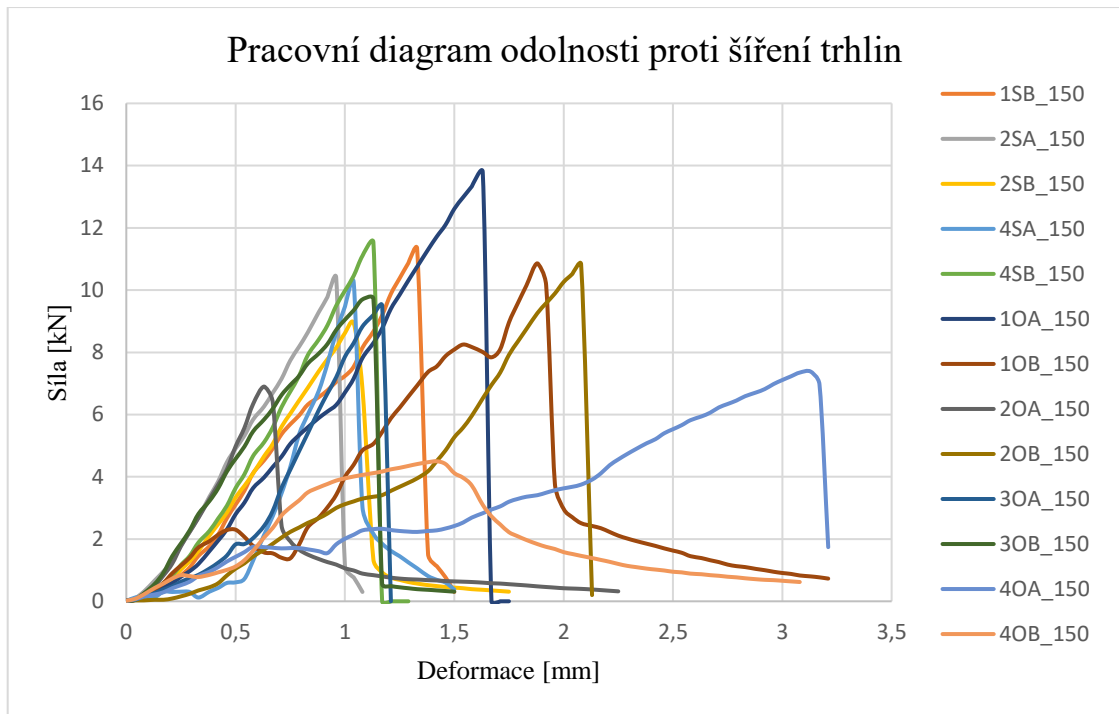
Graf 27 - ODOLNOST PROTI ŠÍŘENÍ TRHLIN VZORKŮ O + R (100 mm)

