

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STAVEBNÍ
KATEDRA SILNIČNÍCH STAVEB**



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**ZHUTNITELNOST ASFALTOVÝCH SMĚSÍ – VLIV TEPLoty
A HUTNÍCÍ ENERGIE
COMPACTIBILITY OF ASPHALT MIXTURES - INFLUENCE
OF TEMPERATURE AND COMPACTION ENERGY**

2022

JAN ŠKAMPA

**VEDOUCÍ PRÁCE:
ING. PETR MONDSCHHEIN PH.D.**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Škampa	Jméno: Jan	Osobní číslo: 484362
Zadávající katedra: Katedra silničních staveb		
Studijní program: Stavitelství		
Studijní obor: Realizace pozemních a inženýrských staveb		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Zhutnitelnost asfaltových směsí - vliv teploty a hutnicí energie	
Název bakalářské práce anglicky: Compactibility of Asphalt Mixtures - Influence of Temperature and Compaction Energy	
Pokyny pro vypracování: Zpracování rešerše na téma hutnění asfaltových směsí, jaké faktory ovlivňují hutnění asfaltových směsí, jaké existují hutnicí prostředky, experiment na třech typech asfaltových směsí modelující změnu teploty a hutnicí energie při realizaci pokládky.	
Seznam doporučené literatury: Technické normy řady ČSN EN 12697, odborné články, Technologie stavby vozovek, Ing. Jan Zajíček a kol. , Pokládka hutněných asfaltových směsí (Václav Hanzík a kolektiv).	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Petr Mondschein, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 15.02.2022	Termín odevzdání BP v IS KOS: 15.5.2022 <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu 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 bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské 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>	
17 -02- 2022	<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div>
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že zadanou bakalářskou práci na téma „Zhutnitelnost asfaltových směsí – vliv teploty a hutnicí energie“ jsem vypracoval samostatně, bez cizí pomoci s jedinou výjimkou, a to poskytnutou konzultací s vedoucím bakalářské práce. Uvedl jsem veškerý seznam použitých zdrojů. Vše bylo provedeno v souladu s metodickým pokynem č. 1/2009 O dodržení etických principů v případě vysokoškolských státních závěrečných prací. Dále prohlašuji, že nemám žádné námitky pro užití této bakalářské práce či její části.

V Praze dne

..... Jan Škampa

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Mondscheinovi, Ph.D. za odborné vedení, poskytnuté rady a konzultace během zpracování této práce. Dále bych rád poděkoval kolektivu silniční laboratoře Českého vysokého učení technického v Praze za ochotu a pomoc při práci v laboratoři. Dále bych rád poděkoval svým kolegům ze společnosti STRABAG a.s. z oblastního zastoupení Plzeň za možnost zpracování bakalářské práce v rámci zaměstnání a rovněž kolegům z koncernových společností STRABAG Asphalt s.r.o. a TPA ČR s.r.o. za poskytnutí vzorků a cenných rad.

Anotace

Tato bakalářská práce nese název Zhutnitelnost asfaltových směsí – vliv teploty a hutnicí energie. Teoretická část této práce se podrobně zabývá rozdělením a popisem asfaltových směsí, stroji pro rozprostírání asfaltových směsí, zhutňovacími prostředky, jejich členěním a základními charakteristikami, podmínkami při pokládce asfaltových směsí a způsoby kontroly zhutněných směsí a jejich kvalitou. Cílem praktické části je zjištění vlivu teploty a rozdílné energie při hutnění na vybrané vlastnosti tří různých asfaltových směsí. Je zde rovněž popsána výroba zkušebních těles, provedené zkoušky a vyhodnocení výsledků.

Klíčová slova

Asfaltové směsi, zhutňování, zhutnitelnost, faktory ovlivňující zhutnitelnost, zhutňovací prostředky, mezerovitost, obsah rozpustného pojiva, Marshallův pěch, objemová hmotnost, zrnitost, modul tuhosti, Marshallova stabilita.

Abstract

The name of this bachelor thesis is Compactibility of asphalt mixtures - influence of temperature and compaction energy. Theoretical part of thesis deals with types of asphalt mixtures, machines for spreading asphalt mixtures, compaction equipment, with factors influencing compaction during asphalt paving and also ways of monitoring quality. My goal for practical part is to find how much are selected properties of three different types of asphalt mixtures affected by different temperature during compaction and different compaction energy. Practical part also describes way of making test bodies, tests performed and summary of the results.

Key words

Asphalt mixtures, compaction, compactibility, factors influencing compaction, compaction equipment, amount of air voids in mixture, volume of asphalt binder, Marshall's tamper, bulk density, grain-size curve, stiffness module, Marshall's stability.

Obsah

1. Úvod.....	17
2. Asfaltové směsi	18
2.1 Rozdělení asfaltových směsí	18
2.1.1 Hutněné asfaltové směsi	18
2.1.2 Lité asfaltové směsi	25
3. Zhutňovací prostředky	26
3.1 Vibrační desky	26
3.2 Válce	28
3.2.1 Silniční válce	28
4. Stroje pro pokládku asfaltových směsí	43
4.1 Finišery	43
4.1.1. Malé (chodníkové) finišery	44
4.1.2. Kompaktní finišery.....	45
4.1.3. Univerzální finišery	46
4.1.4. Dálniční finišery	47
5. Kvalita asfaltové směsi.....	50
5.1 Teplota	50
5.1.1 Pokles teploty během přepravy	52
5.1.2 Vliv teploty na kvalitu pracovních spojů	54
5.2 Klimatické podmínky při rozprostírání a hutnění	56
5.2.1 Požadavky na podklad	57
5.2.2 Požadavky na klimatické podmínky	57
5.3 Metody kontroly zhutněných asfaltových směsí	58

5.3.1 Míra zhutnění asfaltové směsi.....	58
5.3.2 Destruktivní metody kontroly.....	60
5.3.3 Nedestruktivní metody kontroly	60
6. Praktická část	64
6.1 Sledovaná stavba.....	64
6.2 Výroba vzorků - hutnění Marshallovým pěchem	67
6.3 Stanovení objemové hmotnosti	70
6.3.1 Objemová hmotnost SSD.....	71
6.3.2 Maximální objemová hmotnost	72
6.3.3 Mezerovitost.....	73
6.4 Obsah rozpustného pojiva.....	74
6.5 Zrnitost	77
6.6 Moduly tuhosti	77
6.7 Marshallova zkouška	79
7. Výsledky praktické části	82
7.1 ACP.....	82
7.1.1 Objemová hmotnost.....	82
7.1.2 Mezerovitost.....	85
7.1.3 Obsah rozpustného pojiva	86
7.1.4 Zrnitost.....	86
7.1.5 Moduly tuhosti.....	87
7.1.6 Marshallova zkouška.....	90
7.2 ACL.....	91
7.2.1 Objemové hmotnosti.....	91
7.2.2 Mezerovitost.....	94

7.2.3 Obsah rozpustného pojiva	95
7.2.4 Zrnitost	95
7.2.5 Moduly tuhosti	96
7.2.6 Marshallova zkouška	98
7.3 SMA	100
7.3.1 Objemové hmotnosti	100
7.3.2 Mezerovitost	104
7.3.3 Obsah rozpustného pojiva	105
7.3.4 Zrnitost	106
7.3.5 Moduly tuhosti	107
7.3.6 Marshallova zkouška	110
8. Závěr	112
9. Seznam použité literatury	114
10. Přílohy	117
10.1 ACP	117
10.2 ACL	122
10.3 SMA	127
11. Seznam obrázků, tabulek a grafů	133
11.1. Seznam obrázků	133
11.2 Seznam tabulek	134
11.3 Seznam grafů	136

1. Úvod

Bakalářská práce se zabývá hutněním a zhutnitelností asfaltových směsí při rozdílných klimatických podmínkách a rozdílné hutnící energii. Cílem bylo sledování parametrů tří asfaltových směsí v závislosti na teplotě při hutnění a rozdílné hutnící energii. Zjištěné vlastnosti těles vytvořených v laboratorních podmínkách byly porovnány s vlastnostmi vývrtů ze sledované stavby.

Teoretická část se zabývá rozdělením asfaltových směsí, stroji pro rozprostírání asfaltových směsí, zhutňovacími prostředky, jejich rozdělením, použitím a jejich parametry. Největší pozornost byla věnována nejběžnějším zhutňovacím prostředkům, silničním válcům. Ty jsou nedílnou součástí hutnícího procesu, i přes vysokou míru předhutnění finišerem. Popsány byly válce statické, pneumatikové, válce využívající dynamickými účinky a válce kombinované. V závěru teoretické části se práce zabývá důležitými faktory ovlivňující zhutňování a kontrolou parametrů zhutněné směsi.

V praktické části byly porovnány tři asfaltové směsi z hlediska zhutnitelnosti při rozdílných teplotách a hutnící energii. Šlo o porovnání směsí ACP 22 S PmB 25/55-60, ACL 22 S PmB 25/55-60 a SMA 11 S PmB 45/80-65. Bylo vyrobeno 60 zkušebních vzorků a 18 opravných pro ověření výsledků, 36 ze směsi ACP, z toho 18 opravných, 18 ze směsi ACL a 24 ze směsi SMA. Pro porovnání byly vyrobeny vzorky na Marshallově pěchu při různých teplotách a hutnící energii. Poté se na všech vzorcích stanovovala objemová hmotnost, maximální objemová hmotnost, mezerovitost, modul tuhosti a stabilita podle Marshalla. K dispozici jsem měl rovněž vývrty z realizované stavby, na které byly použity stejné směsi. Díky tomu jsem byl schopen zjistit míru zhutnění vývrtů a porovnat tak parametry vzorků vyrobených v laboratorních podmínkách s odebranými vzorky z konkrétní stavby.

2. Asfaltové směsi

Asfaltová směs je složena z kameniva a asfaltového pojiva, u některých typů směsí i dalších přísad. „Asfaltovou směs tvoří kostra vzájemně zaklíněných zrn kameniva, které jsou na povrchu obalena tenkou vrstvou asfaltu.

Zvláštním druhem asfaltové směsi je litý asfalt (MA), kde kamenivo má výplňový charakter a položená vrstva se nehtutní. “ [1]

Asfaltové směsi se vyrábí dle zkoušek typu na obalovnách za horka. V posledních letech dochází k nahrazování kameniva R materiálem, který pochází z odfrézovaných konstrukčních vrstev komunikací. Materiál je následně předrcen v drtícím zařízení a přetříděn na požadované frakce. Následně je materiál předehřát a dávkován do asfaltové směsi. Moderní obalovny dokáží zpracovávat směsi až s 25% podílem recyklátu při dávkování za studena, pokud jsou vybaveny paralelním sušícím bubnem, lze podíl recyklátu zvýšit až na 90%. Tato technologie nabývá na čím dál větším významu, díky nedostatku kameniva.

O výběru asfaltové směsi rozhoduje dopravní zatížení, klima a úroveň porušení. Výběr asfaltové směsi provádí v projekční fázi projektant, nicméně návrh samotné směsi (zkoušku typu) vytváří silniční laboratoř pro danou obalovnu a její materiálové možnosti. [2]

2.1 Rozdělení asfaltových směsí

Asfaltové směsi se dělí dle složení, charakteru výroby a způsobu pokládky na směsi hutněné a lité.

2.1.1 Hutněné asfaltové směsi

Hutněné asfaltové směsi jsou tvořeny třemi složkami, kamenivem, asfaltovým pojivem a mezerami (vzduchem).

Kamenivo tvoří základ směsi a jeho hlavním úkolem je přenos zatížení. Jednotlivá zrna jsou do sebe zaklíněna, protože je použito kamenivo drcené a podíly jednotlivých frakcí jsou přesně definovány.

Základ směsi je spojen asfaltovým pojivem. Množství vzduchu ve směsi určuje mezerovitost směsi, která je ovlivněna použitým kamenivem a množstvím pojiva. Pro získání požadovaných vlastností směsí jsou po položení hutněny. [2]

2.1.1.1 Asfaltový beton – AC

Asfaltový beton (AC – asphalt concrete) je nejrozšířenějším typem směsi používaným v silničním stavitelství.

Je typický plynulou čarou zrnitosti. Všechny frakce kameniva tvoří kostru směsi a vzájemně se dotýkají. Tento typ směsi se využívá pro stavby všech typů komunikací (silnic, dálnic, letišť, chodníků apod.).

Směs je vyráběna na obalovnách dle zkoušek typu a po zhutnění je směs vodotěsná. [2] AC rovněž vyniká snadnou zpracovatelností při ruční pokládce, oproti jiným směsím.

Tloušťky pokládaných vrstev se dle použití a velikosti největší frakce pohybují od 40 mm do 100 mm. Požadavky na směsi typu AC upravuje norma ČSN EN 736121 příloha E. [2]

Značení asfaltových betonů dle použití:

ACO – asfaltový beton pro obrusné vrstvy

ACL – asfaltový beton pro ložné vrstvy

ACP – asfaltový beton pro podkladní vrstvy

Značení asfaltových betonů podle nejhrubší použité frakce kameniva:

AC_x – D

D zastupuje velikost oka síta nejhrubší použité frakce ve směsi.

Značení asfaltových betonů dle kvalitativních požadavků:

S – směsi se zvýšenou odolností proti tvorbě trvalých deformací

+ - směsi nahrazující kvalitativní třídu I podle ČSN 73 6121:1994

Bez značení – směsi nahrazující kvalitativní třídy směsí II a III podle ČSN 73 6121:1994

CH – směsi pro nemotorické komunikace a úpravy chodníků [2]

Příklad značení:

ACL 22 S PmB 25/55–60 – Asfaltový beton pro ložné vrstvy, s největším zrnem velikosti 22 mm, splňující kritéria zvýšené odolnosti proti tvorbě trvalých deformací (třída S), s modifikovaným pojivem 25/55–60.

2.1.1.2 Asfaltový koberec mastixový - SMA

Asfaltový koberec mastixový (SMA – stone mastic asphalt) je typ směsi používaný pro obrusné vrstvy a ložné vysoce zatížených komunikací, nejčastěji dálnic a silnic prvních tříd.

Směs určená do ložní vrstvy – SMA L minimalizuje vznik nadměrných trvalých deformací (vyjetých kolejí apod.). Dále umožňuje snížení tloušťky vrstvy oproti vrstvám z asfaltových betonů a zvyšuje odolnost proti šíření trhlin. Běžně pokládané ložní vrstvy z SMA mají tloušťku od 50 do 120 mm. [3]

Oproti asfaltovým betonům je čára zrnitosti přerušena a hlavní nosnou kostru směsi tvoří nejhrubší zrna. Zbývající frakce spolu s vápencovým filerem vytváří s pojivem výplň tzv. asfaltovou maltu – mastix a spojují tak zrna nosné kostry.

Směs SMA pro obrusné vrstvy byla vyvinuta v Německu v 70. letech minulého století a v České republice se používá od poloviny devadesátých let. SMA pro ložní vrstvy byla vyvinuta teprve nedávno.

Používají se zejména modifikované asfalty, jejichž podíl ve směsi je o 6 % – 8 % vyšší oproti směsím typu AC. [2] Taková směs je prakticky nepoužitelná pro ruční pokládku z důvodu materiálových charakteristik. Tloušťka pokládané obrusné vrstvy z SMA se pohybuje od 35 mm do 45 mm.

Během hutnění jsou obrusné vrstvy z SMA podrceny předobaleným kamenivem frakce nejběžněji 2/4 pro zajištění lepších protismykových vlastností vozovky. Požadavky na směsi typu SMA pro obrusné vrstvy upravují normy ČSN EN 13108-5 a ČSN 73 6121, příloha 6, pro ložní vrstvy ČSN 73 6120, příloha D.

Příklad značení:

SMA 11 S PmB 48/80–65 – Asfaltový koberec mastixový s největším zrnem velikosti 11 mm, splňující kritéria zvýšené odolnosti proti tvorbě trvalých deformací (třída S), s modifikovaným pojivem PmB 48/80–65.

2.1.1.3 Drenážní koberce - PA

Asfaltový koberec drenážní (PA – porous asphalt) je směs používaná pro obrusné vrstvy vozovek, a je charakteristická vysokou mezerovitostí vyšší než 17 %.

Čára zrnitosti je stejně jako u SMA přerušená a nosnou kostru směsi tvoří kamenivo nejhrubších frakcí. Mezi výhody této směsi patří odvod vody skrze vlastní směs a po nepropustném podkladě stéká na kraj vozovky. To značně zlepšuje protismykové vlastnosti. Rovněž směs snižuje hluk z kontaktu pneumatiky s vozovkou až o 10 dB.

Hlavní nevýhodou jsou zvýšené nároky na údržbu a náchylnost vůči mrazu. Požadavky na drenážní koberce upravují normy ČSN EN 13 108-7 a ČSN 73 6121, příloha H. [2], [4]

Příklad značení:

PA 11 PMB 45/80-50 - Asfaltový koberec drenážní s největším zrnem velikosti 11 mm s modifikovaným pojivem PmB 45/80-50

2.1.1.4 Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy – BBTM

Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy (BBTM - Bétons bitumineux très minces) je typ směsi, která je používána pro obrusné vrstvy vozovek.

Pokládání tloušťky se pohybuje od 20 mm do 30 mm. Díky tomu jsou náklady nižší oproti asfaltovým betonům. Je vhodný pro všechny typy komunikací. Požadavky pro směsi typu BBTM upravují normy ČSN EN 13108–2 a ČSN 73 6121, příloha F. [5],

Příklad značení:

BBTM 5A PmB 25/55-60 - Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy s největším zrnem 5 mm s modifikovaným pojivem PmB 25/55-60

2.1.1.5 Asfaltový koberec otevřený - AKO

Asfaltový koberec otevřený (AKO) je směs používaná pro obrusné, ložné a podkladní vrstvy. „*Na vozovkách lze použít s následným provedením uzavíracího nátěru nebo emulzní kalové vrstvy podle příslušných ČSN EN. Pro obrusné vrstvy s protihlukovým účinkem vozovek všech tříd dopravního zatížení lze použít v zrnitosti AKO 8 podle TP 148 MD, kde jsou uvedeny požadavky na stavební materiály, asfaltovou směs a zhotovenou vrstvu.*“ [4]

Jako podkladní vrstvu lze použít tuto směs, která plní funkci drenážní vrstvy u letištních ploch. Nejčastější použití nachází tyto směsi při realizaci obrusných vrstev sportovních hřišť, kde díky vysoké mezerovitosti (12 % – 13 %) odvádí vodu skrze vlastní směs do spodních vrstev. Tloušťka pokládaných vrstev se pohybuje od 20 mm do 60 mm, dle typu použití a velikosti největšího zrna. Požadavky pro směsi typu AKO upravuje norma ČSN 73 6121, příloha B. [4], [4]

Příklad značení:

AKO 11 50/70 – Asfaltový koberec otevřený s největším zrnem velikosti 11 mm s pojivem 50/70.

2.1.1.6 Asfaltový beton s vysokým modulem tuhosti – VMT

VMT je směs používaná pro ložní a podkladní vrstvy. Směs obsahuje vyšší podíl tvrdších druhů asfaltů, včetně modifikovaných, případně ztužující přísady.

Užitím této směsi v konstrukčních vrstvách vozovek se minimalizuje riziko vzniku trvalých deformací – vyjetých kolejí apod. Výsledná vrstva je rovněž odolnější vůči únavě a proti působení vody, její životnost je tak díky tomu delší.

Pokládané vrstvy jsou menší oproti klasickým směsím, náklady na stavbu jsou tak nižší. Tloušťka pokládané vrstvy se pohybuje od 50 mm do 120 mm. Požadavky pro směsi VMT upravuje norma ČSN 73 6120, příloha C. [3]

Příklad značení:

VMT 16 PmB 25/55-60 – Asfaltový beton s vysokým modulem tuhosti s největším zrnem velikosti 16 mm s modifikovaným pojivem PmB 25/55-60.

2.1.1.7. Asfaltový beton se zvýšeným obsahem pojiva pro podkladní vrstvy – ACP RBL

ACP RBL (rich bottom layers) jsou směsi používané do podkladních vrstev vozovky. Obsah pojiva je minimálně o 0,5 % vyšší oproti klasickým asfaltovým betonům. Vrstva z této asfaltové směsi je odolná vůči únavě a díky tomu je životnost takové vrstvy delší.

Ve vrstvě dochází k přenášení napětí od dopravního zatížení a zamezuje vzniku únavových trhlin na spodní hraně vrstvy. Díky vyššímu obsahu asfaltu vrstva lépe disipuje energii a je tak flexibilnější a lépe odolává opakovaným zatížením.