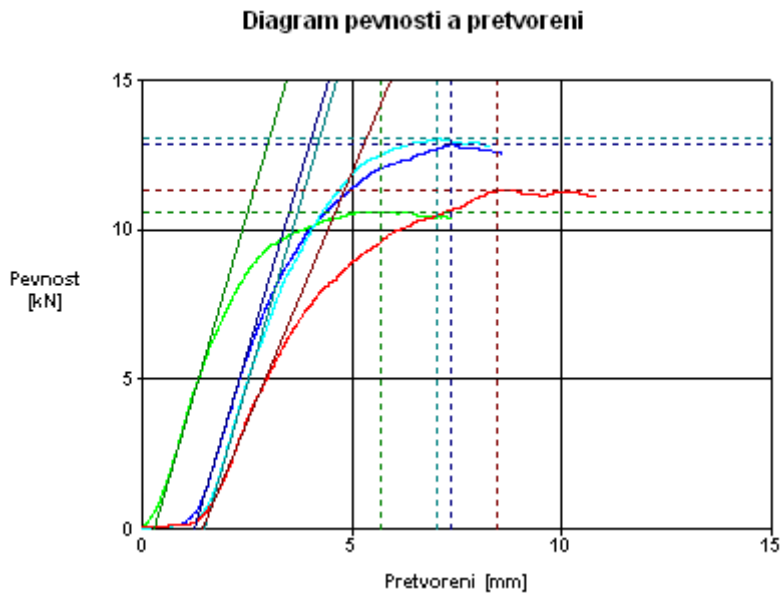


Graf 28 - ODOLNOST PROTI ŠÍŘENÍ TRHLIN MARSHALLOVÝCH TĚLES

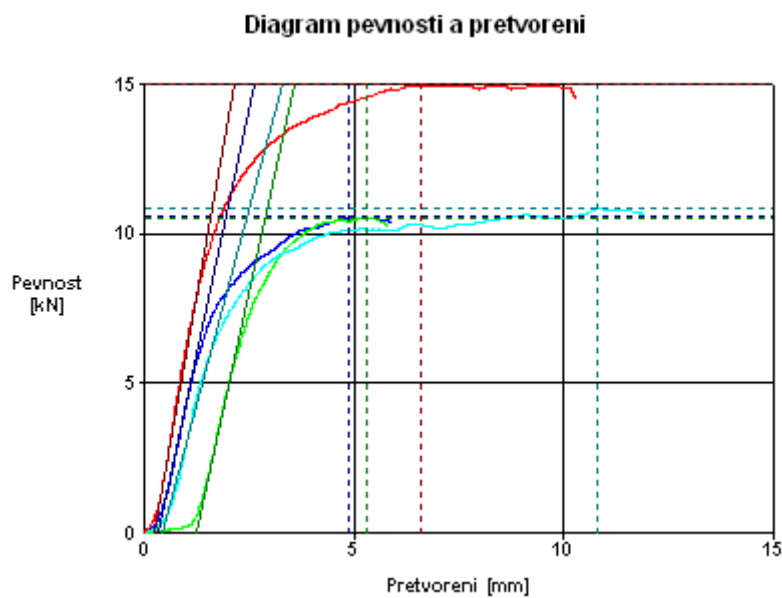


Graf 29 - ODOLNOST PROTI ŠÍŘENÍ TRHLIN MARSHALLOVÝCH TĚLES SMĚSI S 40 % R-MAT.

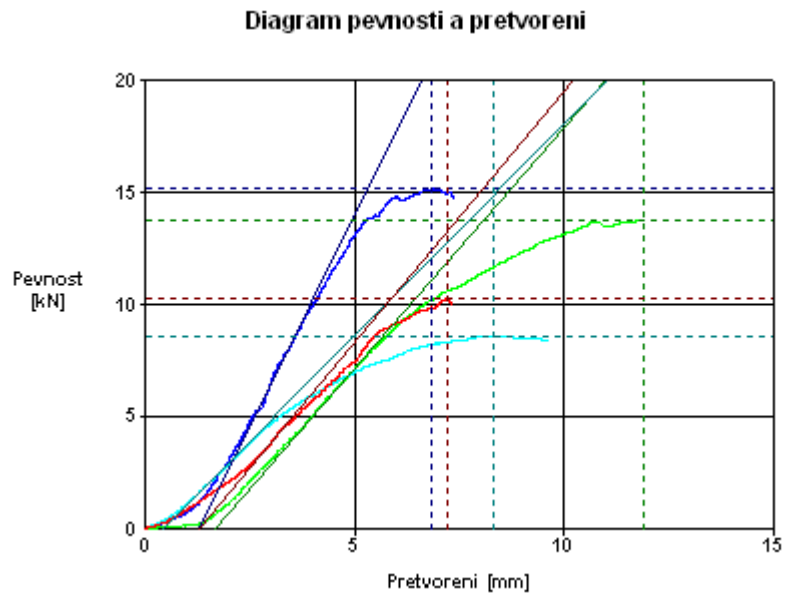




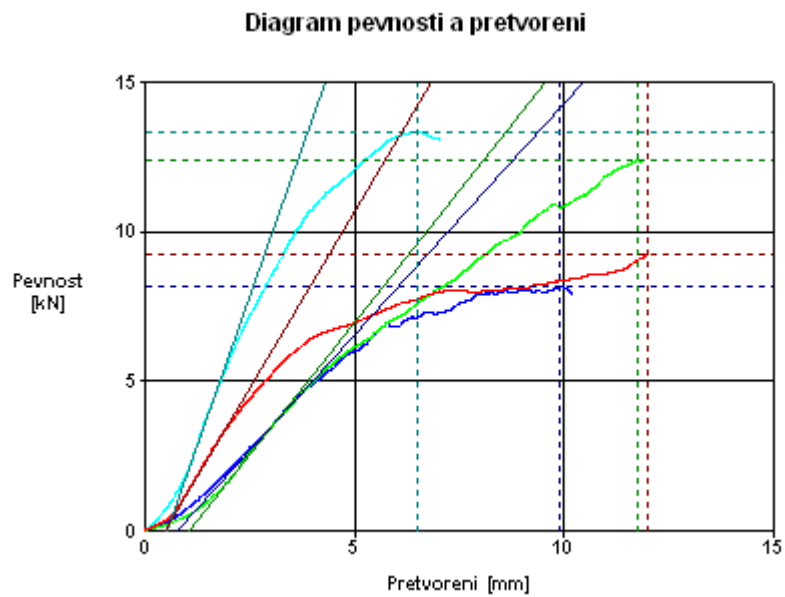
Graf 30 - PRACOVNÍ DIAGRAM MARSHALLOVY ZKOUŠKY MT ACP 32



Graf 31 - PRACOVNÍ DIAGRAM MARSHALLOVY ZKOUŠKY MT ACP 32 + 40 % R-MAT.



Graf 32 - PRACOVNÍ DIAGRAM MARSHALLOVY ZKOUŠKY TĚLES O_100 A VR_100



Graf 33 - PRACOVNÍ DIAGRAM MARSHALLOVY ZKOUŠKY TĚLES S_100 A V_100



Seznam grafů

Graf 1 - ZRNITOST FRAKČÍ KAMENIVA	- 73 -
Graf 2 - KŘIVKA ZRNITOSTI ACP 32 BEZ R-MAT.	- 74 -
Graf 3 - KŘIVKA ZRNITOSTI ACP 32 S 40 % R-MAT.	- 75 -
Graf 4 - KŘIVKA ZRNITOSTI ACP 32 BEZ R-MAT. PO EXTRAKCI.....	- 86 -
Graf 5 - KŘIVKA ZRNITOSTI ACP 32 S 40 % R-MAT. PO EXTRAKCI.....	- 86 -
Graf 6 - NÁVRHOVÁ KŘIVKA ZRNITOSTI ACP 32 BEZ R-MATERIÁLU.....	- 88 -
Graf 7 - NÁVRHOVÁ KŘIVKA ZRNITOSTI ACP 32 S 40 % R-MATERIÁLU.....	- 88 -
Graf 8 - KŘIVKA ZRNITOSTI ACP 32 BEZ R-MATERIÁLU.....	- 92 -
Graf 9 - KŘIVKA ZRNITOSTI ACP 32 S 40 % R-MATERIÁLU.....	- 93 -
Graf 10 - PRŮBĚH MÍRY ZHUTNĚNÍ	- 106 -
Graf 11 - PRŮMĚRNÉ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI [32]	- 111 -
Graf 12 - PRŮMĚRNÉ HODNOTY MÍRY ZHUTNĚNÍ VZORKŮ [40]	- 112 -
Graf 13 - PRŮMĚRNÉ HODNOTY MODULŮ TUHOSTI PŘI TEPLITĚ 15 °C..	- 115 -
Graf 14 - PRŮMĚRNÉ HODNOTY MODULŮ TUHOSTI PŘI TEPLITĚ 40 °C..	- 115 -
Graf 15 - LOMOVÁ HOUŽEVNATOST NA TĚLESECH O PRŮMĚRU 100 mm	- 120 -
Graf 16 - LOMOVÁ HOUŽEVNATOST NA TĚLESECH O PRŮMĚRU 150 mm	- 120 -
Graf 17 - LOMOVÁ ENERGIE NA TĚLESECH O PRŮMĚRU 100 mm.....	- 121 -
Graf 18 - LOMOVÁ ENERGIE NA TĚLESECH O PRŮMĚRU 150 mm.....	- 121 -
Graf 19 - POROVNÁNÍ HODNOT MARSHALLOVY STABILITY	- 124 -
Graf 20 - POROVNÁNÍ HODNOT PŘETVOŘENÍ MARSHALLOVY ZKOUŠKY-	124
-	
Graf 21 - POROVNÁNÍ MODULŮ TUHOSTI MT ACP 32 PŘI 15 °C A 40 °C	- 139 -
Graf 22 - POROVNÁNÍ MODULŮ TUHOSTI VÝVRTŮ O PRŮMĚRU 100 mm PŘI 15 °C A 40 °C	- 145 -



Graf 23 - POROVNÁNÍ MODULŮ TUHOSTI VÝVRTŮ O PRŮMĚRU 150 mm PŘI 15 °C A 40 °C.....	- 145 -
Graf 24 - MODULY TUHOSTI VÝVRTŮ + 40 % R-MAT. O PRŮMĚRU 100 mm PŘI 15 °C A 40 °C.....	- 146 -
Graf 25 - MODULY TUHOSTI VÝVRTŮ + 40 % R-MAT. O PRŮMĚRU 150 mm PŘI 15 °C A 40 °C.....	- 146 -
Graf 26 - ODOLNOST PROTI ŠÍŘENÍ TRHLIN VZORKŮ V + S (100 mm).....	- 149 -
Graf 27 - ODOLNOST PROTI ŠÍŘENÍ TRHLIN VZORKŮ O + R (100 mm).....	- 149 -
Graf 28 - ODOLNOST PROTI ŠÍŘENÍ TRHLIN MARSHALLOVÝCH TĚLES....	- 150 -
Graf 29 - ODOLNOST PROTI ŠÍŘENÍ TRHLIN MARSHALLOVÝCH TĚLES SMĚSI S 40 % R-MAT.....	- 150 -
Graf 30 - PRACOVNÍ DIAGRAM MARSHALLOVY ZKOUŠKY MT ACP 32.....	- 152 -
Graf 31 - PRACOVNÍ DIAGRAM MARSHALLOVY ZKOUŠKY MT ACP 32 + 40 % R-MAT.	- 152 -
Graf 32 - PRACOVNÍ DIAGRAM MARSHALLOVY ZKOUŠKY TĚLES O_100 A VR_100.....	- 153 -
Graf 33 - PRACOVNÍ DIAGRAM MARSHALLOVY ZKOUŠKY TĚLES S_100 A V_100	- 153 -