Vyšší obsah pojiva má za následek vyšší náchylnost vůči tvorbě trvalých deformací, proto je nutné, aby byla tato směs překryta vrstvami odolnými vůči trvalým deformacím. Tloušťka pokládané vrstvy se pohybuje od 50 mm do 100 mm, v závislosti na velikosti největší frakce. Požadavky pro směsi ACP RBL upravuje norma ČSN 73 6120, příloha E. [3]

Příklad značení:

ACP 22 RBL PmB 25/55-60 – Asfaltový beton se zvýšeným obsahem pojiva pro podkladní vrstvy s největším zrnem velikosti 22 mm s modifikovaným pojivem PmB 25/55-60.

2.1.1.8. Asfaltový beton pro použití do konstrukce železničního spodku – AC Z

AC Z (Asfaltový beton pro železniční stavby) jsou směsi používané do konstrukce pražcového podloží za účelem zvýšení ochrany zemní pláně před účinky vody a mrazu a také za účelem zvýšení únosnosti pláně tělesa železničního spodku. Pro tyto případy je užit podkladní asfaltový beton.

AC Z v kvalitativní třídě + je užit jako horní konstrukční vrstva konstrukce pražcového podloží. Tato úprava zvyšuje ochranu podloží proti pronikání srážek a zvyšuje celkově únosnost podloží.

Oproti běžným asfaltovým betonům pro silniční stavby je upraven požadavek na minimální obsah pojiva a v požadované mezerovitosti je zohledněn zvýšený

požadavek proti pronikání vody skrz konstrukční vrstvu. Tloušťka pokládané vrstvy se pohybuje od 40 mm do 120 mm, v závislosti na umístění v konstrukční vrstvě a velikosti největšího zrna. Požadavky pro směsi AC Z upravuje norma ČSN 73 6120, příloha F. [3]

Příklad značení:

AC 22 Z 50/70 – Asfaltový beton pro železniční stavby s největším zrnem velikosti 22 mm a s pojivem 50/70.

2.1.1.9. Asfaltové vrstvy se zvýšenou odolností proti šíření trhlin

- SAL

SAL je speciální asfaltová směs sloužící jako kompenzační vrstva nebo mezivrstva s vyšší odolností proti šíření trhlin. Tato směs má za nižších teplot několikanásobně větší průtažnost než běžné asfaltové směsi, tento faktor zpomaluje šíření trhlin při pohybech pod ní ležící vrstvy.

SAL se nejčastěji používá jako opatření oddalující prokopírování reflexních trhlin nebo při opravách CB krytů při překrytí nebo zesílení asfaltovými vrstvami. Tato vrstva se vkládá pod ložní a podkladní vrstvy a musí být v takové hloubce, aby nedošlo k jejímu poškození dopravou. V našich klimatických podmínkách je minimální hloubka umístění 90 mm. Tloušťka pokládané vrstvy se pohybuje od 25 mm do 35 mm. Požadavky pro směsi SAL upravuje norma ČSN 73 6120, příloha H. [3]

Příklad značení:

SAL 8 PmB 25/55-60 – Asfaltová vrstva se zvýšenou odolností proti šíření trhlin s největším zrnem velikosti 8 mm a s modifikovaným pojivem PmB 25/55-60.

2.1.1.10. Asfaltové směsi pro obrusné vrstvy se sníženou hlučností – BBTM NH, SMA NH

Akustické obrusné vrstvy lze využít u všech typů pozemních komunikací, pokud je jejich použití opodstatněno – vznik hluku na styku pneumatiky a obrusné vrstvy a nejvyšší dovolená rychlost je alespoň 50 km/h, případně 40 km/h a průměrná rychlost dopravního pruhu v úseku řešené komunikace.

Nejpoužívanější směsi pro tyto úpravy jsou BBTM NH a SMA NH.

Z důvodu menší tloušťky vrstev nejsou tyto směsi vhodné do míst, kde vznikají tangenciální síly (úseky s malými poloměry oblouků, křižovatky a okružní křižovatky). Životnost obrusných vrstev se nepředpokládá delší než 10 let. Tyto obrusné vrstvy se zpravidla provádějí jako tenké (do 35 mm) a ultratenké (do 25 mm) a neočekává se jejich významnější vliv na celkovou únosnost konstrukce. Požadavky pro směsi NH upravuje norma ČSN 73 6120, příloha G. [3]

Příklad značení:

BBTM 8 NH PmB 25/55-60 - Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy s akustickou funkcí s největším zrnem velikosti 8 mm a s modifikovaným pojivem PmB 25/55-60.

2.1.2 Lité asfaltové směsi

Oproti hutněným asfaltovým směsím, jsou tvořeny pouze dvěma složkami – asfaltovým pojivem a kamenivem.

Množství pojiva je voleno tak, aby při položení byl ve směsi nulový podíl vzduchu, kamenivo se do sebe vzájemně nezaklínilo a spolu s vápencovou moučkou (filerem) zastává funkci plniva. Vzhledem k nosnému charakteru plniva se využívají tvrdé asfalty (TSA) a modifikované (PmB).

Oproti hutněným směsím je litý asfalt náročnější na výrobu (teplota při expedici až 220 °C) a obsah pojiva je výrazně vyšší, než v hutněných asfaltových směsích. Díky těmto faktorům je 1 tuna materiálu dražší. [6]

Takové směsi není potřeba hutnit a naleznou využití při výstavbách chodníků nebo mohou tvořit ochranu hydroizolační vrstvy na mostních objektech.

Pokládka probíhá ručně nebo za pomoci speciálního finišeru. Finální povrch je zdrsňen posypem pro zajištění protismykových a protiskluzných vlastností.



Obrázek 1 - Realizace litého asfaltu na mostní konstrukci [6]

3. Zhutňovací prostředky

3.1 Vibrační desky

Vibrační desky lze využít k hutnění nestmelených materiálů, zemin, ale jsou nezbytnou součástí i při hutnění asfaltových směsí.

Dělí se na jednosměrné a dvousměrné, ovšem při pokládce asfaltových směsí se využívají jednosměrné stroje s hmotností kolem 80 kg. Desky jsou ručně vedeny, a jsou opatřeny klopením, aby se asfaltová směs nelepila k ocelové desce.

Jsou využívány nejčastěji k hutnění v nepřístupných místech pro silniční válce, okolo šoupat, uličních vpustí, poklopů šachet, pro závěrečné žehlení povrchu atd.

Pro porovnání parametrů těchto doplňkových hutnicích strojů sledujeme vyvozovanou odstředivou sílu v kN, která má největší vliv na míru zhutnění a plošný výkon v m^2/h .



Obrázek 2 - Bomag BVP 18/45 D [7]



Obrázek 3 - Obousměrná deska Bomag BPR 25/40 [8]

3.2 Válce

Válce lze obecně rozdělit podle konstrukce a hutněného materiálu. Jsou to válce zeminové a silniční. Válce zeminové mají vpředu hladký nebo ježkový běhoun a k pohonu slouží pneumatikový podvozek. Tyto stroje jsou ovšem nejčastěji používány k hutnění zemin a nestmelených materiálů. Pro hutnění asfaltových směsí nemají žádné využití.

3.2.1 Silniční válce

Silniční válce lze dělit dle hutnících účinků a to na válce statické a dynamické.

Tabulka 1 - Rozdělení silničních válců

Statické	Pneumatikové	S hladkými ocelovými běhouny	
Dynamické	Vibrační	Oscilační	Kombinované

3.2.1.1 Statické válce

3.2.1.1.1 Statické válce s ocelovými běhouny

Statické válce hutní asfaltovou směs pouze svou provozní hmotností. Tlak ocelových běhounů je závislý na míře stlačení zhutňované vrstvy a okamžité tuhosti. Kromě svislých sil vznikají při hutnění i síly vodorovné, ty mohou být pro proces hutnění příznivé ale i nepříznivé. U nepoháněného běhounu působí vodorovná síla ve směru jízdy a asfaltová směs je tak hrnuta před válcem. Při poháněném běhounu je vodorovná síla vyvozena proti směru jízdy a směs je tlačena pod válec, což působí pozitivně pro proces hutnění. Hloubkový účinek statických válců s ocelovými běhouny je poměrně malý, maximální tloušťka hutněné vrstvy je 80 mm – 100 mm. [9] Jsou používány dva základní typy. Válce tříběhounové a tandemové dvouosé. Tříběhounové se dnes již téměř nevyrábí a jsou nahrazovány dvouosými.

Jako statické válce lze použít i běžné dynamické, avšak bez zapnuté vibrace. Tyto stroje se nejčastěji používají k závěrečnému srovnání příčných a podélných nerovností při pokládce velkých silničních staveb např. dálnic, silnic I. třídy apod.

Charakteristika statických válců s hladkými běhouny:

- 1) **Celková hmotnost** je obvykle základním údajem. Hmotnost lze u některých typů válců navýšit až o polovinu základní hmotnosti díky přídatným zatížením. [9]
- 2) **Rozměry běhounů** - šířka a průměr mají nezanedbatelný vliv na účinnost válce. Běhoun o velkém průměru je lepší pro splnění požadavků rovnosti hutněné vrstvy. Oproti tomu běhouny s menším průměrem jsou výhodnější z hlediska dosažení požadované míry zhutnění. U příliš úzkých běhounů mohou vznikat podélné rýhy a trhliny. U širokých běhounů může vznikat nehomogenní míra zhutnění na krajích a uprostřed hutněných pruhů. [9]
- 3) **Statické lineární zatížení**, základní charakteristická jednotka běhounu (N/mm). Je definována jako podíl zatížení běhounem (vlastní tíha stroje) [N] a šířky běhounu [mm] [9]

$$SLZ = \frac{P}{b} \text{ [N/mm] [9]}$$

- 4) **Koeficient účinnosti běhounu (C_w)** neboli Nijboerovo zhutňovací číslo je přesněji vyjádřená zhutňovací účinnost a vyjadřuje rovněž vhodnost běhounu pro hutněnou plochu tak, aby bylo zabráněno poruchám (hrnutí směsi, vznik trhlín). [9]

$$C_w = \frac{SLZ}{d} \text{ [N/mm}^2\text{] [9]}$$

- 5) **Konstrukční uspořádání válce** je dáno konstrukčním typem rámu. Prvním typem je pevný rám s klouby umístěnými nad oběma běhouny. Druhým typem je rám kloubový, kde je kloub umístěn uprostřed stroje mezi oběma běhouny. U tohoto typu konstrukce lze využívat tzv. krabí chod, při kterém se běhouny vůči sobě vyosí a hutněný pruh je tak širší. Této funkce se využívá převážně k finálnímu hlazení povrchu [9]
- 6) **Optimální pracovní rychlost** se u statických válců pohybuje v rozmezí 3 km/h – 6 km/h. Pro rychlost je rozhodující tloušťka hutněné vrstvy, typ směsi z hlediska zhutnitelnosti, vlastní hmotnost válce a fáze hutnění. Maximální rychlost jízdy těchto válců je 12 km/h. Takových rychlostí ale válec při hutnění nikdy nedosáhne. [9]



Obrázek 4 - Dvousý tandemový válec Bomag BW 206 AD - 5 s vyosenými běhouny [10]



Obrázek 5 - Tříběhounový statický válec Dynapac CS1400 [11]

3.2.1.1.2. Statické válce pneumatikové

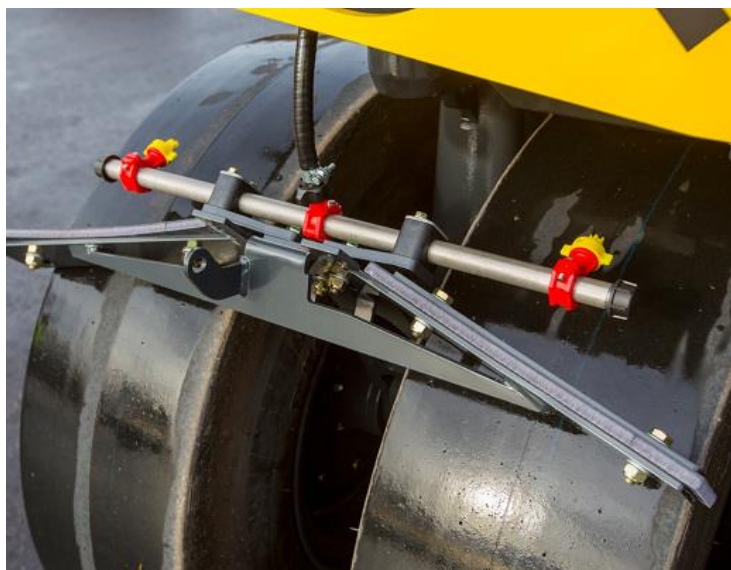
Statické pneumatikové válce hutní asfaltovou směs dvojicí os s pneumatikami. Pneumatikové běhouny jsou běžně široké od 200 mm do 300 mm v závislosti na daném typu stroje. Rozteče mezi jednotlivými běhouny jsou uspořádány tak, aby stopy předních i zadních kol pokryly celou zhutňovanou plochu. Z toho vyplývá lichý počet pneumatik, nejběžněji 5 až 11. [9]

Na hutněnou vrstvu působí nižším tlakem a díky poddajnosti pneumatik mohou často zahladit trhliny vzniklé válci s ocelovými běhouny. Tyto válce rovněž dokáží zahladit i příčné nerovnosti vzniknuté hrnutím směsi. U těchto válců dochází ke zhutňování tlakem a díky tvarované pneumatice také k hnětení, kdy dochází k horizontálním i vertikálním posunům v hutněném materiálu. [9]

Tento typ válců byl u nás v dřívějších dobách běžně používán k hutnění asfaltových směsí, dnes už ale téměř vymizel. Své využití našel při hutnění asfaltových mikrokoberců a jiných technologiích. V zahraničí jsou ale tyto typy válců běžně používány při hutnění asfaltových směsí, jako doplňkové válce k vibračním válcům s hladkými běhouny.

Charakteristika pneumatikových válců:

- 1) Základním parametrem statických válců obecně je **celková hmotnost**. Ta může být měněna dle potřeby přídatným závažím až na dvojnásobek nebo trojnásobek své základní váhy, která se pohybuje od 5 do 15 tun [9]
- 2) **Šířka pneumatik** je parametr, který má velký vliv na hloubkovou účinnost válce. Čím větší je šířka pneumatik, tím je válec schopen zhutňovat větší tloušťky. S větší šířkou pneumatik roste i jejich vyboulení a zmenšuje se tak velikost dosedací plochy. Mezera mezi pneumatikami hraje také důležitou roli, pohybuje se okolo 0,3 až 0,4 násobku šířky pneumatik. Při větší mezeře by docházelo vytlačování asfaltové směsi mezi pneumatiky. Kvůli udržování tepla bývají pneumatiky zakryté plachtami a je rovněž válec vybaven systémem proti ulpívání směsi na pneumatikách. Typicky je tvořen gumovou stěrkou a skrápěcím zařízením. [9]






Obrázek 6 - Systém skrápění pneumatik výrobce Bomag [12]

- 3) **Typ zavěšení kol** je další charakteristika pneumatikových válců. Zavěšení by mělo na nerovném povrchu zajišťovat, aby pneumatiky působily na směs stejným tlakem. Toho je docíleno pomocí nezávislého zavěšení odpružených kol nebo zavěšením páru kol na kyvnou osu [9]
- 4) **Tlak vzduchu** ovlivňuje tvar pneumatik a je jím ovlivněna i dosažená míra zhutnění. S vyšším tlakem roste teoretický dotykový tlak a spolu s ním i míra zhutnění. Příliš vysoký tlak zapříčiní vyboulení pneumatik a vytlačování směsi mezi pneumatiky. V tomto případě není ani míra zhutnění stejnoměrná. Optimální tlak vzduchu je závislý na hutněné směsi, její teplotě a tloušťce a na druhu pneumatik. U nejběžnějšího typu pneumatik o rozměrech 11 × 20 palců (27,94 × 50,8 cm) je tlakové rozmezí 0,4 MPa – 0,6 MPa. [9]
- 5) **Rychlost pojezdu** má vliv na dosaženou míru zhutnění a na výkon válce. Při vyšších rychlostech míra zhutnění klesá spolu s hloubkovým účinkem. Optimální pracovní rychlost v první fázi hutnění je 3 km/h – 5 km/h, pro hlavní hutnění 4 km/h – 6 km/h a pro hlazení rychlost v rozmezí 5 km/h – 10 km/h. [9]

6) **Teoretický dotykový tlak** k je podíl zatížení kola a velikosti dosedací plochy pneumatiky na tuhém podkladu, který výrobci udávají obvykle jako funkci závislé na tlaku vzduchu v pneumatikách. Hodnoty 0,3 MPa - 0,5 MPa jsou vhodné k hutnění menších tloušťek vrstev a k počáteční fázi hutnění. Vyšší hodnoty 0,4 MPa - 0,7 MPa pro tloušťky vrstev až do 100 mm. [9]

Tabulka 2 -Srovnání parametrů válců od výrobců hutnicí techniky [12], [13], [14]

Parametr	 Dynamac CP275	 Hamm GRW 280i	 Bomag BW 28 RH
Provozní hmotnost [kg]	14 000	9 650	8 600
Maximální hmotnost [kg]	30 000	23 000	28 000
Hutnicí šířka [mm]	2 370	2 084	2 040
Rozměr pneumatik [inch]	13/80-20	11/20	11/20



Obrázek 7 - Statický pneumatikový válec Stavostroj, rok 1994 [zdroj vlastní]



Obrázek 8 - Moderní statický pneumatikový válec Hamm GRW 280i [14]

3.2.1.2 Válce s dynamickými hutními účinky

Mezi tyto válce lze zařadit válce vibrační, oscilační a kombinované. Hutnicí účinek není pouze statický ale i dynamický. Díky tomu se rozšířila oblast možností hutnění z hlediska tloušťek pokládaných vrstev, tuhosti pokládaných směsí, teploty směsi při pokládce atd.

Vibrační válce jsou oproti statickým válcům výrazně lehčí, při stejném hutnicím účinku. Díky tomu jsou náklady na přepravu a palivo nižší.

Při hutnění dochází ke rozkmitání vnitřních zrn, které sníží tření, a může dojít k jejich lepšímu uložení, a tím je požadovaná míra zhutnění dosažena dříve. [9]

Mezi příslušenství silničních válců patří boční kolečko pro zařiznutí hrany pokládaného pruhu a přídavné podrcovací zařízení pro rovnoměrné rozprostření předobaleného kameniva na povrch směsí SMA pro zajištění lepších protismykových vlastností vozovek.

3.2.1.2.1 Vibrační válce

Válce využívají excentrickou nebo usměrněnou vibraci. Při hutnění působí na směs kombinace tlaku a účinku vibrace. Ocelový hladký běhoun válce kmitá nahoru a dolů, a tím snižuje vnitřní tření ve směsi a podmínky pro zhutňování se výrazně zlepšují. Díky tomu mají vibrační válce statické lineární zatížení běhounů od 20 N/mm – 35 N/mm, u dobře zpracovatelných směsí 15 N/mm – 30 N/mm.

Velkou výhodou vibračních válců je jejich hloubkový účinek, lze hutnit až 300 mm tlusté vrstvy. Oproti statickým válcům lze dosáhnout požadované míry zhutnění výrazně nižším počtem pojezdů a rozsah teplot směsi při hutnění je také širší.

Tento typ válců má výbornou stoupavost a dosahuje dobrých výsledků při předepsaných příčných sklonech. Výhody mohou být potlačeny nesprávným postupem při hutnění (teplota směsi, počet pojezdů, frekvence a amplituda vibrace), a může tak dojít k závadám na hutněné ploše. [9]

Charakteristika vibračních válců:

- 1) **Koeficient účinnosti běhounů** (C_w) [N/mm] je zhutňovací účinnost doplněná o dynamické účinky, které se obvykle pohybují od 1,5 do 1,8. [9]

$$C_w = k_0 \times P/l \times d \text{ [9]}$$

- 2) **Optimální rychlost hutnění** se běžně pohybuje od 3 km/h do 6 km/h. U větších tloušťek vrstev stoupá i rychlost pojezdu. Naopak pro těžce zhutnitelné směsi rychlost pojezdu klesá. [9]

- 3) **Frekvence vibrace [Hz]** je počet vibračních cyklů za jednotku času. Tento parametr lze nastavit, běžně v rozmezí 25 Hz – 60 Hz. Optimální frekvence je taková, která způsobuje rezonanci v hutněné vrstvě, nejčastěji je to hodnota vyšší než 40 Hz – 45 Hz. Závisí i na amplitudě a jízdní rychlosti válce, lze tak dosáhnout požadované míry zhutnění i při nižších frekvencích. [9] Válce běžně umožňují použití velikosti vibrací ve dvou režimech - malá a velká vibrace. Spuštění a vypnutí vibrace musí být provedeno pouze při jízdě stroje, jinak by došlo ke tvorbě příčné nerovnosti. Běhouny jsou při hutnění skrápěny vodou, aby nedocházelo k lepení směsi.

- 4) **Amplituda vibrace** je polovina svislého pohybu vibrujících běhounů. Se zvyšující se amplitudou roste hutnící síla, velikost však musí být zvolena tak, aby při hutnění nedocházelo k tvorbě vln, trhlin a jiných poruch. Optimální amplituda se pohybuje v rozmezí 0,2 mm – 0,8 mm. U válců jsou možné nastavit režimy, při kterých je velikost amplitudy a vibrace synchronizována. Pokud by byla při vysokých amplitudách vysoká i frekvence, docházelo by totiž k výraznému snížení životnosti stroje. Amplituda je závislá na hmotnosti nevyvážku a na vzdálenosti od hřídele, kterou se amplituda nejčastěji reguluje. [9]

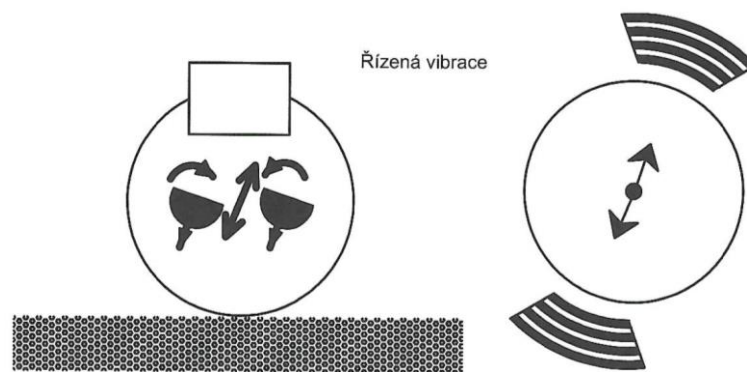
- 5) **„Odstředivá síla vibračního běhounu [N] je dána velikostí nevýstředně rotující hmoty (kg), excentricitou (m) a frekvencí vibrace (Hz)“.** [9] Uvádí se obvykle v kN.

$$P_0 = 4 \times m \times r \times \pi^2 \times n^2 \text{ [N] [9]}$$

Moderní vibrační válce jsou často vybaveny kompakto metrem, který při válcování průběžně vyhodnocuje míru zhutnění. Sleduje hodnotu dynamické tuhosti směsi a snímá odraz vibrací od zhutňované vrstvy. Hodnoty zaznamenává spolu s údaji z GPS do modelu stavby, kde obsluha dokáže identifikovat méně zhutněná místa.

Konstrukčně lze válce dělit dle typu konstrukce. Nejběžnější jsou válce dvouosé tandemové, které mají uprostřed kloub.

Hmotnost je obvykle od 2 t do 14 t se statickým lineárním zatížením 10 N/mm – 35 N/mm. Přední i zadní běhoun má stejné rozměry a vibraci lze zapnout na každém běhounu odděleně. Nevýhodou je však větší poloměr otáčení.



Obrázek 9 - Princip vibrace [9]



Obrázek 10 - Moderní dvouosý tandemový vibrační válec Dynapac CC234HF

[zdroj vlastní]

Dalším typem je tandemový dvouosý vibrační válec s pevným rámem a klouby umístěnými nad běhouny (pivot-steered tandem roller). Má totožné vlastnosti s tandemovými dvouosými válci, ovšem jeho výhodou je výrazně menší poloměr otáčení.



Obrázek 11 - Moderní vibrační válec Bomag BW174BWP [zdroj vlastní]

3.2.1.2.2 Ručně vedené válce

Posledním typem vibračních válců jsou ručně vedené. Jejich hmotnost je obvykle do 1,5 t a šířka do 1 m.

Tvoří je obvykle jeden nebo dva vibrující běhouny a pomocné řídicí kolo. „U válců se dvěma vibrujícími běhouny se zvětšuje zhutňovací účinnost spřažením dvou souběžně rotujících hřídelí s budičem vibrace, a to s fázově posunutým účinkem (systém Duplex)“ [9]

Tyto válce naleznou využití při pracích malého rozsahu nebo tam, kde není možné nasadit větší válce

3.2.1.2.2 Oscilační válce

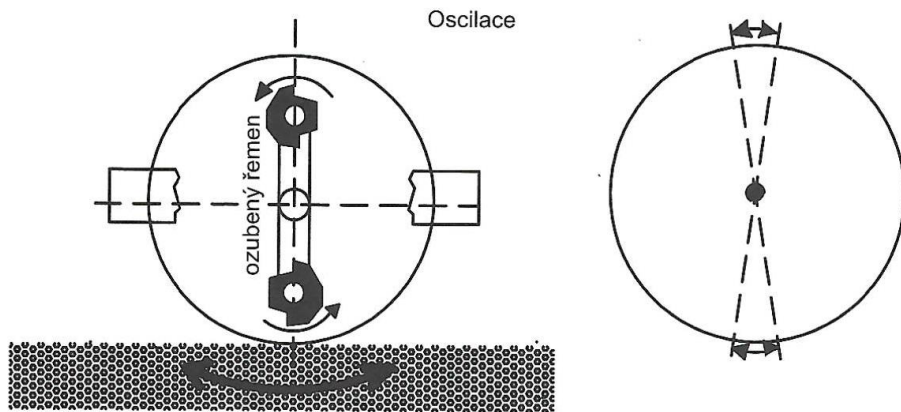
Označení oscilační válec se objevuje u válců, kde alespoň jeden běhoun pracuje na principu oscilace. Čistě oscilační válce se používají velmi výjimečně.

V případě oscilace jsou do hutněné vrstvy vnášeny převážně síly tangenciální, které vyvozují smykové napětí. Přitom dochází k pohybu dotykových bodů vpřed a vzad a jedná se tak o tzv. tangenciální amplitudu. Běhoun je v neustálém kontaktu s hutněným povrchem. Hutnící síla způsobená vlastní hmotností má stálý směr a velikost a díky tomu je hutnící účinek vysoký, účinný a zároveň šetrný k okolí.

Oproti vibračním válcům je potřeba nižší počet pojezdů k dosažení požadované míry zhutnění a při hutnění při nižších teplotách nevznikají poruchy jako s vibračními válci (trhliny, drcení kameniva apod.). Hloubkový účinek není tak vysoký jako u vibrace, ovšem při pokládce běžných tlouštěk do 8 cm je dostatečný.

Výhodou těchto válců je vyšší komfort obsluhy a vyšší životnost stroje, avšak díky neustálému kontaktu běhounu s hutněným materiálem, je jeho životnost nižší. [9] „Kromě charakteristik uváděných u vibračních válců jsou dalšími charakteristikami při oscilaci relativně vysoká tangenciální amplituda (nad 1 mm), nižší frekvence a značně vysoká odstředivá síla.“ [9]

Oscilace je vhodná pro všechny druhy směsí, a to i pro těžce až velmi těžce zhutnitelné. Doporučuje se pro hutnění asfaltových směsí, které jsou modifikovány polymerem. Vodorovným kmitáním lépe redistribuuje polymer ve vrstvě. [9]



Obrázek 12 - Princip oscilace [9]



Obrázek 13 - Princip oscilace, výrobce techniky Hamm [15]

3.2.1.2.3 Kombinované válce

Tento typ válců kombinuje výhody vibračních válců a vodorovných účinků oscilace.

V praxi se čistě oscilační válce nevyskytují, oscilační je obvykle jen jeden běhoun. Lze využívat dynamických účinků na každém běhounu zvlášť nebo využívat obou účinků současně. Vpředu je nejčastěji umístěn vibrační běhoun, který má vyšší hloubkový dosah a vzadu běhoun oscilační, který způsobuje lepší povrchové vlastnosti.

Další variantou je kombinace vibračního běhounu s běhounem, kde se excentrické hmoty pohybují proti sobě. Lze tak měnit směr působení ze svislých účinků až na vodorovné. Nejčastěji je směr pohybu měněn automaticky dle vyhodnocení dat kompaktometru. Mezi výhody patří nižší počet pojezdů, naopak mezi nevýhody složitost systému a velké opotřebení běhounů. [9]

Další možnou kombinací je varianta s předním vibračním běhounem a zadním statickým běhounem složeným z pneumatik. Spojení má výhody velkého hloubkového účinku vibrace a pneumatik zajišťující hladký povrch. V zahraničí se tento typ využívá velice často, ovšem v ČR jsem se s tímto typem setkal opravdu výjimečně.





Obrázek 14 - Kombinované válce Hamm DV70i a HD 10 – Německo [zdroj vlastní]



Obrázek 15 - Sestava válců pro hutnění dálniční stavby [zdroj vlastní]

Tabulka 3 - Srovnání stejného válce s odlišnou technologií - vibrační a oscilační [16], [17]

Kategorie	Vibrační	Oscilační
Parametr	 HD+ 90 VV	 HD+ 90 VO
Hmotnost [kg]	9 655	9 680*
Hutnicí šířka [mm]	1 680	1 680*
Frekvence [Hz]	42/50	39*
Amplituda [mm]	0,34/0,62	1,25*
Odstředivá síla [kN]	60/75	128*

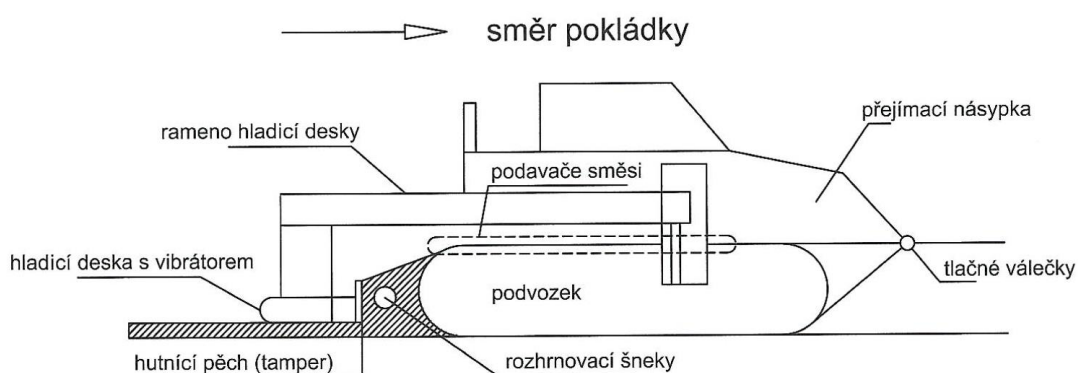
*Parametry pro oscilační válec

4. Stroje pro pokládku asfaltových směsí

4.1 Finišery

Jedná se o nejrozšířenější a nejefektivnější stroj pro pokládku asfaltových směsí. Při pokládce je asfaltová směs nejprve nasypána z nákladního vozu do násypky umístěné v přední části finišeru, poté je směs dopravena pomocí dopravníku do zadní části finišeru, kde je šneky rozhrnuta před hladicí lištu. Směs je poté rozprostřena do požadovaného příčného sklonu a projektované tloušťky skrze ovládací panely obsluhy, kde lze tyto parametry nastavit. Hladicí lišta je vyhřívána za pomoci elektřiny nebo plynu, aby nedocházelo k lepení směsi, taktéž je vybavena hutnícími pěchy (tampery), které provedou základní předhutnění směsi. U speciálních typů lišt lze dosáhnout velmi vysoké míry zhutnění.

Pro maximální přesnost a rovinatost pokládky využívají finišery nivelace, která udržuje požadované parametry pokládané vrstvy na základě referenčních bodů (obrubník, lankodráha). Další možností je použití systému 3D, např. Trimble Roadworks, který tvoří 2 snímače umístěné na stožárech na liště a parametry pokládané vrstvy jsou automaticky upravovány na základě 3D modelu stavby.



Obrázek 16 - Schéma finišeru pro pokládku asfaltových hutněných směsí [9]

Obecně lze finišery dělit dle velikosti a typu podvozku. Mezi další kritéria patří základní a maximální šířka pokládaného pruhu, kapacita násypky a teoretický výkon pokládky.

4.1.1. Malé (chodníkové) finišery

Jejich pracovní záběr lišty je od 1,2 m do 3,2 m. Takové stroje jsou vhodné pro pokládku staveb menšího charakteru například výspravy, chodníky a parkoviště. Jsou vyráběny výhradně pásovým podvozkem a jsou vybaveny nivelačním systémem, který zajišťuje přesnost při pokládce.

Tento typ stroje vyniká svými malými rozměry a lze ho použít ve stísněných prostorech pro pokládku např. mezi kolejemi. Pro zmenšení šířky stroje lze používat násypku v zavřeném režimu a nakládat asfaltovou směs za pomoci rypadla nebo jiného vhodného stroje.

Výrobce Dynapac vyrábí chodníkové finišery i na dálkové ovládní. Stroj může být kompletně ovládn z dálky bez nutnosti obsluhy.



Obrázek 17 - Chodníkový finišer Vögele Super 800-3i [zdroj vlastní]

4.1.2. Kompaktní finišery

Jsou vhodné díky malým rozměrům pro nasazení v převážně intravilánech obcí. Po rozšíření lišty o nástavce lze pokládat šířky až 5 m v jednom záběru.

Podvozek může být pásový nebo kolový. Kolový podvozek vykazuje výrazně vyšší manévrovatelnost při pokládce a přesunech mezi staveništi. Jeho nevýhodou je omezené využití při pokládce v místech s méně únosným podložím a oproti pásovému má menší maximální šířku pokládky.



Obrázek 18 - Vögele Super 1300-3i na pásovém podvozku [18]

4.1.3. Univerzální finišery

Jsou schopny realizovat pokládku širokého spektra staveb od menších ploch až po silnice prvních tříd.

Pokládaná šířka může být při použití nástavců lišty až 8,5 m. Stejně jako finišerů kompaktních je možnost volit mezi pásovým a kolovým podvozkem.



Obrázek 19 - Univerzální finišer Dynapac SD 2500WS [zdroj vlastní]

4.1.4. Dálniční finišery

Lze osadit pevnou lištou o šířce 12 m až 18 m. U strojů této velikosti je použit výhradně pásový podvozek kvůli dostatečné trakci při pokládání velkých šířek.

Pro zvýšení kvality pokládaného povrchu se často používají k dálničním finišerům i plnicí vozy (homogenizéry), které dopravují asfaltovou směs vyhříváním pásovým dopravníkem do upravené násypky finišeru. Při této technologii nedochází k zastavování finišeru kvůli přijíždějícím nákladním vozům se směsí. Pokládka je tak plynulá a riziko vzniku příčných nerovností je tedy minimalizováno. Asfaltová směs je rovněž promísena a zhomogenizována, díky čemuž se snižuje riziko segregace asfaltové směsi.

Nevýhodou těchto strojů jsou jejich rozměry, tudíž jsou využitelné téměř v případech velkých staveb.



Obrázek 20 - Dálniční finišer Vögele Super 2100-3i [zdroj vlastní]

Tabulka 4 parametry finišerů z jednotlivých kategorií od výrobce Vögele [19], [18], [20], [21]

Kategorie	Malé	Kompaktní	Univerzální	Dálniční
Parametr	 Vögele Super 800-3i	 Vögele Super 1300-3i	 Vögele Super 1800-3i	 Vögele Super 3000-3i
Provozní hmotnost [t]	6,5	10,65	20,1	32,85
Kapacita násypky [t]	5,8	10	13	18,5
Šířka pokládky [m]	1,1 – 3,2	1,8 - 5	2,55 – 8,5	3,5 - 18
Podvozek	Pásový	Pásový / kolový	Pásový / kolový	Pásový
Teoretický výkon pokládky [t/h]	300	350	700	1 800



Obrázek 21 - Finišer Vögele 2100-3i a Vögele MT 3000-3 Standard [zdroj vlastní]

5. Kvalita asfaltové směsi

5.1 Teplota

Při pokládce a hutnění je potřeba věnovat pozornost kvalitě směsi, a to hlavně její teplotě. Zjištěná teplota by měla být konstantní a neměla by přesáhnout nejvyšší přípustnou teplotu při výrobě směsi, zároveň by však neměla klesnout pod teplotu, která zaručuje její bezproblémové zhutnění. [9] Měření teploty probíhá v místě rozhrnovacích šneků digitálním teploměrem.

Tabulka 5 - Teploty asfaltové směsi při jejím rozprostírání [9]

Druh asfaltové směsi	Druh asfaltu	Teploty směsi podle tloušťky vrstvy v mm ¹⁾		
		Do 40	40 až 70	70 až 100
AC, BBTM, SMA	100/150	130 – 165 (170)	120 - 165	105 - 165
	70/100	145 – 175 (180)	130 - 175	110 - 175
	50/70	155 – 175 (180)	140 - 175	120 - 175
	40/60	160 - 185	145 - 185	120 - 185
	35/50	175 - 185	160 - 185	140 - 185
	30/45	175 - 190	160 - 190	140 - 190
	(45/80–60)	155 - 180	150 - 180	150 - 180
	(25/55–60)	160 - 185	160 - 185	160 - 185
	(10/40–65)	17 - 190	170 - 190	170 - 190
AKO	100/150	100 - 140	100 - 140	-
	70/100	105 - 160	100 - 160	-
	50/70	105 - 160	100 - 160	-

¹⁾Teplota směsi se obvykle měří v místě rozdělovacího šneku finišeru nebo ihned po zahájení ručního rozprostírání uprostřed vrstvy.

²⁾Údaje uvedené pro modifikované asfalty a modifikované směsi jsou pouze informativní. Zpřesnění je nutné provést na základě údajů výrobce asfaltu, použitých přísad a zkušeností výrobce směsi

³⁾Pro nízkoteplotní směsi platí jiná teplotní rozmezí.

Tabulka 6 - Doporučené teploty pro hutnění asfaltových směsí [4]

	Druh asfaltu				
	Nemodifikovaný		Modifikovaný PmB ²⁾		
	50/70; 70/100; 100/150	30/45	45/80-55	25/55-60; - 65; 15/80-65; 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.



Obrázek 22 - Způsob měření teploty asfaltové směsi [zdroj vlastní]

5.1.1 Pokles teploty během přepravy

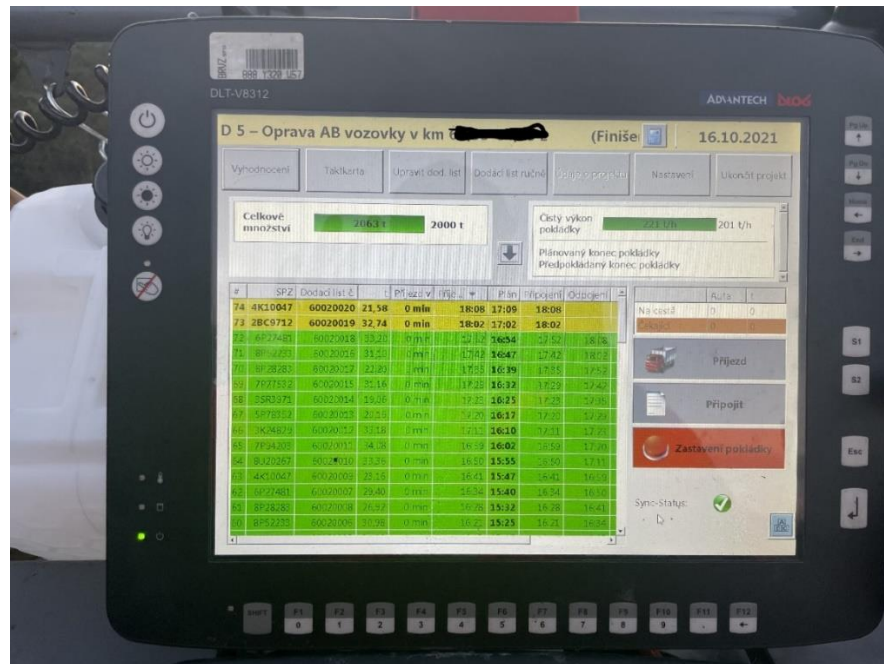
Je nutné brát v úvahu pokles teploty během přepravy z obalovny na staveniště. Je důležité, aby byla dodána v nejvyšší maximální možné teplotě, aby při jejím zpracování bylo možné dosáhnout požadovaných parametrů výsledné zhutněné vrstvy.

Nadměrnému ochlazení lze zabránit následujícími způsoby:

- Používat dopravní prostředky s kapacitou 18 t - 30 t (osmikolové sklápěče a tahače s návěsy). Díky vyšší kapacitě směs chladne pomaleji.
- Korba musí být opatřena plachtou pro zamezení tepelných ztrát směsi. Většina obaloven vozům bez plachtování asfaltovou směs nevydá.
- Při nižších teplotách ovzduší a větší přepravní vzdálenosti z obalovny používat termoizolované korby a návěsy, které výrazně prodlouží čas pro zpracování směsi.
- Dostatečný počet odvozních prostředků. Díky optimálnímu počtu je stavba kontinuálně zásobována a nevznikají prostoje, při kterých asfaltová směs chladne. Obecně platí, že maximální doba přepravy by neměla být vyšší než 1,5h.