Seznam obrázků

Obrázek 1 - TAHAČE S NÁVĚSY	- 48 -
Obrázek 2 - NÁKLADNÍ AUTA 8x4	- 48 -
Obrázek 3 - HOMOGENIZÁTOR VÖGELE MT 1000-1	- 49 -
Obrázek 4 - NASTAVENÍ STARTOVACÍ VÝŠKY POMOCÍ DŘEVĚNÝCH HRANOLŮ	- 50 -
Obrázek 5 - POPIS HUTNÍCÍCH MECHANISMŮ POKLÁDKOVÉ LIŠTY	- 51 -
Obrázek 6 - KOLOVÝ FINIŠER VÖGELE SUPER 1803-3i	- 51 -
Obrázek 7 - KOMBINACE CHODNÍKOVÉHO FINIŠERU S DÁLNIČNÍM	- 52 -
Obrázek 8 - CHODNÍKOVÉ FINIŠERY VÖGELE SUPER 800i A 800	- 52 -
Obrázek 9 - FINIŠER VÖGELE SUPER 1300-3i	- 53 -
Obrázek 10 - KOLOVÝ FINIŠER VÖGELE SUPER 1803-3i	- 54 -
Obrázek 11 - PÁSOVÝ FINIŠER VÖGELE 1800-3i	- 54 -
Obrázek 12 - FINIŠER VÖGELE 2100-2 + LIŠTA SB 300 TV S VELKOOBJEMOVOU NÁSYPKOU	- 55 -
Obrázek 13 - FINIŠER VÖGELE 2100-2 + LIŠTA AB 600	- 55 -
Obrázek 14 - VIBRAČNÍ DESKA BVP 18/45 D BOMAG	- 56 -
Obrázek 15 - SESTAVA DVOUOSÝCH VÁLCŮ; V POPŘEDÍ HAMM HD 130	- 57 -
Obrázek 16 - ODSAZENÍ PNEUMATIK PNEUMATIKOVÉHO VÁLCE	- 58 -
Obrázek 17 - PNEUMATIKOVÝ VÁLEC HAMM HP 280i	- 58 -
Obrázek 18 - SYSTÉM BUZENÍ VIBRACÍ BĚHOUNU	- 59 -
Obrázek 19 - ULOŽENÍ ZÁVAŽÍ OSCILAČNÍHO SYSTÉMU	- 61 -
Obrázek 20 - TANDEMOVÝ VÁLEC HAMM DV+ 90i VO-S S OSCILACÍ NA ZADNÍM BĚHOUNU	- 61 -
Obrázek 21 - KOMBINOVANÝ VÁLEC AMMANN ARX 110 C	- 62 -
Obrázek 22 - SCHÉMA LICHOBĚŽNÍKOVÉHO POLE	- 64 -
Obrázek 23 - HUTNĚNÍ POVRCHU S JEDNOSTRANNÝM SKLONEM MEZI OBRUBAMI [vlastní schéma]	- 65 -



Obrázek 24 - HUTNĚNÍ POVRCHU S JEDNOSTRANNÝM SKLONEM S VOLNÝMI OKRAJI [vlastní schéma]	- 65 -
Obrázek 25 - HUTNĚNÍ PŘÍČNÉ SPÁRY S DOSTATEČNÝM PROSTOREM	- 66 -
Obrázek 26 - HUTNĚNÍ PŘÍČNÉ SPÁRY BEZ VOLNÉHO PROSTORU	- 66 -
Obrázek 27 - HUTNĚNÍ PODÉLNÉ SPÁRY BEZ MOŽNOSTI ZÁSAHU DO VEDLEJŠÍHO PRUHU	- 67 -
Obrázek 28 - RADIOMETRICKÁ SONDA TROXLER	- 69 -
Obrázek 29 – ZASTŘEŠENÉ KAMENIVO FRAKCE 0/4	- 71 -
Obrázek 30 – DEPA KAMENIVA HRUBŠÍCH FRAKcí	- 71 -
Obrázek 31 - ZASTŘEŠENÝ R-MATERIÁL 0/16	- 71 -
Obrázek 32 - KAMENIVO FRAKCE 8/32	- 71 -
Obrázek 33 – PŘÍSTROJ PRO MECHANICKÉ PROSÉVÁNÍ	- 72 -
Obrázek 34 - SÍTA PRO STANOVENÍ ZRNITOSTI KAMENIVA	- 72 -
Obrázek 35 - SUŠÁRNA	- 76 -
Obrázek 36 - LABORATORNÍ MÍCHAČKA	- 76 -
Obrázek 37 - SCHÉMA RÁZOVÉHO ZHUTŇOVAČE	- 77 -
Obrázek 38 - RÁZOVÝ ZHUTŇOVAČ	- 77 -
Obrázek 39 - VÝTLAČNÉ ZAŘÍZENÍ	- 78 -
Obrázek 40 - HUTNÍCÍ FORMA	- 78 -
Obrázek 41 - STANOVENÍ HMOTNOSTI PONOŘENÉHO TĚLESA VE VODĚ	- 79 -
Obrázek 42 - VODNÍ LÁZEŇ S VAKUOVOU NÁDOBOU	- 81 -
Obrázek 43 - PYKNOMETR S NÁSTAVCEM	- 81 -
Obrázek 44 – EXTRAKČNÍ KOŠ	- 84 -
Obrázek 45 - EXTRAKTOR	- 84 -
Obrázek 46 - ŠARŽOVÁ OBALOVNA EKOSTAVBY Louny s.r.o.	- 89 -
Obrázek 47 - SUŠÍCÍ BUBEN PRO OHŘEV KAMENIVA	- 89 -
Obrázek 48 - SILA NA SILNIČNÍ ASFALT	- 89 -
Obrázek 49 - ZÁSOBNÍKY NA KAMENIVO	- 90 -
Obrázek 50 - ODEBRANÝ VZOREK ACP 32 Z OBALOVNY	- 90 -



Obrázek 51 – FOTO Z DRONA REALIZOVANÉHO ÚSEKU PODKLADNÍ VRSTVY	- 94 -
Obrázek 52 - ZAŘÍZENÍ RÁZOVÉ ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY	- 97 -
Obrázek 53 – SCHÉMA ZAŘÍZENÍ RÁZOVÉ ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY	- 97 -
Obrázek 54 - SKLÁPĚČ 8x4 SCANIA P 410	- 99 -
Obrázek 55 - SCHÉMA ROZDĚLENÍ ÚSEKŮ STAVBY	- 100 -
Obrázek 56 - PÁSOVÝ FINIŠER VÖGELE SUPER 2100-2 S LIŠTOU AB 600 TV	- 101 -
Obrázek 57 - POKLÁDKA ACP 32	- 102 -
Obrázek 58 - POUŽITÝ SILNIČNÍ VÁLEC HAMM DV+ 90i VO-S	- 103 -
Obrázek 59 - VÁLCOVACÍ SCHÉMA	- 104 -
Obrázek 60 - POKLÁDKA A HUTNĚNÍ ACP 32	- 105 -
Obrázek 61 - MĚŘENÍ MÍRY ZHUTNĚNÍ PO 1. POJEZDU VÁLCE	- 106 -
Obrázek 62 - MĚŘENÍ METODOU TROXLER ZA FINIŠEREM	- 106 -
Obrázek 63 - ANEMOMETR UNI-T UT363	- 107 -
Obrázek 64 - MĚŘENÍ TEPLoty PŘI HUTNĚNÍ	- 108 -
Obrázek 65 – NÁSTAVCE PRO JÁDROVÉ VÝVRTY 100 mm a 150 mm	- 109 -
Obrázek 66 - VRTAČKA PRO ZHOTOVENÍ JÁDROVÉHO VÝVRTU	- 109 -
Obrázek 67 - ZATĚSNĚNÍ VRSTVY PO JÁDROVÉM VÝVRTU	- 109 -
Obrázek 68 - JÁDROVÝ VÝVRT	- 109 -
Obrázek 69 - SCHÉMA ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ IT-CY	- 113 -
Obrázek 70 - ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ IT-CY	- 113 -
Obrázek 71 - LVDT RÁMEČKY PRO TĚLESA O PRŮMĚRU 150 A 100 mm	- 114 -
Obrázek 72 - SCHÉMA ZATÍŽENÍ TĚLESA TŘÍBODOVÝM OHYBEM	- 116 -
Obrázek 74 - ZAŘÍZENÍ PRO SLEDOVÁNÍ ZATĚŽOVACÍHO DIAGRAMU	- 117 -
Obrázek 73 - ZAŘÍZENÍ PRO ZKOUŠKU ODOLNOSTI VŮČI ŠÍŘENÍ TRHLIN	- 117 -
Obrázek 75 - TRHLINA V ROZSAHU PLATNOSTI	- 117 -
Obrázek 76 - NEPLATNÁ ZKOUŠKA	- 117 -
Obrázek 77 - ZATĚŽOVACÍ DIAGRAM PRO VÝPOČET LOMOVÉ PRÁCE	- 119 -
Obrázek 78 - ZAŘÍZENÍ PRO MARSHALLOVU ZKOUŠKU	- 122 -
Obrázek 79 - PRACOVNÍ DIAGRAM MARSHALLOVY ZKOUŠKY	- 123 -