Obrázek 23 - Termoizolovaný návěs pro přepravu asfaltových směsí [zdroj vlastní]



Obrázek 24 – Počítač umístěný na finišeru, lze kontrolovat plán pokládky

[zdroj vlastní]

Kromě měření teploty je také potřeba provádět celkovou vizuální kontrolu dovezené asfaltové směsi. Při kontrole lze okem rozpoznat tyto závady:

- 1) Směs má příliš nízký obsah pojiva
 - Je zbarvená do hněda a má matný vzhled
 - Je příliš drobná
 - Velká zrna nejsou zcela obalena
 - V násypce finišeru je směs nepohyblivá – drží tvar
 - Segregace
- 2) Směs má příliš vysoký obsah pojiva
 - Je černě zbarvená a jasně se leskne
 - Vytváří při dopravě ploché hromady na vozidlech
 - Asfaltové pojivo stéká ze zrn kameniva (směs není stabilizována, vykazuje asfaltové fleky na ložné ploše vozidel)
- 3) Směs je přepálená
 - Je zbarvená do hněda a má matný vzhled
 - Nemá potřebnou soudržnost
 - Při sklápění do násypky z ní vychází žlutý kouř [9]

5.1.2 Vliv teploty na kvalitu pracovních spojů

Při pokládce dochází k rychlejšímu ochlazení krajů pokládaných pruhů a při hutnění směs vybočuje do stran, pokud není přítomna boční opěra (např. obrubník, přídlažba). Při okraji tak vzniká úzký pruh s vyšší mezerovitostí a nižší pevností. Proto je nutné pracovním spojům věnovat pozornost, aby v budoucnu nedocházelo k otevírání spár a prokopírování do obrusné vrstvy. [9]

Ideálně by měly být asfaltové směsi pokládány na celou šířku komunikace, ovšem ne vždy je to možné z technických důvodů.

Při pokládce na celou šířku komunikace lze využít finišer s bočními nástavci lišty nebo pokládky za pomoci více finišerů. V takovém případě je pokládka realizována tzv. na teplou spáru. Vzdálenost finišerů by měla být taková, aby byly dosaženy požadované teploty hutnění v blízkosti spoje (tabulka 2.6). Při pokládce by měla být lišta druhého finišeru v přesahu alespoň o 20 cm vůči okraji položeného pruhu prvním finišerem.

Tabulka 7 - Doporučené minimální teploty (°C) okraje prvního pruhu při pokládce na teplou spáru [4]

Druh asfaltu ve směsi	Obrusná vrstva		Ložná a podkladní vrstva	
	Způsob pokládky			
	Jeden finišer	Dva finišery	Jeden finišer	Dva finišery
160/220	Min. 65	Min. 90	Min. 55	Min. 80
70/100	Min. 75	Min. 100	Min. 65	Min. 90
50/70	Min. 85	Min. 110	Min. 75	Min. 100
30/45	Min. 95	Min. 120	Min. 85	Min. 110

Teploty směsi se měří cca 1 cm pod povrchem
V případě modifikovaných asfaltů je nutno přihlídnout k údajům výrobce asfaltu



Obrázek 25 - Pokládka na teplou spáru [zdroj vlastní]

Pokud nelze provádět pokládku na celou šíři, lze provést podélný spoj.

Dostatečného zhutnění okraje lze dosáhnout několika způsoby:

- První pruh dostatečně zhutnit podél spoje, nejvhodnější je použití přítlačného zařízení, které je umístěné na boční straně běhounu válce. Výsledný spoj je sešikmen pod úhlem 70 °C – 80 °C a je následně ošetřen zálivkou pro lepší spojení s druhým pruhem.
- Další možností je přesazení pokládaného pruhu o 5 cm –10 cm a jeho následné vybourání.
- Při pokládce druhého pruhu nahřátí studeného spoje infrazářiči a dohutnění spolu s druhým pruhem. Při této technologii je nutné předejít na případnému přehřátí směsi.
- Postupným rozprostíráním směsi na krátkých úsecích a vracením finišeru, aby byl podélný spoj hutněn za horka. Tento způsob má ale rizika spojená s možnými nerovnostmi, které vznikají při přesazování lišty. [9]



Obrázek 26 - Pokládka na studenou spáru [zdroj vlastní]

5.2 Klimatické podmínky při rozprostírání a hutnění

Asfaltové směsi by měly být pokládány pouze při takových podmínkách, aby bylo možné směsi řádně rozprostřít, zhutnit a dosáhnout dobrého spojení s podkladem. Nejdůležitějším faktorem je teplota směsi, díky které lze dosáhnout požadované míry zhutnění. Asfaltové směsi vyráběné za horka nesmějí být dle ČSN 73 6121 pokládány za deště a sněžení. [9]

5.2.1 Požadavky na podklad

Asfaltové směsi nesmějí být pokládány na podklad se souvislým vodním filmem, ledem a sněhem, podklad nesmí být ani promrzlý. Obzvláště obrusná a ložná vrstva smí být kladena pouze na suchý nebo mírně zavlhlý povrch, jelikož při pokládce se srážková voda mění v páru a ochlazuje pokládanou směs a vede k nedostatečnému spojení vrstev a k vytvoření kapilárního systému. Důležité je z povrchu odstranit i zbytky olejů a pohonných hmot, které mohou směs degradovat. [9]

5.2.2 Požadavky na klimatické podmínky

„Asfaltové směsi nesmějí být pokládány za deště a je-li na podkladu souvislý vodní film, sníh nebo led. Obrusné a ložní vrstvy mohou být kladeny na suchý nebo mírně zavlhlý povrch. Minimální teploty vzduchu musí odpovídat hodnotám v tabulce.“ [4]

Tabulka 8 - Minimální teploty vzduchu (ČSN 73 6121) [4]

Vrstva	Při pokládce (°C)	Průměrná za posledních 24 hod. (°C)
Podkladní	±0	-
Ložná s nemoifikovaným pojivem	+3	-
Obrusná; ložní s modifikovaným pojivem	+5	+3
Obrusná do 30 mm; vrstvy PA	+10	+5

Nepříznivě může působit i vítr. Tenkovrstvé směsi (do 40 mm) by neměly být pokládány při rychlostech větru nad 10 m/s, nejlépe do 5 m/s a žádné asfaltové směsi by neměly být pokládány při větru nad 15 m/s.

Přímé sluneční záření proces ochlazování směsi zpomaluje, a to působí k dosažení potřebné míry zhutnění příznivě, avšak při pokládce tlustých vrstev, při požadavku pokládky další vrstvy nebo v případě uvedení vozovky do provozu po pokládce, může příliš teplé počasí působit značné potíže. Zlepšení lze dosáhnout skrácením povrchu vodou.

Komplikacím spojeným s pokládkou při nízkých teplotách lze částečně předcházet:

- výrobou směsí při nejvyšší možné teplotě
- při výrobě, pokládce a dopravě chránit směs před ochlazováním (použití termo koreb nákladních vozů)
- směs pokládat při větších tloušťkách (60 mm po zhutnění)
- zvýšení vibrace tamperů hladicí lišty pro dosažení většího předhutnění
- použití vhodné zhutňovací sestavy s dostatečnou kapacitou [9]

5.3 Metody kontroly zhutněných asfaltových směsí

Před předáním stavby investorovi je nutná kontrola kvality provedených asfaltových vozovek. Nejčastěji se sleduje dosažená míra zhutnění, rovnost povrchu, příčný sklon, odchylka od projektované nivelety, tloušťka vrstev, kontrola spojení jednotlivých vrstev, mezerovitost a protismykové vlastnosti.

5.3.1 Míra zhutnění asfaltové směsi

Míra zhutnění je stanovena jako poměr následujících metod:

- *„objemové hmotnosti zjištěné na vzorku odebraném z hotové vrstvy (ve formě vývrtů nebo výseků) a vztažené objemové hmotnosti zjištěné při kontrolních zkouškách hodnoceného úseku, příslušné k místu odběru vzorku;*
- *objemové hmotnosti zjištěné na hotové úpravě nedestruktivními metodami a vztažené objemové hmotnosti zjištěné při kontrolních zkouškách hodnoceného úseku, příslušné k místu odběru vzorku;*
- *objemové hmotnosti zjištěné na vzorku odebraném z hotové úpravy (ve formě vývrtů či výseků) a vztažené objemové hmotnosti téhož vzorku přeformovaného v laboratoři na zkušební tělesa postupem podle ČSN EN 12697-30.“*

Výsledná míra zhutnění se udává v procentech, přičemž s vyšší mírou zhutnění se zvyšuje únosnost vrstvy, její tuhost a taktéž se zvyšuje odolnost vrstvy proti únavě. Pro jednotlivé vrstvy jsou stanoveny požadavky dle typu směsi podle normy ČSN 73 6121 viz. Tabulka 9 - Požadované parametry na míru zhutnění vrstvy ,

Tabulka 9 - Požadované parametry na míru zhutnění vrstvy [4], [3]

Vrstva	Označení směsi	Požadovaná míra zhutnění (%) ^{3), 4), 5)}
Obrusná	ACO D (S)	min. 96,0; e 98,0
	ACO D (+, bez)	min. 96,0
	ACO D CH; PA D	min. 95,0
	SMA D (S)	min. 96,0; e 98,0
	SMA D (+, bez)	min. 96,0
	BBTM NH	min. 97; e 98,0
	SMA NH	min. 97; e 98,0
Ložní	ACL D (S)	min. 96,0; e 98,0
	ACL D (+, bez)	min. 96,0
	VMT	min. 96; e 98,0
	SMA L	min. 96; e 98,0
Podkladní	ACP D (S)	min. 96,0; e 98,0
	ACP D (+)	min. 96,0
	VMT	min. 96; e 98,0
	ACP RBL	min. 96; e 98,0
	AC 11 Z	min. 96; e 98,0
	AC 16, 22 Z	min. 96; e 98,0
Kompenzační	SAL	min. 96; e 98,0

1) Platí pouze pro vrstvy o projektované tloušťce ≥ 30 mm.

2) 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.

3) Na hodnoceném úseku může být maximálně 20 % výsledků v intervalu 96 % až 97 %, zbývajících 80 % výsledků musí být ≥ 97 %.

4) 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 \emptyset míry zhutnění je rozhodující mezerovitost vrstvy.

5) 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 3) této tabulky.

5.3.2 Destruktivní metody kontroly

Při destruktivní kontrole asfaltové vrstvy je narušena její celistvost. Pomocí jádrové vrtačky jsou odebrány jádrové vývrty, na kterých jsou poté v laboratoři měřeny míry zhutnění. Tato zkouška dosahuje nejpřesnějších výsledků ze všech metod.

Četnost provádění zkoušek definuje norma ČSN 73 6121 následovně: pro ložné a podkladní vrstvy odběr vývrtu na 1 500 m² minimálně dvakrát na stavbu a pro obrusné vrstvy odběr vývrtu na 5 000 m² minimálně dvakrát na stavbu. [4]

Tato metoda je ovšem ne zcela přesná, jelikož při odběru vývrtu neznáme míru zestárnutí pojiva v položené vrstvě a tím i neodpovídající teplotu při zhutňování, proto tato metoda nedokáže přesně určit objemovou hmotnost. Pro přesné stanovení objemové hmotnosti je na stavbě odebrána asfaltová směs a následně jsou z ní vyhotovena Marshallova tělesa. Výsledek se řídí podle přesnější metody stanovení. [22]

5.3.3 Nedestruktivní metody kontroly

Výhoda nedestruktivních zkoušek je okamžitá znalost naměřené hodnoty míry zhutnění, díky které lze regulovat případné pojezdy hutnicí techniky, aby bylo dosaženo požadovaného výsledku. Takovéto zkoušky bývají zatíženy chybou a slouží jako orientační. Minimální počet měření nedestruktivní metodou je dle TKP jedno měření na 500 m² a zároveň na celém úseku alespoň dvě měření. [23]

5.3.3.1 Stanovení objemové hmotnosti zkušebního tělesa

Požadavky na vytvoření zkušebního tělesa předepisují normy ČSN EN 13 108-1 a ČSN 73 6121. Referenční objemová hmotnost asfaltové směsi je běžně stanovena na Marshallových tělesech. Získaná objemová hmotnost v laboratorních podmínkách je přenesena do měřicí sondy. Zjištěná hodnota představuje 100% míru zhutnění, od které se odvíjí zjištěná objemová hmotnost na sledovaném povrchu. [24]

5.3.3.2 Radiometrická soustava pro měření objemové hmotnosti Troxler 4640-B

Sonda Troxler využívá zpětného rozptylu gama záření a pro okamžité určení objemové hmotnosti povrchu o mocnosti 25 mm až 101 mm.

Je vhodná téměř pro všechny typy asfaltových směsí. Výslednou hodnotu objemové hmotnosti lze vypočítat jako průměr až z 12 měření. Běžně se ale hodnota stanovuje z jednoho měření, které provede pracovník laboratoře, lze tak okamžitě zjistit, jestli byla dosažena potřebná míra zhutnění a případně doporučit strojníkům nutný počet pojezdů pro její dosažení. Přístroj lze kalibrovat dle vlastností zkoumané směsi (zrnitost atd.). Pro kontroly je nezbytný kalibrační list, který má každý přístroj.

Měřený povrch by měl být pro dosažení nejpřesnějších výsledků nejlépe čistý, suchý, plochý a hladký. Na přístroji se ověřuje jeho intenzita radiace pomocí dozimetru [25]

Postup měření:

- Před zahájením měření zkontrolujeme kalibraci pro danou povrchovou úpravu, platnost certifikátu a funkčnost sondy.
- Nastavíme tloušťku vrstvy a 100% objemovou hmotnost zjištěnou laboratorně.
- Položíme sondu minimálně 300 mm od kraje vozovky a změříme hodnotu objemové hmotnosti. Data se ukládají do paměti sondy a pro větší přesnost lze provést delší měření.
- Po konci měření sondu očistíme a vrátíme zpět do originálního pouzdra, které zabrání případnému úniku radioaktivního záření. [25]



Obrázek 27 - Radiometrická sonda Troxler 4640-B [25]

5.3.3.3 Zkouška mezerovitosti

Míra zhutnění a mezerovitost asfaltové směsi/vrstvy spolu souvisí, s rostoucí mírou zhutnění se snižuje mezerovitost.

Obecně platí, že s nižší mezerovitostí je asfaltová směs odolnější vůči klimatickým vlivům, a díky tomu je životnost vozovky vyšší. Ovšem při mezerovitosti nižší než 2 % jsou vozovky náchylné k tvorbě trvalých deformací, protože se nemá pojivo kam roztahovat, a dochází k vyplavování pojiva na povrch vozovky. [26]

Mezerovitost lze určit ze vzorce:

$$M = \left(1 - \frac{\rho_{bssd}}{\rho_{max}}\right) \times 100$$

[26]

ρ_{bssd} - objemová hmotnost zhutněné směsi určená podle ČSN EN 12697-6 na vývrtnu nebo výseku [kg/m^3];

ρ_{max} - maximální objemová hmotnost určená ve vodě podle ČSN EN 12697-5 [kg/m^3];

V případě výpočtu mezerovitosti u směsí typu AKO a PA nahrazuje označení objemové hmotnosti ρ_{bssd} označení $\rho_{b,dim}$ - z rozměrů.

Požadovanou mezerovitost určuje blíže norma ČSN 73 6121.

Tabulka 10 - Požadovaná mezerovitost dle typu asfaltové vrstvy [4]

Typ vrstvy	mezerovitost
Obrusná	2,0-7,0 % (7,5 %)
Ložní	2,5-8,0 % (8,5 %)
Podkladní	3,0-10,0 % (2,0-10,5 %)

Poznámka: Hodnoty v závorkách jsou uvedeny v závislosti na typu konkrétní asfaltové směsi

6. Praktická část

6.1 Sledovaná stavba

Díky svému působení ve společnosti STRABAG a.s. na pozici dělník pokládkové čety jsem se přímo podílel na opravě úseku dálnice D5 směr Rozvadov – Praha. Rekonstrukce tříkilometrového úseku zahrnovala úpravu středního dělicího pásu a sanaci aktivní zóny včetně odtěžení nestabilního násypu dálničního tělesa. Byla zřízená nová kanalizace, drenáž a vytvořen nový násyp ze stabilního materiálu. Následovala pokládka nových konstrukčních vrstev včetně jednostranného monolitického žlabu pro odvodnění povrchu dálnice. Stavba byla realizována na podzim roku 2021 ve velmi krátkém termínu.

Pro obnovu konstrukčních vrstev byl nasazen dálniční finišer Vögele Super 2100-3i osazený pevnou lištou SB 300 TV s maximální šířkou pokládky 13 m. V místech, kde se dálnice rozšiřovala a maximální šířka pokládky jednoho finišeru nestačila, byl nasazen druhý finišer Vögele Super 1900-3i. Pokládka tak probíhala na teplou spáru a nevznikl žádný podélný spoj, což výrazně prodlužuje životnost vozovky. Pro zajištění kontinuální pokládky směsi bez zastavování finišeru z důvodu zásobování materiálem byl pro pokládku použit krmící vůz (beschicker) Vögele MT 3000-3i standard. Je tak vytvořen mezičlánek mezi finišerem a nákladními vozy. Dopravovaná směs byla zhomogenizována a dopravena po vyhřívaném pásovém dopravníku do speciálně upravené násypky finišeru. Pro zajištění přesných tloušťek a příčných sklonů pokládaných vrstev byl finišer naváděn 3D nivelací, podle předem vytvořeného modelu stavby. Odpadá tak pracné vytýčení lankodráhy a komfort obsluhy lišty je vyšší díky automatickému upravování pokládaných výšek.

Pro hutnění byla použita sestava osmi válců, která se skládala z oscilačních a statických válců.

Vozovka byla provedena v následující skladbě:

- POSYP 1,5 kg/m² Zdrsňující posyp předobal. kameniva fr. 2/4 ČSN 73 6121
- SMA 11 S PmB 45/80-65 40 mm Asfalt. koberec mastixový modif. ČSN EN 13108-5, ČSN 73 6121
- PS-CP 0,35 kg/m² Spojovací postřik mod. asf. emulzí ČSN 73 6129
- ACL 22 S PmB 25/55-60 80 mm Asfalt. beton pro ložné vrstvy modif. ČSN EN 13108-1, ČSN 73 6121
- PS-CP 0,35 kg/m² Spojovací postřik mod. asf. emulzí ČSN 73 6129
- ACP 22 S PmB 25/55-60 80 mm Asfalt. beton pro podkladní vrstvy modif. ČSN EN 13108-1, ČSN 73 6121
- PS-CP 0,35 kg/m² Spojovací postřik mod. asf. emulzí ČSN 73 6129
- ACP 22 S PmB 25/55-60 70 mm Asfalt. beton pro podkladní vrstvy modif. ČSN EN 13108-1, ČSN 73 6121
- PI-C 1,00 kg/m² Infiltrační postřik asf. emulzí ČSN 73 6129
- MZK 200 mm Mechanicky zpevněné kamenivo ČSN EN 13285, ČSN 73 6126-1
- ŠD-A 0/63 250 mm Štěrkodrt' fr. 0/63 ČSN EN 13285, ČSN 73 6126-1

Celkem 720 mm



Obrázek 28- Průběh stavby 1 [zdroj vlastní]



Obrázek 29 - Průběh stavby 2 [zdroj vlastní]

Pro zjištění vlivu teploty a energie na zhutnitelnost asfaltových směsí byly vyrobeny vzorky při odlišných teplotách a počtech úderů na Marshallově pěchu. Hlavním cílem bylo zjistit, při jaké teplotě je optimální provádět hutnění, aby bylo dosaženo požadované míry zhutnění. Výsledné naměřené parametry Marshallových tělech byly následně porovnány s vývrty z konkrétní stavby.

Parametry byly sledovány na 3 směsích:

- ACP 22 S PmB 25/55-60
- ACL 22 S PmB 25/55-60
- SMA 11 S PmB 45/80-65

6.2 Výroba vzorků - hutnění Marshallovým pěchem

Výroba Marshallových těles se řídila platnou normou ČSN EN 12697-30. Pro účely bakalářské práce byly vyrobeny vzorky při rozdílných teplotách a počtu úderů pěchem viz. tabulka

Tabulka 11 - Seznam vytvořených Marshallových těles

Směs	Počet MT, teplota, údery	Počet MT, teplota, údery	Počet MT, teplota, údery
ACP 22 S PmB	6 × MT při teplotě 165 °C, 2 × 50 úderů	6 × MT při teplotě 155 °C, 2 × 50 úderů	6 × MT při teplotě 145 °C, 2 × 50 úderů
ACL 22 S PmB	6 × MT při teplotě 165 °C, 2 × 75 úderů	6 × MT při teplotě 165 °C, 2 × 65 úderů	6 × MT při teplotě 165 °C, 2 × 50 úderů
SMA 11 S PmB	6 × MT při teplotě 165 °C, 2 × 50 úderů	6 × MT při teplotě 155 °C, 2 × 50 úderů	6 × MT při teplotě 165 °C, 2 × 40 úderů
	6 × MT při teplotě 155 °C, 2 × 40 úderů		

Celkem bylo potřeba vytvořit 60 těles + 18 opravných u směsi ACL. Měl jsem k dispozici 3 směsi, které jsem si odebral během pokládky jednotlivých vrstev. Od každé jsem měl k dispozici cca 25 kg. Hmotnost asfaltové směsi pro každé Marshallovo těleso se pohybovala ± 1 150 g.

Pro přípravu vzorků byl použit laboratorní rázový pěch InfraTest 20-1475. Při výrobě dopadá závaží na bicí hlavu pěchu, která je uložena na horním povrchu vzorku. Pěch je zvedán řetězovým pohonem díky elektromotoru a padá ze známé výšky ± 460 mm v předepsaných intervalech. Předepsaná teplota při hutnění byla dosažena v sušárnách s termostatem s odchylkou maximálně 5°C .

Potřebné pomůcky pro provedení zkoušky: Marshallův pěch, asfaltová směs, sušárna s termostatem, ocelové formy na vzorky, fanky a prostředky k manipulaci s horkou směsí.

Postup při výrobě byl následující:

- Asfaltová směs odebraná ze stavby v pytlích byla vložena do sušárny pro zahřátí, aby bylo možné směs rozdělit do fanek pro budoucí výrobu vzorků.
- Při dosažení dostatečné teploty, aby bylo možné se směsí manipulovat, byla na vahách s přesností $0,1$ g rozdělena do fanek po $\pm 1\ 150$ g. Takto rozdělená směs byla vložena do sušárny s požadovanou teplotou 145°C , 155°C a 165°C . Do sušárny byly vloženy rovněž formy pro budoucí vzorky, aby nedošlo k ochlazení směsi vlivem jejich nižší teploty.
- Po ohřátí směsi na požadovanou teplotu proběhla kontrola skutečné teploty směsi za pomoci digitálního teploměru s přesností $0,01^{\circ}\text{C}$. Pokud byla dosažena požadovaná teplota, připravila se ocelová podložka pro formu, pod kterou byl umístěn papír, který tvořil separační vrstvu, aby nedocházelo k nalepení směsi na ocelový povrch. Poté byla na podložku nasazena válcová forma s vnitřním průměrem ± 102 mm a nástavec pro hutnění. Připravená asfaltová směs ve fance byla nasypána do ohřáté ocelové formy. Povrch byl urovnán a vložena separační papírová vrstva.
- Takto připravený vzorek byl upnutý v co nejkratší možné době do pěchu a následovalo hutnění 2×40 , 2×50 , 2×65 a 2×75 . Po zhutnění požadovaným počtem úderů byl vzorek otočen a následoval druhý cyklus hutnění.
- Vychladlá tělesa byla vyjmuta z formy na hydraulickém lisu.



Obrázek 30 - Výroba Marshallových těles [zdroj vlastní]



Obrázek 31 - Marshallův pých [zdroj vlastní]

Na základě cíle bakalářské práce byly určeny zkušební metody vedoucí ke zjištění vlastností zkoumaných asfaltových směsí. Byly vybrány následující zkoušky:

- Objemová hmotnost dle rozměrů
- Objemová hmotnost SSD
- Maximální objemová hmotnost
- Mezerovitost
- Obsah rozpustného pojiva
- Zrnitost
- Moduly tuhosti
- Marshallova zkouška

V následující kapitolách bude věnována pozornost průběhu jednotlivých typů zkoušek. Výsledky a vyhodnocení parametrů asfaltových směsí budou uvedeny v samostatných kapitolách.

6.3 Stanovení objemové hmotnosti

Stanovení objemové hmotnosti zkušebních těles bylo provedeno podle platné normy ČSN EN 12697-6. Norma definuje postupy stanovení objemové hmotnosti následujícími způsoby:

- Objemová hmotnost suchého tělesa – pro tělesa s velmi uzavřeným povrchem.
- Objemová hmotnost SSD-nasyčený suchý povrch, pro tělesa s uzavřeným povrchem.
- Objemová hmotnost utěsněného zkušebního tělesa - pro tělesa otevřená s hrubozrnným povrchem.
- Objemová hmotnost dle rozměrů tělesa - metoda pro tělesa s pravidelným geometrickým povrchem.

Uvedené metody lze použít pro tělesa vytvořená v laboratorních podmínkách a zároveň i pro tělesa odebraná přímo z dokončené vozovky - vývrty. Výběr vhodné metody stanovení objemové hmotnosti je závislý na odhadnutém množství a přístupnosti mezer. Norma ČSN EN 12697-6 uvádí obecný návod pro výběr nejvhodnějšího postupu.

V této bakalářské práci byla použita Marshallova tělesa hutněná 2 × 40, 2 × 50, 2 × 65 a 2 × 75 údery, při teplotách 145 °C, 155 °C a 165 °C a vývrty, které mi poskytla zkušební laboratoř TPA ČR. Na Marshallových tělesech a vývrtech byla stanovena objemová hmotnost dle rozměrů a objemová hmotnost SSD.

Rovněž byla stanovena maximální objemová hmotnost všech třech směsí. Stanovení proběhlo dle postupu z platné normy ČSN EN 12697-5.

6.3.1 Objemová hmotnost SSD

Touto metodou dojde ke stanovení objemové hmotnosti na základě jeho suché hmotnosti, hmotnosti ponořeného vzorku a hmotnosti osušeného vzorku.

Tato metoda byla použita pro stanovení objemové hmotnosti Marshallových těles a vývrtů vše 3 směsí.

Pro provedení této zkoušky jsou potřeba následující pomůcky: váhy s možností vážení ponořených těles s přesností ± 0,1 g, vodní lázeň s konstantní teplotou vody s přesností ± 1,0 °C, teploměr a vlhká jelenice pro povrchové osušení těles. [24]

Postup zkoušky je následovný:

- Stanovení suché hmotnosti tělesa (m_1).
- Stanovení hustoty vody v lázni (ρ_w) na základě změřené teploty.
- Ponoření zkušebních těles do vodní lázně po dobu minimálně 30 minut.
- Stanovení objemové hmotnosti ponořeného nasyceného tělesa (m_2)
- Odebrání tělesa z lázně a osušení jeho povrchu vlhkou jelenicí.
- Stanovení hmotnosti nasyceného tělesa (m_3) následně po jeho osušení.

Výsledná objemová hmotnost SSD (ρ_{bssd}) zkušebního tělesa se vypočítá dle vzorce:

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

[24]

6.3.2 Maximální objemová hmotnost

Cílem této zkoušky je stanovení maximální objemové hmotnosti asfaltové směsi bez mezer. Pro provedení této zkoušky definuje norma ČSN EN 12697-5 celkem tři různé postupy pro stanovení: volumetrický, hydrostatický a matematický postup. V této bakalářské práci byl zvolen volumetrický postup, který udává maximální objemovou hmotnost vzorku na základě jeho objemu bez mezer a suché hmotnosti.

Mezi pomůcky pro provedení této zkoušky patří: pyknometr s nástavcem se známým objemem, teploměr s přesností 0,1 °C, váhy s přesností 0,1 g, destilovaná voda, vakuová nádoba.

Postup zkoušky je následovný:

- Umístění nezhutněné asfaltové směsi do sušárny, aby došlo k předehřátí směsi
- Odebrání potřebného množství, cca 800 g a její rozprostření na papír, při kterém byla od sebe oddělena jednotlivá zrna
- Umístění vzorku do pyknometru se známou hmotností (m_1) a známým objemem (V_p)
- Stanovení hmotnosti pyknometru se vzorkem (m_2)
- Naplnění pyknometru destilovanou vodou a otáčení na otáčivých válečcích pro únik vzduchových bublin a změření teploty (t) s přesností 0,1 °C pro stanovení příslušné objemové hmotnosti destilované vody ρ_v
- Vložení pyknometru do vakuové nádoby, kde byl při 4 kPa oddělen zachycený vzduch
- Doplnění destilované vody po referenční značku pyknometru a zvažení pyknometru, vzorku a destilované vody (m_3) [27]

Příslušná objemová hmotnost vody a maximální objemová hmotnost je poté stanovena dle následujícího vzorce:

$$\rho_w = 1,00025205 + \frac{7,59 \times t - 5,32 \times t^2}{10^6}$$

$$\rho_{mw} = \frac{m_2 - m_1}{(10^6 \times V_p - (m_3 - m_2)/\rho_w)}$$

[27]

ρ_w = hustota vody při zkušební teplotě [Mg/m³]

t = teplota destilované vody [°C]

ρ_{mv} = maximální objemová hmotnost asf. směsi stanovená volumetricky s přesností na 0,0001 [Mg/m³]

m_1 = hmotnost pyknometru [g]

m_2 = hmotnost pyknometru a vzorku [g]

m_3 = hmotnost pyknometru a vzorku a destilované vody po referenční značku [g]

V_p = objem pyknometru při naplnění po referenční značku [m³]

ρ_w = hustota vody při zkušební teplotě s přesností na 0,0001 [Mg/m³]

6.3.3 Mezerovitost

Díky stanovení objemové hmotnosti SSD a maximální objemové hmotnosti v předchozích krocích, bylo možné provést výpočet mezerovitosti dle ČSN EN 12697–8. Hodnoty byly stanoveny pro vývrty odebrané z vozovky a pro Marshallova tělesa s definovanou objemovou hmotností SSD. [28]

Stanovení proběhlo dle následujícího vzorce:

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

[28]

V_m = Mezerovitost zkušebního tělesa s přesností 0,1 % [%]

ρ_m = Maximální objemová hmotnost [kg/m³]

ρ_b = Objemová hmotnost SSD zkušebního tělesa [kg/m³]

6.4 Obsah rozpustného pojiva

Norma ČSN EN 12697-1 definuje postupy pro stanovení obsahu pojiva v asfaltových směsích. Extrakce probíhala v přístroji Asphaltanalysator za horka a jako rozpouštědlo byl použit tetrahydrochlorid. Po vložení patrony s asfaltovou směsí probíhá extrakce automaticky podle předem definovaného programu extraktoru. Pro zachycení jemných částic slouží papírový filtr. Je tak dosaženo velmi přesných výsledků. Po rozpuštění pojiva je kamenivo vysušeno do konstantní hmotnosti. [29]

Pomůcky potřebné pro provedení této zkoušky jsou následující: extraktor, rozpouštědlo, patrona, extrakční koš, sušárna a váhy s přesností 0,1 g

Postup extrakce:

- Do patrony se vloží separační papír, aby zcela přiléhal na celou plochu stěny, celek je následně zvážen s přesností na 0,1 g
- Následně je zvážen extrakční koš s přesností na 0,1 g a vložena asfaltová směs, která je poté zvážena včetně koše s přesností na 0,1 g
- Následuje vložení koše s asfaltovou směsí a patrony do extraktoru a spuštění extrakčního programu, který trvá 45 minut
- Po dokončení extrakce je vyjmut koš a zváženo kamenivo s přesností na 0,1 g, k výsledné hodnotě je následně přičtena hmotnost zachyceného fileru na separačním papíru z patrony rovněž s přesností na 0,1 g
- Výsledná hodnota hmotnosti kameniva se skládá z hmotnosti kameniva a fileru, množství rozpustného pojiva je stanoveno z poměru hmotností asfaltové směsi a kameniva včetně fileru [29]

Obsah rozpustného pojiva byl stanoven dle následujícího vztahu:

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

[29]

S = obsah rozpustného pojiva [%]

M = hmotnost nevysušeného zkušební vzorku [g]

M₁ = hmotnost minerálního materiálu (kamenivo + filer) po extrakci [g]

M_w = hmotnost vody v nevysušeném zkušebním vzorku [g]



Obrázek 32 – Extraktor [zdroj vlastní]



Obrázek 33 - Kamenivo a filer po extrakci [zdroj vlastní]

6.5 Zrnitost

Zkouška byla provedena dle ČSN EN 933-1 zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – síťový rozbor. Princip určení zrnitosti je v oddělení jednotlivých frakcí kameniva pomocí předem definovaných sít s klesající velikostí ok.

Pokud se tato zkouška provádí po extrakci pojiva, lze dle ČSN EN 12697-39 stanovit zrnitost síťovým rozbořem pouze za sucha. Samotné prosévání probíhá mechanickým třesením ve sloupci sít uspořádaných vzestupně. Po prosetí se zbytky na jednotlivých sítích zváží a určí se procentuální podíl z celkové navážky.

Norma ČS 73 6121 udává pro každou asfaltovou směs maximální a minimální procentuální zastoupení každé jednotlivé frakce a každá asfaltová směs musí tuto normu splňovat.

6.6 Moduly tuhosti

Při zjišťování modulů tuhosti jednotlivých Marshallových těles se řídil postup dle normy ČSN EN 12697-26 – Tuhost. Pro účely této bakalářské práce byla provedena zkouška IT-CY, při níž jsou definovány moduly tuhosti v příčném tahu na Marshallových zkušebních tělesech. Tato zkouška se řadí mezi nedestruktivní a působí proměnlivou silou formou pulzů kolmo na osu Marshallových těles. Senzory změří hodnoty pružné deformace ve směru kolmo na osu vzorku. [30]

Pro provedení zkoušky byly potřeba následující pomůcky: ocelový zatěžovací rám, dvě zatěžovací čelisti, normou definované zatěžovací zařízení, systém pro měření horizontálních deformací, řídicí jednotka - záznamové zařízení, termostatická komora, PC a chladicí box pro temperování vzorků před zkouškou.

Před provedením této zkoušky byla všechna tělesa temperována na teploty potřebné k provedení zkoušky, 0 °C, 15 °C, 27 °C a 40 °C. Temperování probíhalo v komoře s možností regulací teploty po dobu minimálně 4 hodiny. Poté se jednotlivá tělesa upevnila do rámečku pomocí čtyř šroubů, díky kterým byl vytvořen kontakt mezi tělesem a vodorovnými senzory. Poté zařízení zatížilo pneumaticky zkoumaný vzorek a

dle předem definované deformace působil na těleso odpovídající silou. V softwaru byly zadány rozměry, objemová hmotnost, předepsaná deformace a Poissonovo číslo odpovídající teplotě při zkoušení. Nejprve proběhlo deset zkušebních pulzů a následně pět pulzů, které byly automaticky zaznamenány. Každý vzorek byl zkoušen dvakrát, po dokončení měření v jedné poloze byl otočen o 90 °a zkoušen znovu.

Modul tuhosti definuje norma vzorcem:

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

[30]

E = naměřený modul tuhosti [MPa]

F = maximální hodnota použitého svislého zatížení [N]

Z = amplituda horizontální deformace [mm]

H = průměrná hodnota tloušťky zkušebního tělesa [mm]

V = Poissonovo číslo [-]

Naměřený modul tuhosti je následovně upraven dle součinitele plochy zatížení 0,6 dle vztahu:

$$S'_m = S_m \times (1 - 0,322 \times (\log(S_m) - 1,82) \times (0,6 - k))$$

[30]

S'_m = Modul tuhosti upravený na součinitel ploch zatížení 0,60 [MPa]

S_m = Modul tuhosti při součiniteli zatížení k, při dané teplotě [°C]

K = Naměřený součinitel plochy zatížení [-]



Obrázek 34 - Přístroj pro měření modulů tuhosti [zdroj vlastní]

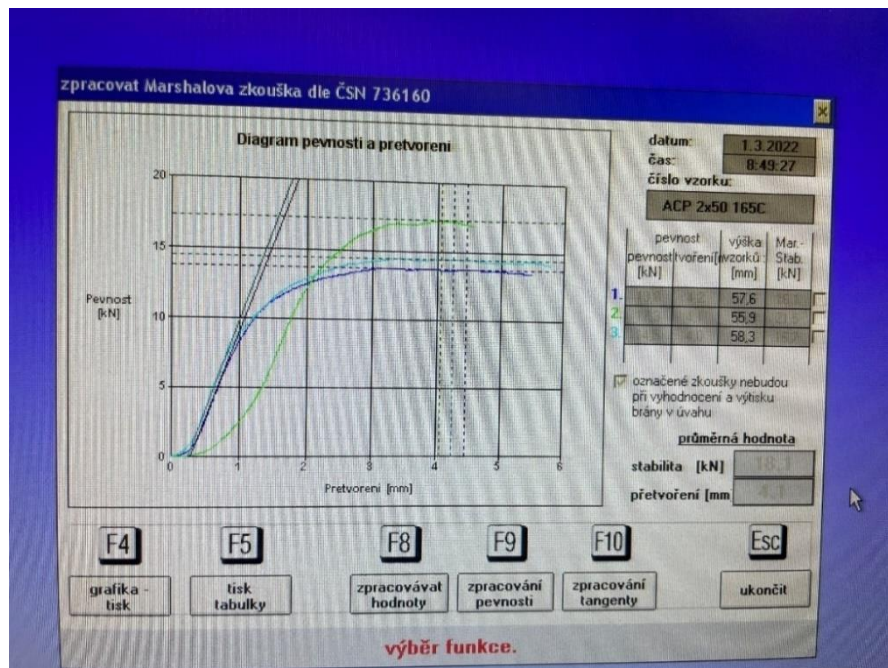
6.7 Marshallova zkouška

Dle normy ČSN EN 12697–34 byla stanovena Marshallova stabilita a přetvoření zkušebních těles. Při této destruktivní zkoušce jsou nasycená tělesa při 60 °C ve vodní lázni zkoušena v zařízení pro tlakové zkoušky. Rozměry jednotlivých vzorků jsou předem definovány ve zkušebním softwaru a při zatěžování konstantním posunem je měřena deformace tělesa. Stlačování probíhá až do doby, dokud není dosaženo maximální síly, ta je následně zaznamenána a přepočtena koeficientem výšky na ideální výšku 63,5 mm, následně je vyjádřena Marshallova stabilita. Zkušební software vždy pro trojici jednoho typu vzorků vynesl graf závislosti maximální síly na přetvoření.

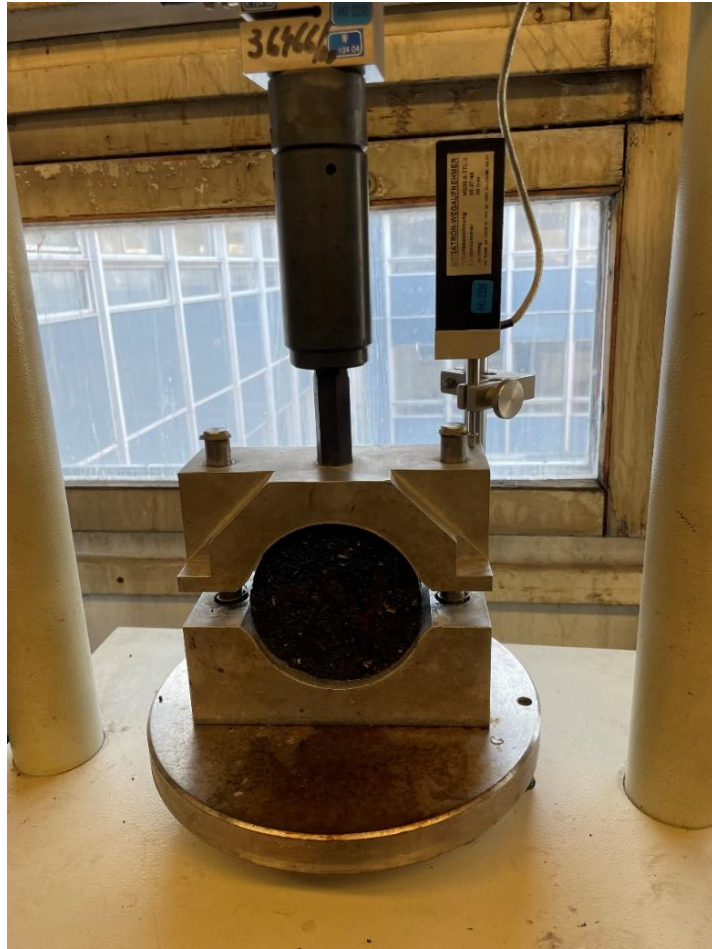
Pomůcky potřebné pro provedení této zkoušky jsou následující: zařízení pro zkoušky v tlaku, vodní lázeň s perforovanou vložkou a s možností regulace teploty s přesností 1,0 °C, zkušební software.