Seznam tabulek

Tabulka 1 - FYZIKÁLNĚ MECHANICKÉ VLASTNOSTI STAVEBNÍ	- 19 -
Tabulka 2 - ZRNITOST KAMENIVA A OBSAH ASFALTU PRO ASFALTOVÝ BETON. - 20 -	
Tabulka 3 - FYZIKÁLNĚ MECHANICKÉ VLASTNOSTI STAVEBNÍ SMĚSI.....	- 21 -
Tabulka 4 - FYZIKÁLNĚ MECHANICKÉ VLASTNOSTI STAVEBNÍ SMĚSI.....	- 21 -
Tabulka 5 - PRACOVNÍ TEPLoty ŽIVIC	- 22 -
Tabulka 6 - ZVÝŠENÉ TECHNICKÉ POŽADAVKY NA KAMENIVO DO ASFALTOVÉHO BETONU OBRUSNÝCH VRSTEV.....	- 24 -
Tabulka 7 - ZRNITOST SMĚSI KAMENIVA NA ASFALTOVÝ BETON	- 25 -
Tabulka 8 - MEZEROVITOST ZHUTNĚNÉ KAMENNÉ SMĚSI A STUPEŇ VYPLNĚNÍ MEZER ASFALTEM	- 26 -
Tabulka 9 - FYZIKÁLNĚ – MECHANICKÉ VLASTNOSTI.....	- 26 -
Tabulka 10 - PRACOVNÍ TEPLoty PŘI OBALOVÁNÍ.....	- 27 -
Tabulka 11 - PRACOVNÍ TEPLoty PŘI ROZPROSTÍRÁNÍ ASFALTOBETONOVÉ SMĚSI.....	- 27 -
Tabulka 12 - DOPLŇUJÍCÍ A UPŘESŇUJÍCÍ TECHNICKÉ POŽADAVKY NA HRUBÉ KAMENIVO DO ASFALTOVÉHO BETONU OBRUSNÝCH VRSTEV	- 29 -
Tabulka 13 - PŘÍPUSTNÉ MNOŽSTVÍ PŘIDÁVANÉHO VRATNÉHO FILERU	- 30 -
Tabulka 14 -MEZEROVITOST ZHUTNĚNÉ KAMENNÉ SMĚSI A STUPEŇ VYPLNĚNÍ MEZER ASFALTEM	- 30 -
Tabulka 15 - OBSAH R-MATERIÁLU VE VÝSLEDNÉ SMĚSI.....	- 31 -
Tabulka 16 - FYZIKÁLNĚ – MECHANICKÉ VLASTNOSTI	- 31 -
Tabulka 17 - PRACOVNÍ TEPLoty PRO OBALOVÁNÍ.....	- 32 -
Tabulka 18 - PRACOVNÍ TEPLoty PŘI ROZPROSTÍRÁNÍ.....	- 32 -
Tabulka 19 - ZNAČKY VRSTEV Z HUTNĚNÝCH ASFALTOVÝCH SMĚSÍ	- 33 -
Tabulka 20 - KVALITATIVNÍ PARAMETRY KAMENIVA.....	- 34 -
Tabulka 21 - VHODNÉ DRUHY ASFALTU PRO AFALTOVÉ SMĚSI.....	- 35 -



Tabulka 22 - OBORY ZRNITOSTI KAMENIVA ASFALTOVÉHO BETONU.....	- 35 -
Tabulka 23 - OBORY ZRNITOSTI SMĚSI KAMENIVA OBALOVANÉHO KAMENIVA	- 36 -
Tabulka 24 - NEJVYŠŠÍ PŘÍPUSTNÝ OBSAH R-MATERIÁLU	- 36 -
Tabulka 25 - FYZIKÁLNĚ-MECHANICKÉ VLASTNOSTI AB A AKT.....	- 37 -
Tabulka 26 - FYZIKÁLNĚ-MECHANICKÉ VLASTNOSTI OK	- 37 -
Tabulka 27 - MINIMÁLNÍ TEPLoty PŘI ROZPROSTÍRÁNÍ ASFALTOVÝCH SMĚSÍ...	- 38 -
Tabulka 28 - MEZNÍ TEPLoty ASFALTOVÝCH SMĚSÍ.....	- 40 -
Tabulka 29 - TEPLoty ASFALTOVÉ SMĚSI PŘI JEJÍM ROZPROSTÍRÁNÍ	- 41 -
Tabulka 30 - DOPORUČENÉ TEPLoty PRO HUTNĚNÍ ASFALTOVÝCH SMĚSÍ	- 41 -
Tabulka 31 - NEJVYŠŠÍ PŘÍPUSTNÝ OBSAH R-MATERIÁLU V % HMOTNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI	- 42 -
Tabulka 32 - DOPORUČENÉ TEPLoty PRO HUTNĚNÍ ASFALTOVÝCH SMĚSÍ	- 42 -
Tabulka 33 - MEZNÍ TEPLoty ASFALTOVÝCH SMĚSÍ.....	- 43 -
Tabulka 34 - NEJVYŠŠÍ PŘÍPUSTNÝ OBSAH R-MATERIÁLU V % HMOTNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI S NEMODIFIKOVANÝM ASFALTEM.....	- 44 -
Tabulka 35 - POUŽITÍ ASFALTOVÝCH BĚTONŮ VE VOZOVCE	- 45 -
Tabulka 36 - TLOUŠŤKY VRSTEV ASFALTOVÉHO BETONU	- 46 -
Tabulka 37 - POŽADAVKY NA ASFALTOVÝ BETON AC	- 46 -
Tabulka 38 - NEJNIŽŠÍ PŘÍSTUPNÉ TEPLoty PŘI ROZPROSTÍRÁNÍ ASFALTOVÝCH SMĚSÍ.....	- 47 -
Tabulka 39 - POŽADOVANÉ MÍRY ZHUTNĚNÍ	- 68 -
Tabulka 40 -RECEPTURA ACP 32 S 40 % R-MATERIÁLU	- 74 -
Tabulka 41 - RECEPTURA ACP 32 BEZ R-MATERIÁLU	- 74 -
Tabulka 42 - OBJEMOVÁ HMOTNOST SSD PRO ACP 32 BEZ R-MATERIÁLU	- 80 -
Tabulka 43 - OBJEMOVÁ HMOTNOST SSD PRO ACP 32 S 40 % R-MATERIÁLU.....	- 80 -
Tabulka 44 - MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÁ HMOTNOST ACP 32 BEZ R-MATERIÁLU.....	- 82 -
Tabulka 45 - MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÁ HMOTNOST ACP 32 S 40 % R-MATERIÁLU..	- 82 -
Tabulka 46 - MEZEROVITOST ACP 32 BEZ R-MATERIÁLU	- 84 -



Tabulka 47 - MEZEROVITOST ACP 32 S 40 % R-MATERIÁLU	- 84 -
Tabulka 48 - OBSAH ROZPUSTNÉHO POJIVA.....	- 85 -
Tabulka 49 - RECEPTURA ACP 32 S 40 % R-MATERIÁLU.....	- 87 -
Tabulka 50 - RECEPTURA ACP 32 BEZ R-MATERIÁLU.....	- 87 -
Tabulka 51 - OBJEMOVÁ HMOTNOST SSD ACP 32 BEZ R-MATERIÁLU.....	- 91 -
Tabulka 52 - OBJEMOVÁ HMOTNOST SSD ACP 32 S 40 % R-MATERIÁLU.....	- 91 -
Tabulka 53 - MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÁ HMOTNOST ACP 32 BEZ R-MATERIÁLU	- 91 -
Tabulka 54 - MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÁ HMOTNOST ACP 32 S 40 % R-MATERIÁLU .	- 91 -
Tabulka 55 - MEZEROVITOST ACP 32 BEZ R-MATERIÁLU	- 92 -
Tabulka 56 - MEZEROVITOST ACP 32 S 40 % R-MATERIÁLU	- 92 -
Tabulka 57 - OBSAH ROZPUSTNÉHO POJIVA ASFALTOVÝCH SMĚSÍ.....	- 92 -
Tabulka 58 - VÝSLEDKY SZZ.....	- 96 -
Tabulka 59 - VÝSLEDKY RÁZOVÉ ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY	- 98 -
Tabulka 60 - SPECIFIKACE VÖGELE SUPER 2100-2 + AB 600 TV.....	- 101 -
Tabulka 61 - TECHNICKÉ SPECIFIKACE HAMM DV+ 90i VO-S	- 103 -
Tabulka 62 - NEJNIŽŠÍ TEPLoty ASFALTOVÉ SMĚSI PŘI ROZPROSTÍRÁNÍ	- 108 -
Tabulka 63 - PRŮMĚRNÉ HODNOTY MEZEROVITOSTÍ VARIANT	- 111 -
Tabulka 64 - MARSHALLOVA STABILITA NA TĚLESECH.....	- 124 -
Tabulka 65 - MARSHALLOVA STABILITA NA VÝVRTECH.....	- 124 -
Tabulka 66 - SOUHRN PRAKTICKÉ ČÁSTI	- 127 -
Tabulka 67 - ZRNITOST FRAKČÍ 0/4 A 4/8.....	- 131 -
Tabulka 68 - ZRNITOST FRAKČÍ 8/11 A 11/16.....	- 131 -
Tabulka 69 - ZRNITOST JMV A RA 0/16.....	- 132 -
Tabulka 70 ZRNITOST FRAKCE 8/32.....	- 132 -
Tabulka 71 - MÍRA ZHUTNĚNÍ METODOU TROXLER ACP 32 (vibrace).....	- 133 -
Tabulka 72 - MÍRA ZHUTNĚNÍ METODOU TROXLER ACP 32 + 40 % R-MATERIÁL (vibrace).....	- 133 -
Tabulka 73 - MÍRA ZHUTNĚNÍ METODOU TROXLER ACP 32 (oscilace)	- 133 -