Postup zkoušky:

- Definování rozměrů vzorků ve zkušebním softwaru.
- Vložení těles do vodní lázně a sycení po dobu 40 min při teplotě 60 °C s přesností 1,0 °C.
- Vložení temperovaného vzorku mezi čelisti.
- Zatěžování vzorku konstantním posunem 50 mm/min a měření deformace s přesností na $\pm 0,1$ mm.
- Zaznamenání maximální síly a vyjádření Marshallovy stability v softwaru.



Obrázek 35 - Graf Marshallovy stability [zdroj vlastní]



Obrázek 36 - Průběh zkoušky na Marshallovu stabilitu [zdroj vlastní]

7. Výsledky praktické části

Na základě popsaných postupů a výpočtů byly vyhodnoceny zjištěné hodnoty všech provedených zkoušek. V následujících kapitolách budou uvedeny výsledky a vyhodnocení všech zkoumaných vlastností asfaltových směsí.

7.1 ACP

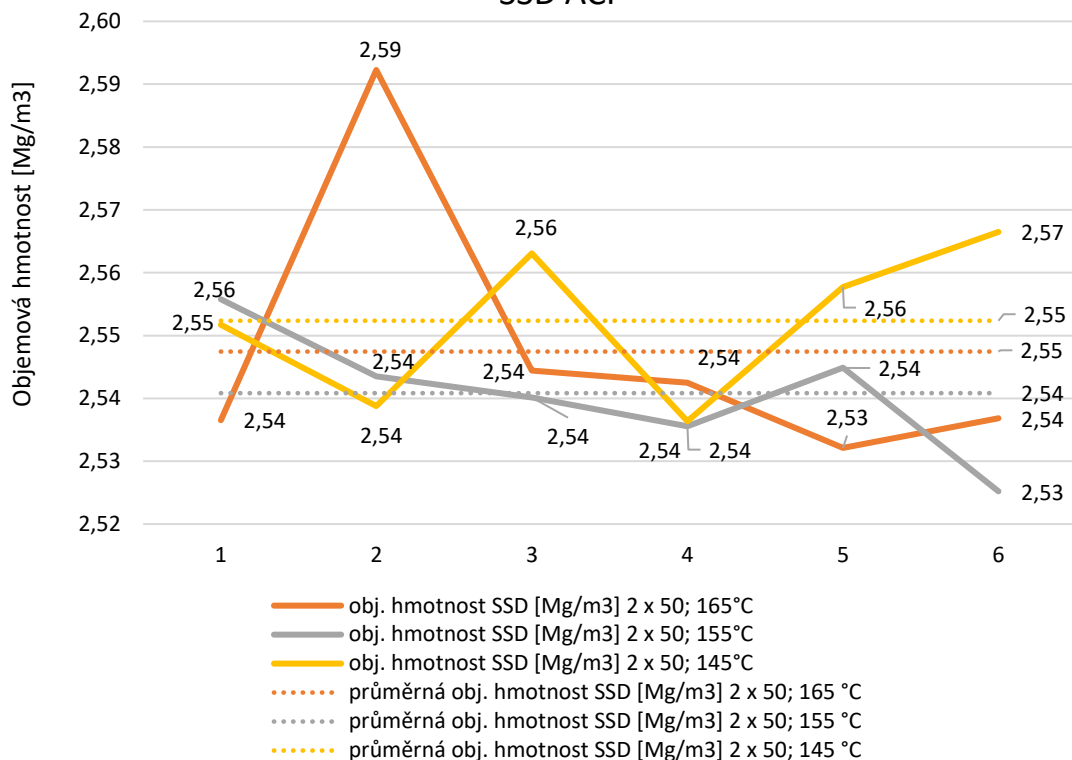
7.1.1 Objemová hmotnost

Dle popsaných metod byly v této práci stanoveny pro směs ACP a vývrtů ze směsi ACP objemové hmotnosti SSD, objemové hmotnosti dle rozměrů a maximální objemová hmotnost. Nejvyšší průměrné objemové hmotnosti $2,55 \text{ Mg/m}^3$ bylo dosaženo při teplotě hutnění $145 \text{ }^\circ\text{C}$ a 2×50 úderech. Při teplotě $165 \text{ }^\circ\text{C}$ a 2×50 úderech bylo dosaženo objemové hmotnosti $2,55 \text{ Mg/m}^3$ a nejnižší objemové hmotnosti $2,54 \text{ Mg/m}^3$ bylo dosaženo při teplotě $155 \text{ }^\circ\text{C}$ a 2×50 úderech viz. Graf 1 - Závislost teploty při hutnění na obj. hmotnosti SSD ACP. Tento výsledek byl ověřen vytvořením další sady vzorků a následným zjištěným objemových hmotností, kdy bylo dosaženo podobných hodnot. Oproti ostatním směsím je tedy výhodnější provádět hutnění ACP při teplotě $145 \text{ }^\circ\text{C}$ nikoliv při $165 \text{ }^\circ\text{C}$.

Dosažená míra zhutnění, při níž byla porovnána objemová hmotnost SSD vývrtů a MT hutněných při teplotě $165 \text{ }^\circ\text{C}$ a 2×50 úderech, byla průměrně $99,7 \%$ (viz. Tabulka 19 – Vlastnosti vývrtů ACP). Podrobnější výsledky objemových hmotností a rozměrů těles jsou uvedeny v příloze 10.1 Tabulka 20 - Vlastnosti MT ACP 2×50 ; $165 \text{ }^\circ\text{C}$.

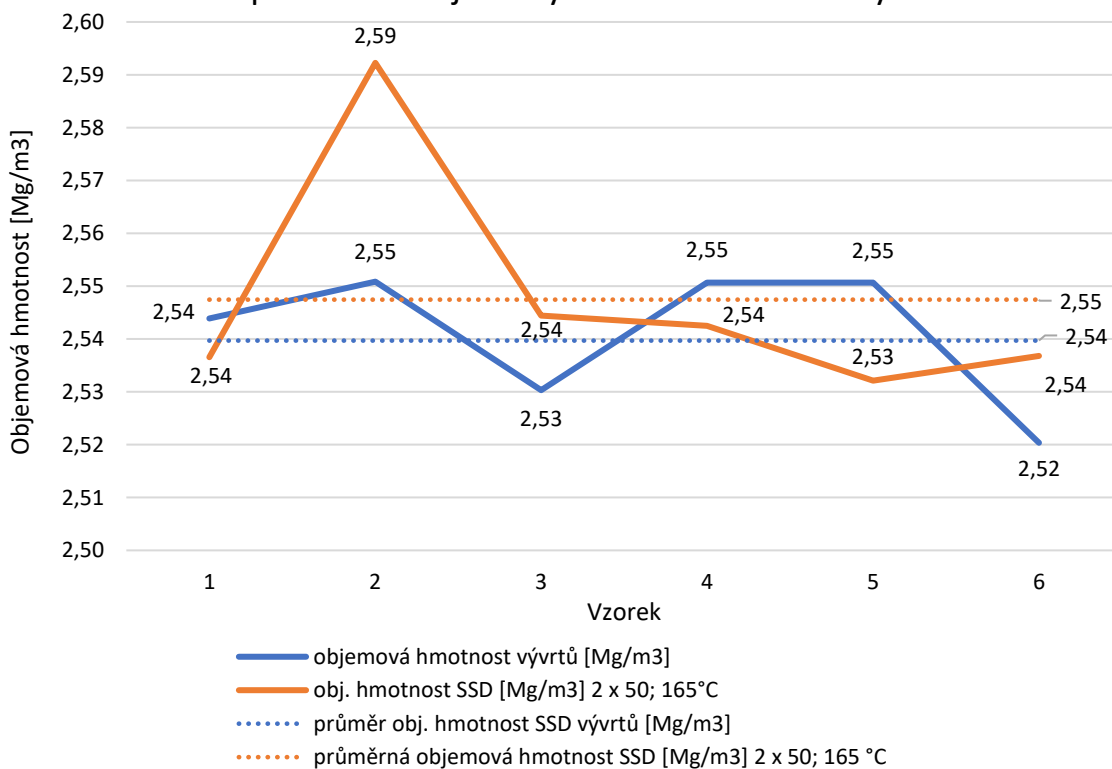
Maximální objemová hmotnost byla stanovena dle příslušné normy pyknometricky viz. Tabulka 12 - Maximální objemová hmotnost ACP a její hodnota je $2,64 \text{ Mg/m}^3$.

Graf závislosti teploty při hutnění na objemové hmotnosti SSD ACP



Graf 1 - Závislost teploty při hutnění na obj. hmotnosti SDD ACP

ACP - porovnání objemových hmotností MT a vývrtů



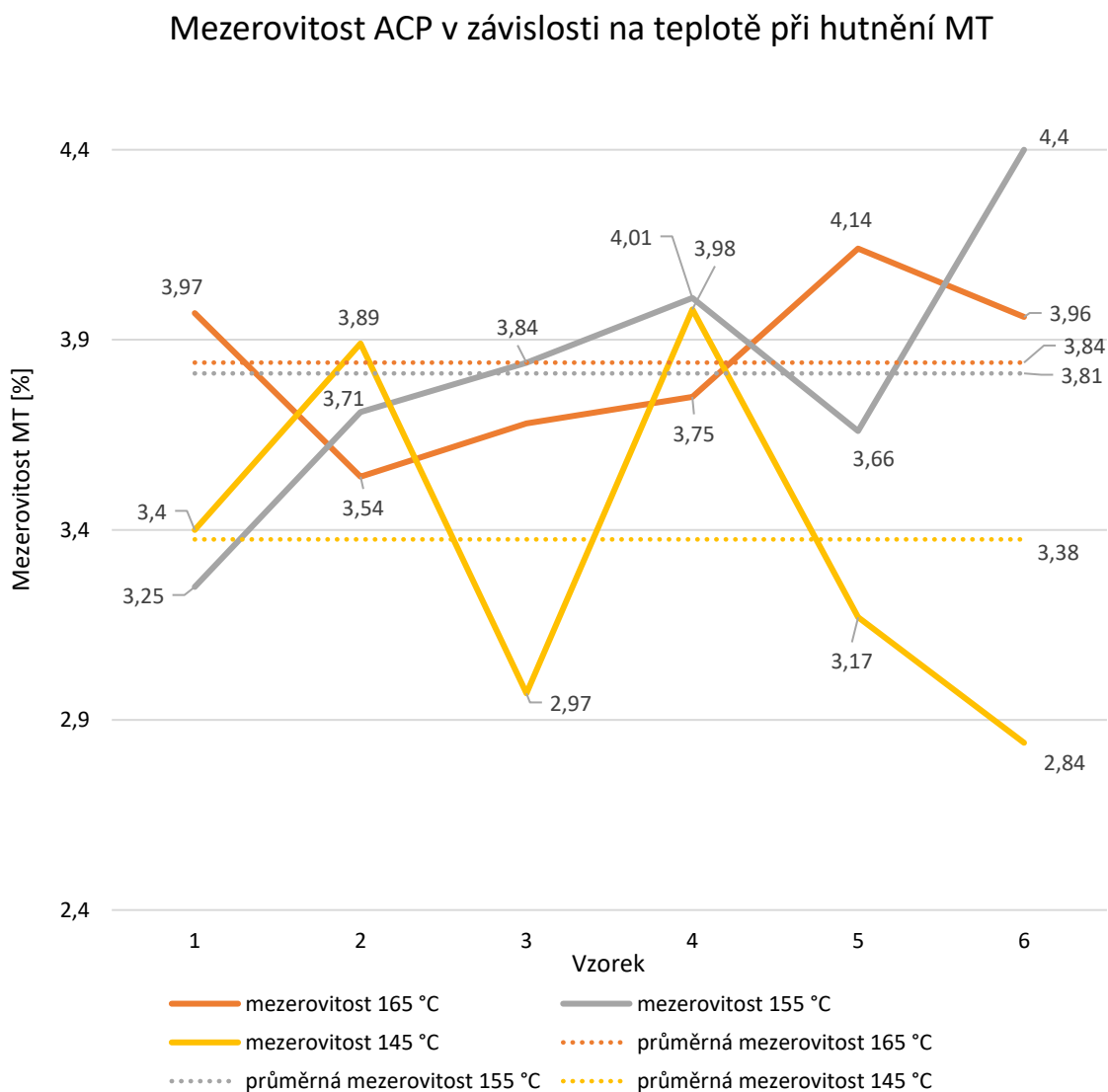
Graf 2 - ACP-porovnání objemových hmotností MT a vývrtů

Tabulka 12 - Maximální objemová hmotnost ACP

max. objemová hmotnost	2,64	Mg/m³
m₁ (pyknometr)	696,5	g
m₂ (pyknometr + vzorek)	1 366,00	g
m₃ (pyknometr + vzorek + voda)	2427	g
V_p (obj. pyknometr + nástavec)	0,0013166	m ³
ρ_{vody}	0,998	Mg/m ³
m_{vzorek}	669,50	g

7.1.2 Mezerovitost

Ze získaných objemových hmotností SSD a maximální objemové hmotnosti byla dle ČSN EN 12697–8 stanovena mezerovitost. Hodnoty byly stanoveny pro vývrty odebrané z vozovky a pro Marshallova tělesa. Nejvyšší průměrnou mezerovitosti 3,81 % dosáhla tělesa hutněná při teplotě 155 °C a 2 × 50 úderech, mezerovitosti 3,56 % dosáhla tělesa hutněná při teplotě 155 °C a 2 × 50 úderech, naopak nejnižší průměrnou mezerovitost 3,38 % vykazovala tělesa hutněná při teplotě 145 °C a 2 × 50 úderech viz. Graf 3 - Mezerovitost ACP v závislosti na teplotě při hutnění MT



Graf 3 - Mezerovitost ACP v závislosti na teplotě při hutnění MT

7.1.3 Obsah rozpustného pojiva

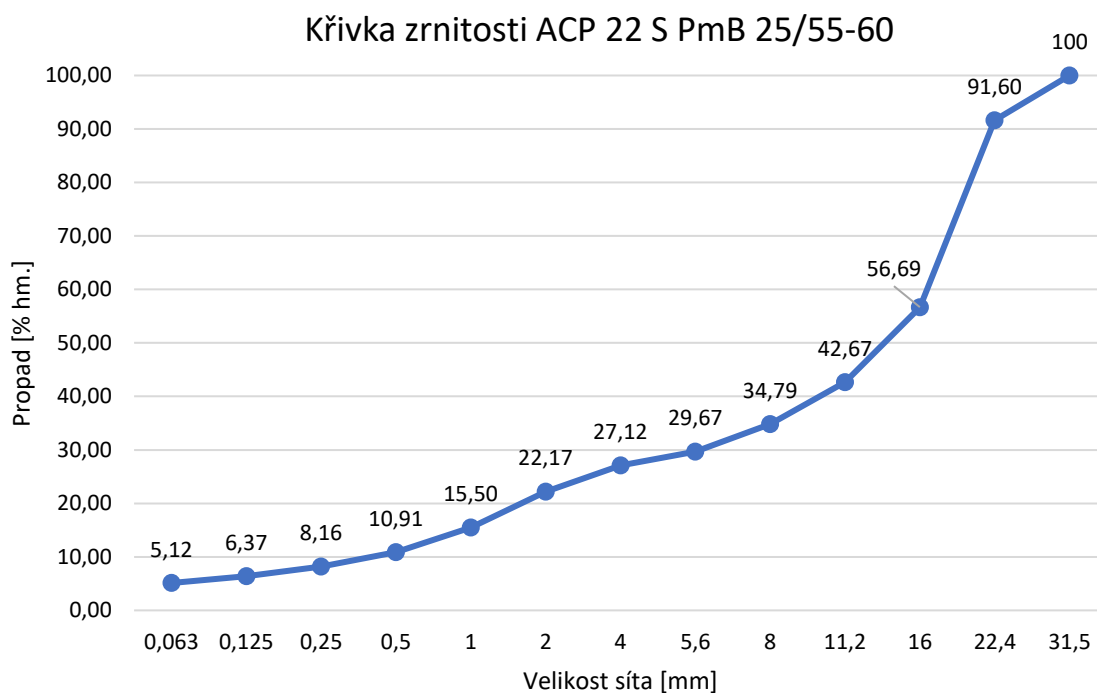
Po provedené extrakci byl dle postupu popsaného v předchozí kapitole stanoven obsah rozpustného pojiva ve směsi ACP. Zjištěné množství je 3,21 % hm, oproti zkoušce typu se liší o 0,69 % hm viz. Tabulka 13 - Obsah rozpustného pojiva ACP.

Tabulka 13 - Obsah rozpustného pojiva ACP

m prázdná patrona	548,2	g
m plná patrona	598,2	g
m jemné	50	g
hmotnost asf. směsi	1031,3	g
hmotnost kameniva	998,2	g
obsah pojiva	3,21	% hm

7.1.4 Zrnitost

Zrnitost byla stanovena na kamenivu z asfaltové směsi, které bylo odděleno od pojiva v extraktoru, zkouška byla provedena na sítích dle předepsané normy. Přesné hodnoty propadů na sítích jsou popsány v příloze 10.1, Tabulka 23 - Zrnitostní složení kameniva a fileru ACP.



Graf 4 - Křivka zrnitosti směsi ACP

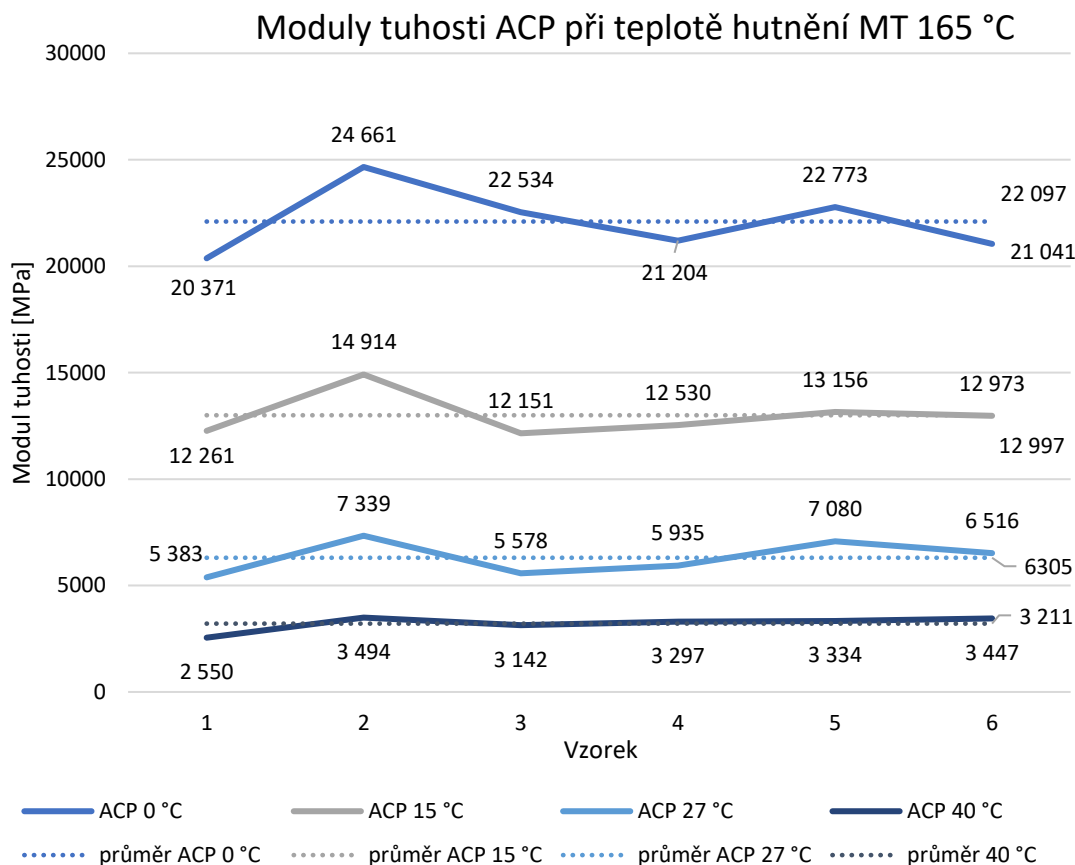
7.1.5 Moduly tuhosti

Moduly tuhosti byly měřeny při teplotách 0 °C, 15 °C, 27 °C, 40 °C na tělesech získaných při různých teplotách při hutnění 165 °C, 155 °C, 145 °C zkouškou v příčném tahu metodou IT-CY. Viskozita asfaltového pojiva se při zvyšování zkušební teploty snižovala, což zapříčinilo snižování naměřených modulů tuhosti.