Tabulka 74 - MÍRA ZHUTNĚNÍ METODOU TROXLER ACP 32 (statické hutnění).....	- 134 -
Tabulka 75 - ROZMĚRY VÝVRTŮ O PRŮMĚRU 100 mm.....	- 135 -
Tabulka 76 - ROZMĚRY VÝVRTŮ O PRŮMĚRU 150 mm.....	- 135 -
Tabulka 77 - OBJEMOVÉ HMOTNOSTI A MEZEROVITOST MARSHALLOVÝCH TĚLES ACP 32.....	- 136 -
Tabulka 78 - OBJEMOVÉ HMOTNOSTI A MEZEROVITOST MARSHALLOVÝCH TĚLES ACP 32 + 40 % R-MAT	- 136 -
Tabulka 79 - VOLUMETRICKÉ VLASTNOSTI VÝVRTŮ O PRŮMĚRU 100 mm	- 136 -
Tabulka 80 - VOLUMETRICKÉ VL. VÝVRTŮ O PRŮM. 100 mm S 40 % R-MAT.....	- 137 -
Tabulka 81 - VOLUMETRICKÉ VLASTNOSTI VÝVRTŮ O PRŮMĚRU 150 mm	- 137 -
Tabulka 82 - VOLUMETRICKÉ VLASTNOSTI VÝVRTŮ O PRŮMĚRU 150 mm S 40 % R- MAT.....	- 137 -
Tabulka 83 - MODULY TUHOSTÍ MARSHALLOVÝCH TĚLES ACP 32 PŘI 15 °C	- 138 -
Tabulka 84 - MODULY TUHOSTÍ MARSHALLOVÝCH TĚLES ACP 32 PŘI 40 °C	- 138 -
Tabulka 85 - MODULY TUHOSTÍ MT ACP 32 S 40 % R-MAT. PŘI 15 °C	- 139 -
Tabulka 86 - MODULY TUHOSTÍ MT ACP 32 S 40 % R-MAT. PŘI 15 °C	- 140 -
Tabulka 87 - MODULY TUHOSTI MT ACP 32 S 40 % R-MAT. PŘI 15 °C A 40 °C	- 140 -
Tabulka 88 - MODULY TUHOSTÍ VÝVRTŮ O PRŮMĚRU 100 mm ACP 32 PŘI 15 °C .-	- 141 -
Tabulka 89 - MODULY TUHOSTÍ VÝVRTŮ O PRŮMĚRU 100 mm ACP 32 PŘI 40 °C .-	- 142 -
Tabulka 90 - MODULY TUHOSTÍ VÝVRTŮ O PRŮMĚRU 150 mm ACP 32 PŘI 15 °C .-	- 143 -
Tabulka 91 - MODULY TUHOSTÍ VÝVRTŮ O PRŮMĚRU 100 mm ACP 32 PŘI 40 °C .-	- 144 -
Tabulka 92 - ODOLNOST PROTI ŠÍŘENÍ TRHLIN PŘI 0 °C	- 147 -
Tabulka 93 - ODOLNOST PROTI ŠÍŘENÍ TRHLIN VZORKŮ PŘI 0 °C.....	- 148 -



Seznam vzorců

Vzorec 1 - VÝPOČET MINIMÁLNÍHO OBSAHU ASFALTOVÉHO POJIVA KORELAČNÍM KOEFICIENTEM	- 73 -
Vzorec 2 - OBJEMOVÁ HMOTNOST SSD	- 79 -
Vzorec 3 - HUSTOTA VODY PŘI ZKUŠEBNÍ TEPLOTĚ	- 79 -
Vzorec 4 - MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÁ HMOTNOST	- 82 -
Vzorec 5 - MEZEROVITOST	- 83 -
Vzorec 6 - MEZEROVITOST SMĚSI KAMENIVA	- 83 -
Vzorec 7 - STUPEŇ VYPLNĚNÍ MEZER POJIVEM	- 83 -
Vzorec 8 - OBSAH ASFALTOVÉHO POJIVA	- 85 -
Vzorec 9 - VYHODNOCENÍ MODULU PŘETVÁRNOSTI.....	- 96 -
Vzorec 10 - RÁZOVÝ MODUL DEFORMACE.....	- 98 -
Vzorec 11 - MODUL TUHOSTI.....	- 114 -
Vzorec 12 - PŘETVOŘENÍ PŘI MAXIMÁLNÍ SÍLE	- 118 -
Vzorec 13 - NAPĚTÍ PŘI PORUŠENÍ TĚLESA.....	- 118 -
Vzorec 14 - ODOLNOST VŮČI LOMU TĚLESA.....	- 118 -
Vzorec 15 - FAKTOR INTENZITY NAPĚTÍ	- 118 -
Vzorec 16 - LOMOVÁ ENERGIE	- 119 -
Vzorec 17 - KOREKČNÍ FAKTOR STABILITY	- 123 -