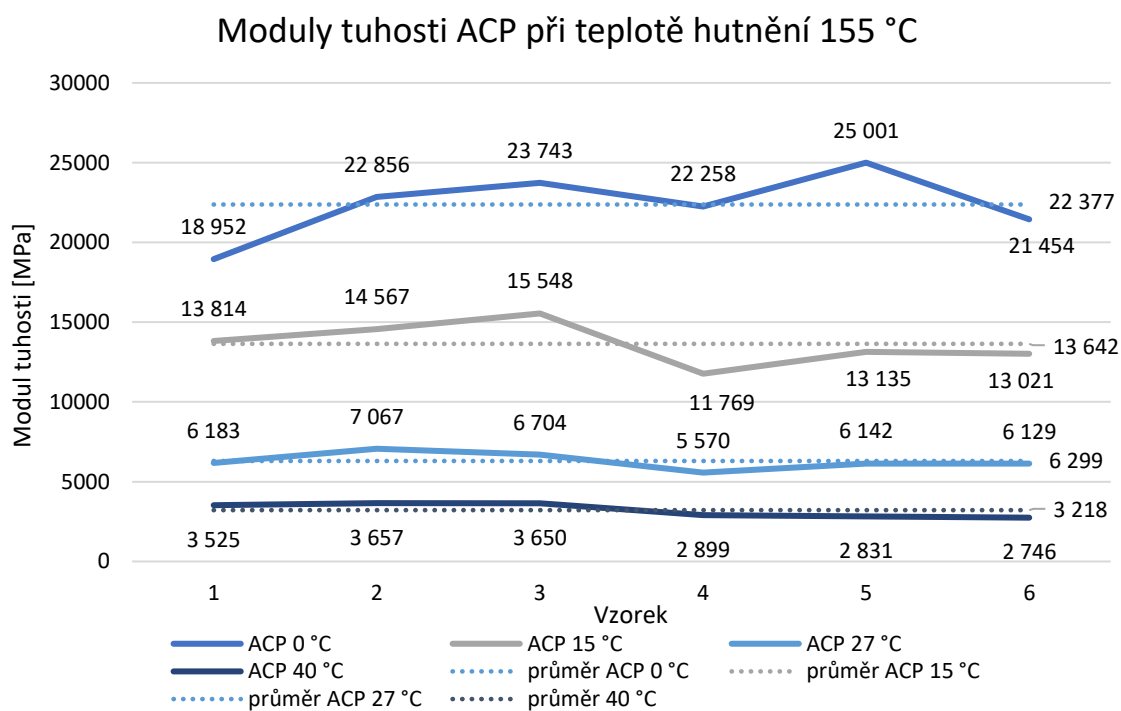
Nejvyšších průměrných modulů tuhostí dosáhly Marshallova tělesa hutněná při 155 °C 2 × 50 úderech, při teplotě 0 °C 22 377 MPa, při 15 °C 13 642 MPa, při 27 °C 6 298 MPa a při 40 °C 3 217 MPa viz. Graf 6 - Moduly tuhosti ACP při teplotě hutnění MT 155 °C.

Tělesa hutněná při 165 °C a 2 × 50 úderech dosáhla průměrného modulu tuhosti při 0 °C 22 097 MPa, při 15 °C 12 997 MPa, při 27 °C 6 305 MPa a při 40 °C 3 210 MPa viz. Graf 5 - Moduly tuhosti ACP při teplotě hutnění MT 165 °C.

Tělesa hutněná 145 °C a 2 × 50 úderech dosáhla průměrného modulu tuhosti při 0 °C 22 314 MPa, při 15 °C 12 416 MPa, při 27 °C 6 004 MPa a při 40 °C 2 550 MPa viz. Graf 7 - Moduly tuhosti ACP při teplotě hutnění MT 145 °C.

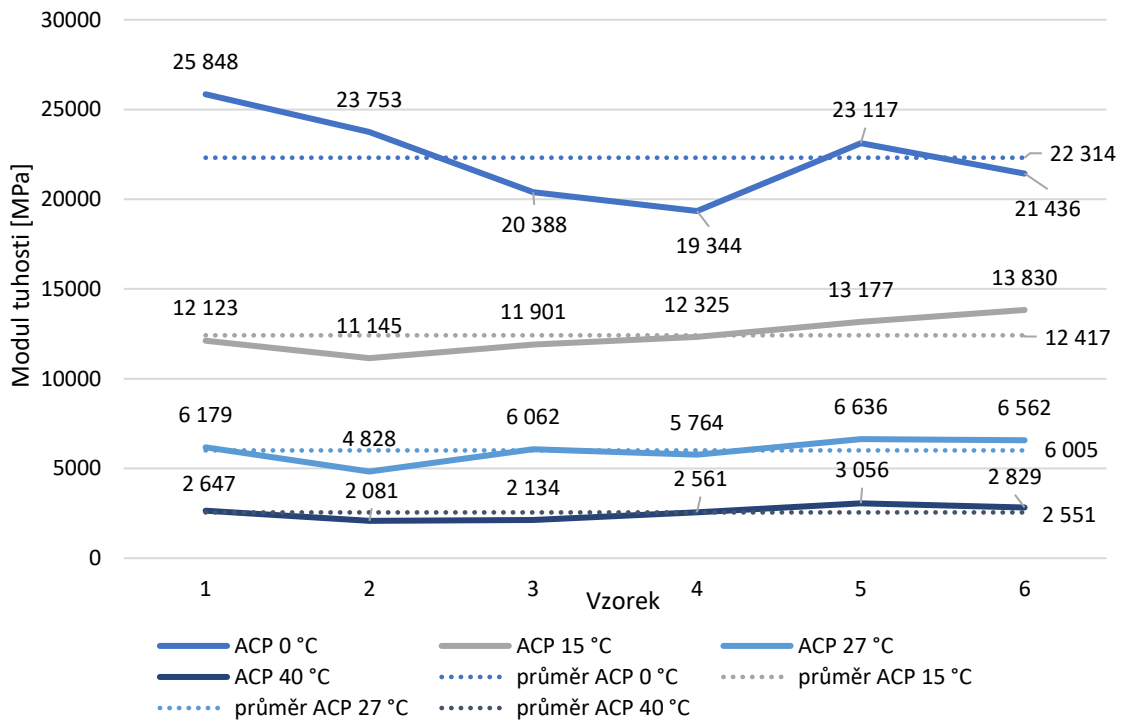


Graf 5 - Moduly tuhosti ACP při teplotě hutnění MT 165 °C



Graf 6 - Moduly tuhosti ACP při teplotě hutnění MT 155 °C

Moduly tuhosti ACP při teplotě hutnění 145 °C



Graf 7 - Moduly tuhosti ACP při teplotě hutnění MT 145 °C

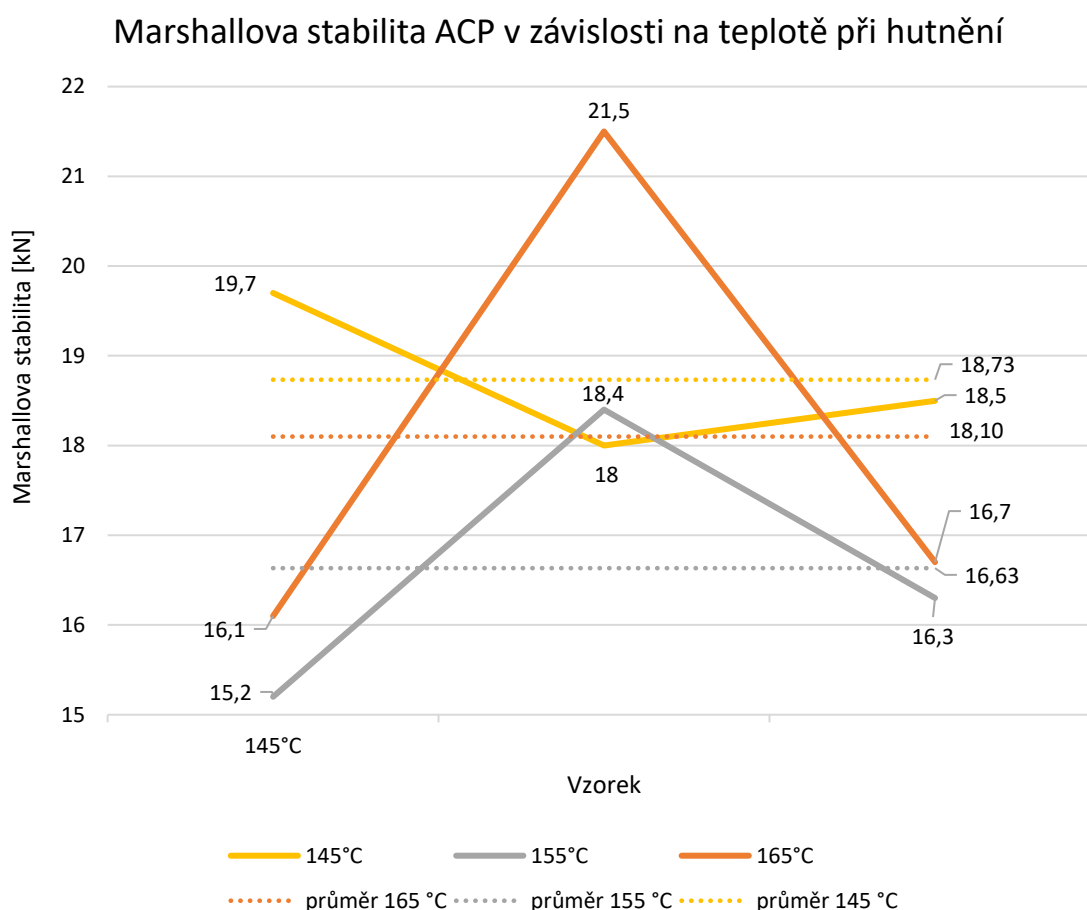
7.1.6 Marshallova zkouška

Marshallova zkouška pro zjištění Marshallovy stability probíhala po měření modulů tuhosti a prováděla se na třech vzorcích z každé sady ze směsi ACP.

Nejvyšší průměrnou hodnotu 18,73 kN Marshallovy stability vykazovala tělesa hutněná při teplotě 145 °C a 2 × 50 úderech.

Tělesa hutněná při 165 °C a 2 × 50 úderech dosáhla průměrné stability 18,10 kN.

Nejnižší stability 16,63 kN dosáhla tělesa hutněná při teplotě 145 °C a 2 × 50 úderech. Výsledky viz. Graf 8 - Marshallova stabilita ACP v závislosti na teplotě při hutnění.



Graf 8 - Marshallova stabilita ACP v závislosti na teplotě při hutnění

7.2 ACL

7.2.1 Objemové hmotnosti

Dle popsaných metod byly v této práci stanoveny pro směs ACL a vývrtky ze směsi ACL objemové hmotnosti SSD, objemové hmotnosti dle rozměrů a maximální objemová hmotnost.

Nejvyšší průměrné objemové hmotnosti $2,57 \text{ Mg/m}^3$ bylo dosaženo při teplotě hutnění $165 \text{ }^\circ\text{C}$ a 2×75 úderech.

Při teplotě hutnění $165 \text{ }^\circ\text{C}$ a 2×65 úderech dosáhla průměrná objemová hmotnost $2,55 \text{ Mg/m}^3$.

Nejnižší průměrné objemové hmotnosti $2,52 \text{ Mg/m}^3$ dosáhla tělesa hutněná při $165 \text{ }^\circ\text{C}$ a 2×50 úderech. Výsledky viz. Graf 9 - Závislost obj. hmotností ACL na počtu úderů při hutnění MT při teplotě

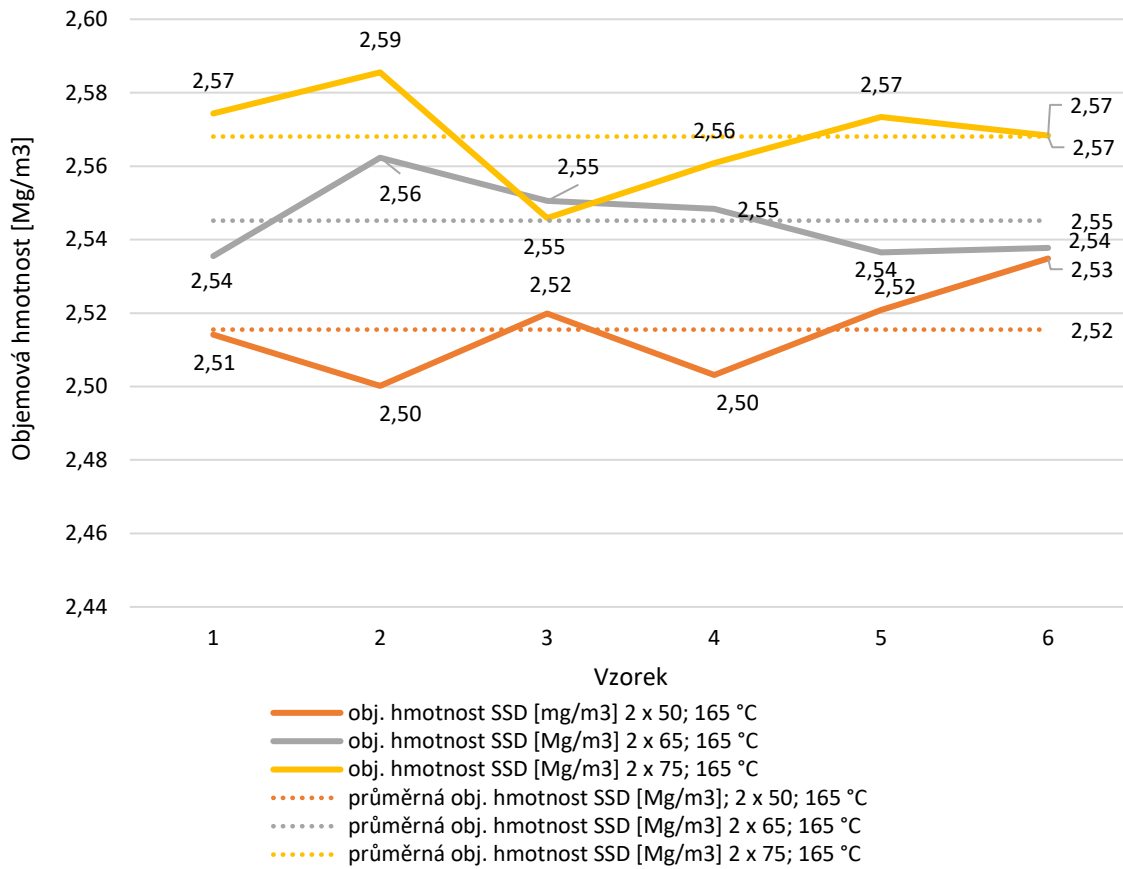
$165 \text{ }^\circ\text{C}$.

Oproti směsi ACP je pro hutnění nejvýhodnější teplota $165 \text{ }^\circ\text{C}$ a nejméně výhodná $145 \text{ }^\circ\text{C}$.

Dosažená míra zhutnění, při níž byla porovnána objemová hmotnost SSD vývrtů a MT hutněných při teplotě $165 \text{ }^\circ\text{C}$ 2×75 úderech byla průměrně $100,6$ viz. Tabulka 24 - Vlastnosti vývrtů ACL.

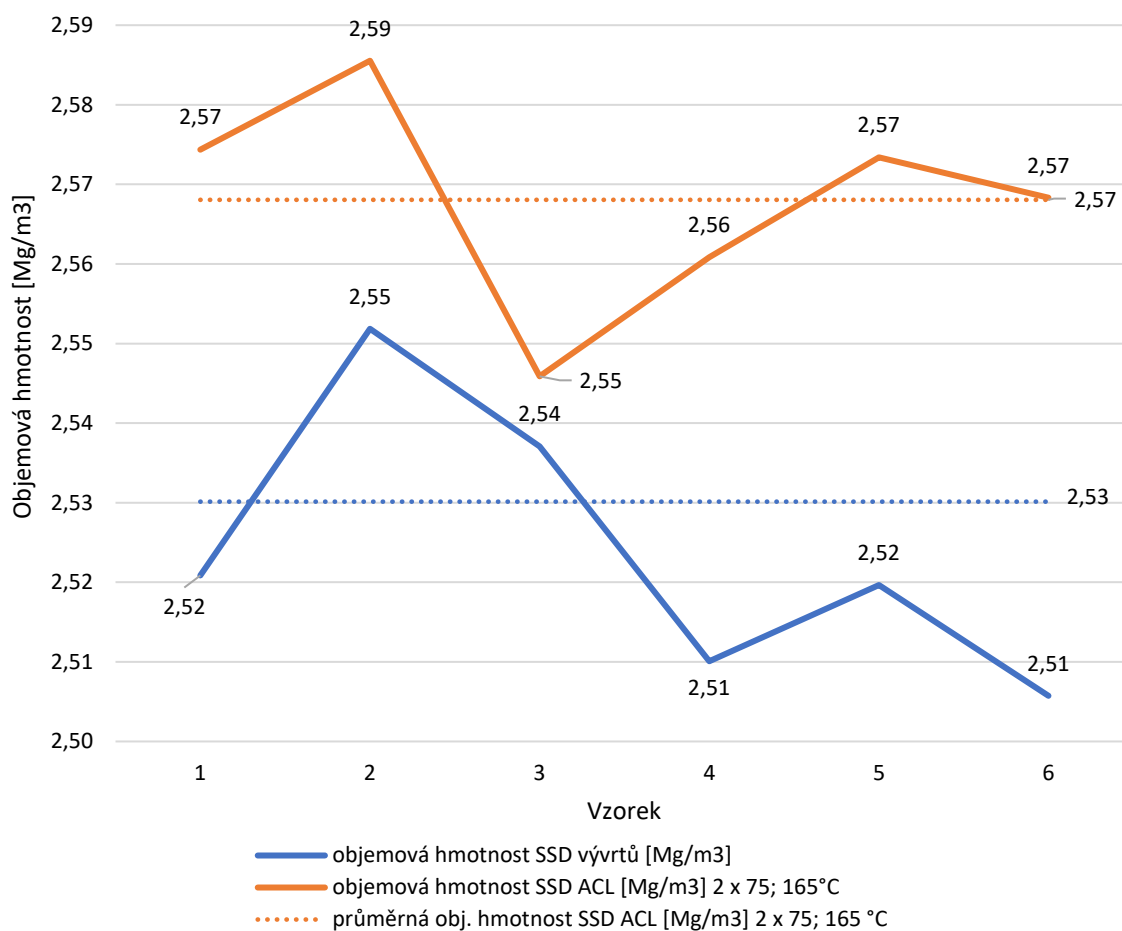
Maximální objemová hmotnost byla stanovena dle příslušné normy pyknometricky a její hodnota je $2,68 \text{ kg/m}^3$ viz. Tabulka 14 - Maximální objemová hmotnost ACL.

Graf objemových hmotností ACL dle počtů úderů na MT při teplotě 165 °C



Graf 9 - Závislost obj. hmotností ACL na počtu úderů při hutnění MT při teplotě 165 °C

ACL - porovnání objemových hmotností MT a vývrtů



Graf 10 - ACL-porovnání objemových hmotností MT a vývrtů ACL

Tabulka 14 - Maximální objemová hmotnost ACL

max. obj. hmotnost	2,68	Mg/m³
m ₁ (pyknometr)	696,5	g
m ₂ (pyknometr + vzorek)	1365,8	g
m ₃ (pyknometr + vzorek + voda)	2431,2	g
V _p (obj. pyknometr + nástavec)	0,0013166	m ³
ρ _{vody}	1	Mg/m ³
m _{vzorek}	669,3	g

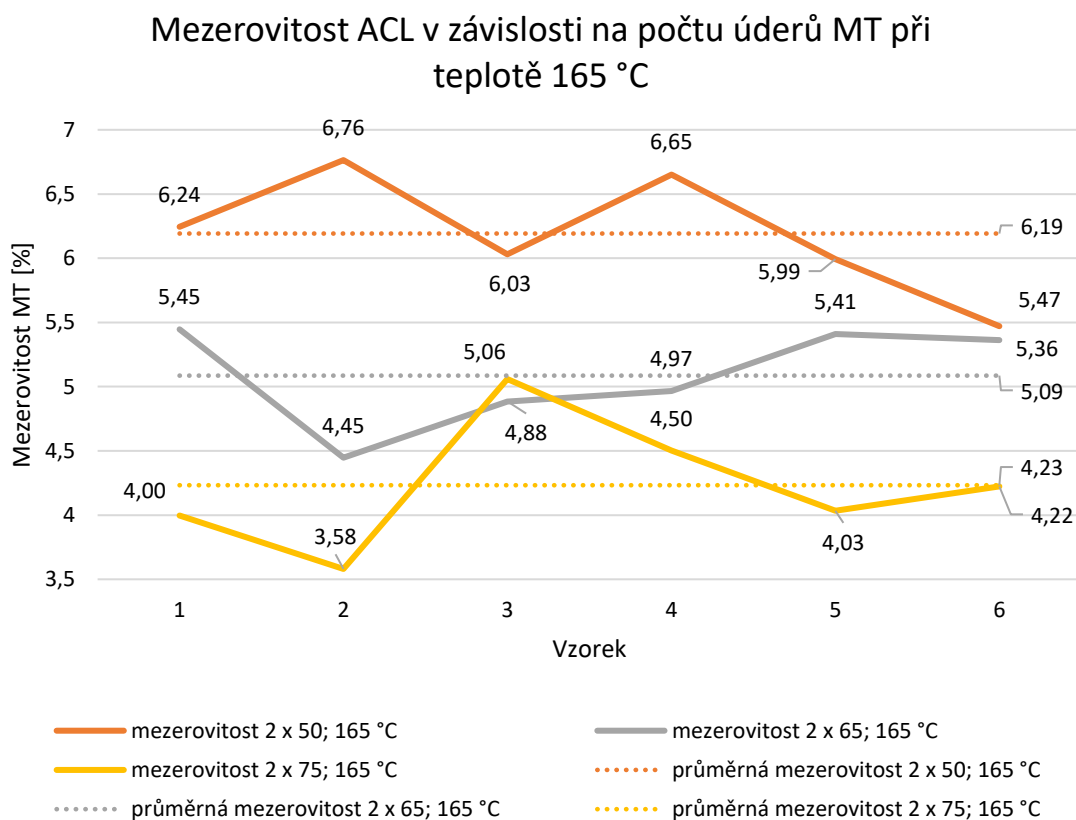
7.2.2 Mezerovitost

Ze získaných objemových hmotností SSD a maximální objemové hmotnosti byla dle ČSN EN 12697–8 stanovena mezerovitost. Hodnoty byly stanoveny pro vývrty odebrané z vozovky a pro Marshallova tělesa.

Nejvyšší průměrnou mezerovitost 6,19 % vykazovala Marshallova tělesa hutněná při 165 °C a 2 × 50 úderech.

Tělesa hutněná při 165 °C a 2 × 65 úderech dosáhla průměrné mezerovitosti 5,09 %.

Nejnižší průměrné mezerovitosti 4,23 % dosáhla tělesa hutněná při 165 °C a 2 × 75 úderech. Výsledky viz. Graf 11 - Mezerovitost ACL v závislosti na počtu úderů MT při teplotě 165 °C.



Graf 11 - Mezerovitost ACL v závislosti na počtu úderů MT při teplotě 165 °C

7.2.3 Obsah rozpustného pojiva

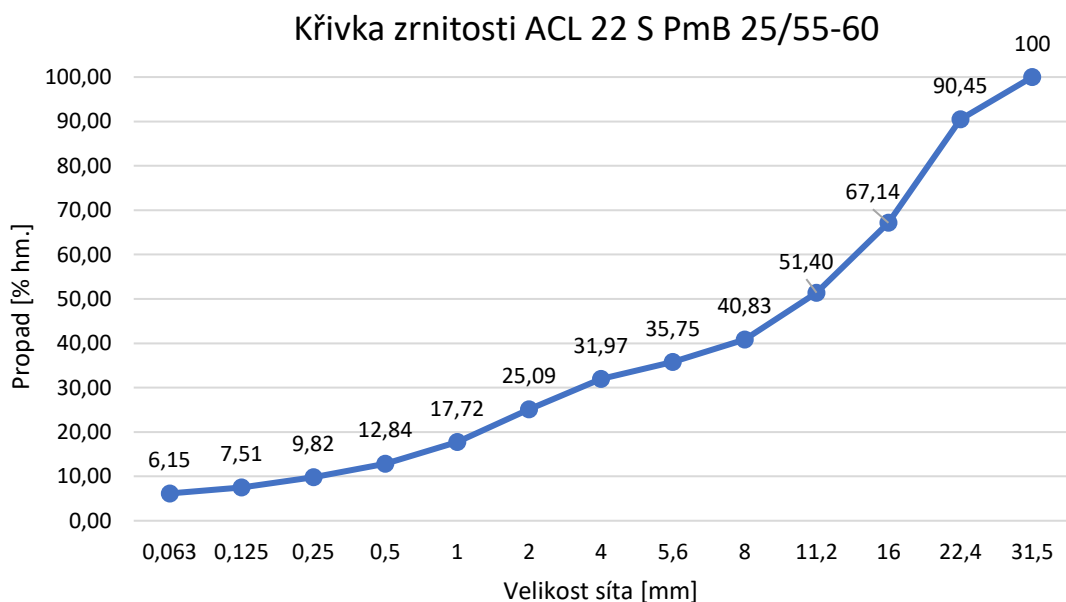
Po provedené extrakci byl dle postupu popsaného v předchozí kapitole stanoven obsah rozpustného pojiva ve směsi ACL. Oproti zkoušce typu se liší o 0,48 % hm viz. Tabulka 15 - Obsah rozpustného pojiva ACL.

Tabulka 15 - Obsah rozpustného pojiva ACL

m prázdná patrona	527,3	g
m plná patrona	585,9	g
m jemné	58,6	g
hmotnost asf. směsi	1000,4	g
hmotnost kameniva	964,2	g
obsah pojiva	3,62	% hm

7.2.4 Zrnitost

Zrnitost byla stanovena na kamenivu z asfaltové směsi ACL, které bylo odděleno od pojiva v extraktoru, zkouška byla provedena na sítích dle předepsané normy. Přesné hodnoty propadů na sítích jsou popsány v příloze 10.2, Tabulka 28 - Zrnitostní složení kameniva a fileru ACL.



Graf 12 - Křivka zrnitosti ACL

7.2.5 Moduly tuhosti

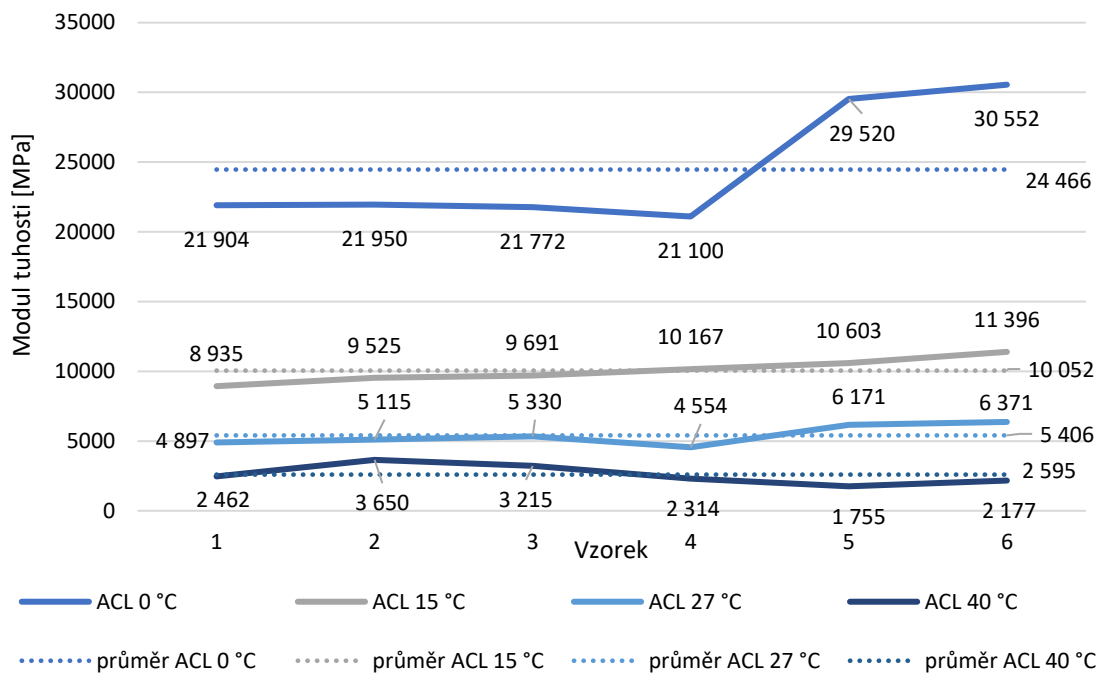
Moduly tuhosti byly měřeny při teplotách 0 °C, 15 °C, 27 °C, 40 °C na tělesech získaných při teplotě hutnění 165 °C a 2 × 50, 2 × 65 a 2 × 75 úderech zkouškou v příčném tahu metodou IT-CY. Viskozita asfaltového pojiva se při zvyšování zkušební teploty snižovala, což je důvodem snižování naměřených modulů tuhosti.

Nejvyšší průměrné moduly tuhosti vykazovala Marshallova tělesa hutněná při 165 °C a 2 × 75 úderech, při teplotě 0 °C 25 622 MPa, při 15 °C 12 975 MPa, při 27 °C 6 820 MPa a při 40 °C 4 822 MPa viz. Graf 15 - Moduly tuhosti ACL při teplotě hutnění MT 165 °C a 2 × 75 úderech.

Při teplotě hutnění 165 °C a 2 × 65 úderech dosáhla tělesa průměrného modulu tuhosti při 0 °C 25 176 MPa, při 15 °C 11 276 MPa, při 27 °C 5 819 MPa a při 40 °C 2 384 MPa viz. Graf 14 - Moduly tuhosti ACL při teplotě hutnění MT 165 °C a 2 × 65 úderech.

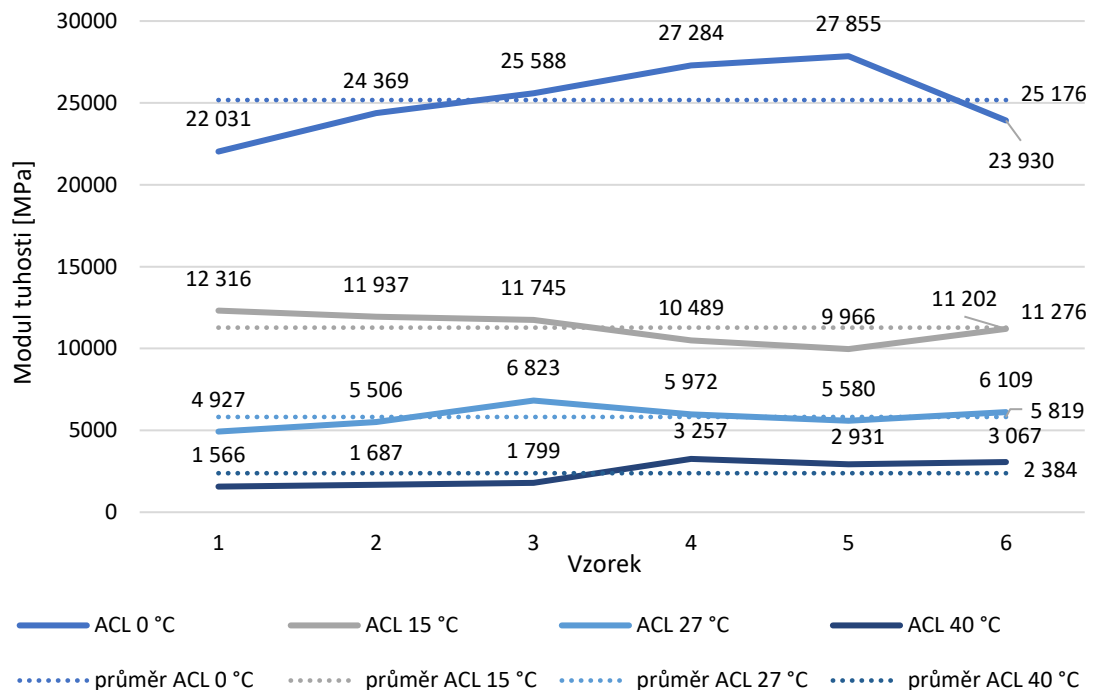
Nejnižší průměrné moduly tuhosti vykazovala Marshallova tělesa hutněná při 165 °C a 2 × 50 úderech, při teplotě 0 °C 24 466 MPa, při 15 °C 10 052 MPa, při 27 °C 5 406 MPa a při 40 °C 2 595 MPa viz. Graf 13 - Moduly tuhosti ACL při teplotě hutnění MT 165 °C a 2 × 50 úderech.

Moduly tuhosti ACL při teplotě hutnění 165 °C a 2 × 50 úderech

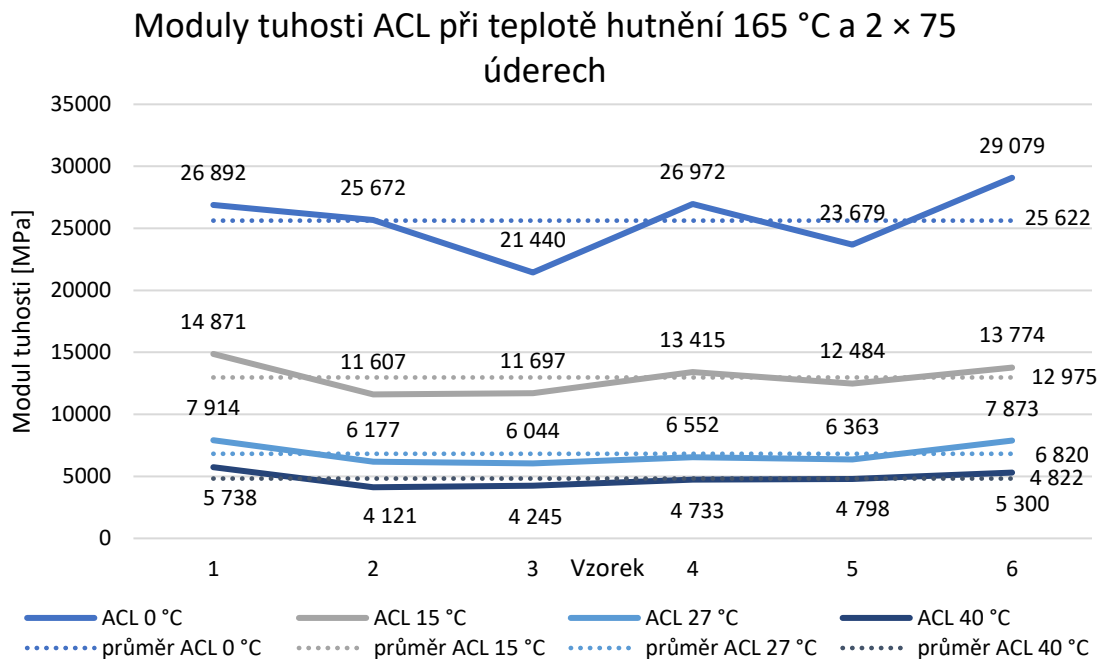


Graf 13 - Moduly tuhosti ACL při teplotě hutnění MT 165 °C a 2 × 50 úderech

Moduly tuhosti ACL při teplotě hutnění 165 °C a 2 × 65 úderech



Graf 14 - Moduly tuhosti ACL při teplotě hutnění MT 165 °C a 2 × 65 úderech



Graf 15 - Moduly tuhosti ACL při teplotě hutnění MT 165 °C a 2 × 75 úderech

7.2.6 Marshallova zkouška

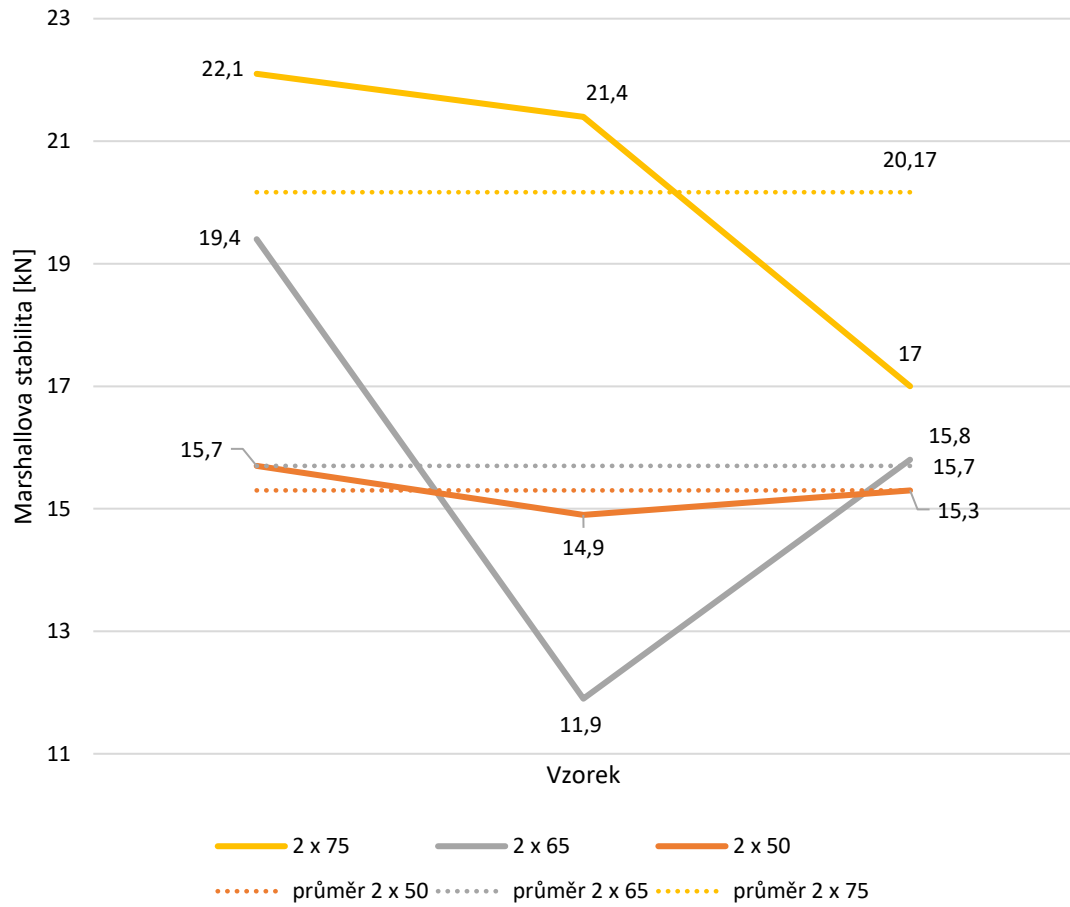
Marshallova zkouška pro zjištění Marshallovy stability probíhala po měření modulů tuhosti a prováděla se na třech vzorcích z každé sady ze směsi ACL.

Nejvyšší průměrnou hodnotu 20,17 kN Marshallovy stability vykazovala tělesa hutněná při teplotě 165 °C a 2 × 75 úderech.

Průměrné hodnoty stability 15,70 kN dosáhla tělesa hutněná při 2 × 65 úderech a teplotě 165 °C.

Nejnižší stability 15,30 kN dosáhla tělesa hutněná při 165 °C a 2 × 50 úderech. Výsledky viz. Graf 16 - Marshallova stabilita ACL v závislosti na počtu úderů při teplotě 165 °C.

Marshallova stabilita ACL v závislosti na počtu úderů při teplotě 165 °C



Graf 16 - Marshallova stabilita ACL v závislosti na počtu úderů při teplotě 165 °C

7.3 SMA

7.3.1 Objemové hmotnosti

Dle popsaných metod byly v této práci stanoveny pro směs SMA a vývrtky ze směsi SMA objemové hmotnosti SSD, objemové hmotnosti dle rozměrů a maximální objemová hmotnost.

Nejvyšší průměrné objemové hmotnosti $2,52 \text{ Mg/m}^3$ bylo dosaženo při teplotě hutnění $165 \text{ }^\circ\text{C}$ a 2×50 úderech, výsledky viz. Graf 17 - Graf závislosti objemových hmotností SMA na počtu úderů při hutnění MT při teplotě $165 \text{ }^\circ\text{C}$.

Při teplotě hutnění $165 \text{ }^\circ\text{C}$ a 2×40 úderech dosáhla průměrná objemová hmotnost $2,49 \text{ Mg/m}^3$, výsledky viz. Graf 17 - Graf závislosti objemových hmotností SMA na počtu úderů při hutnění MT při teplotě $165 \text{ }^\circ\text{C}$.

Při teplotě hutnění $155 \text{ }^\circ\text{C}$ a 2×50 úderech dosáhla tělesa nejnižší průměrné objemové hmotnosti $2,46 \text{ Mg/m}^3$, výsledky viz. Graf 18 - Graf závislosti objemových hmotností SMA na počtu úderů při hutnění MT při teplotě $155 \text{ }^\circ\text{C}$.

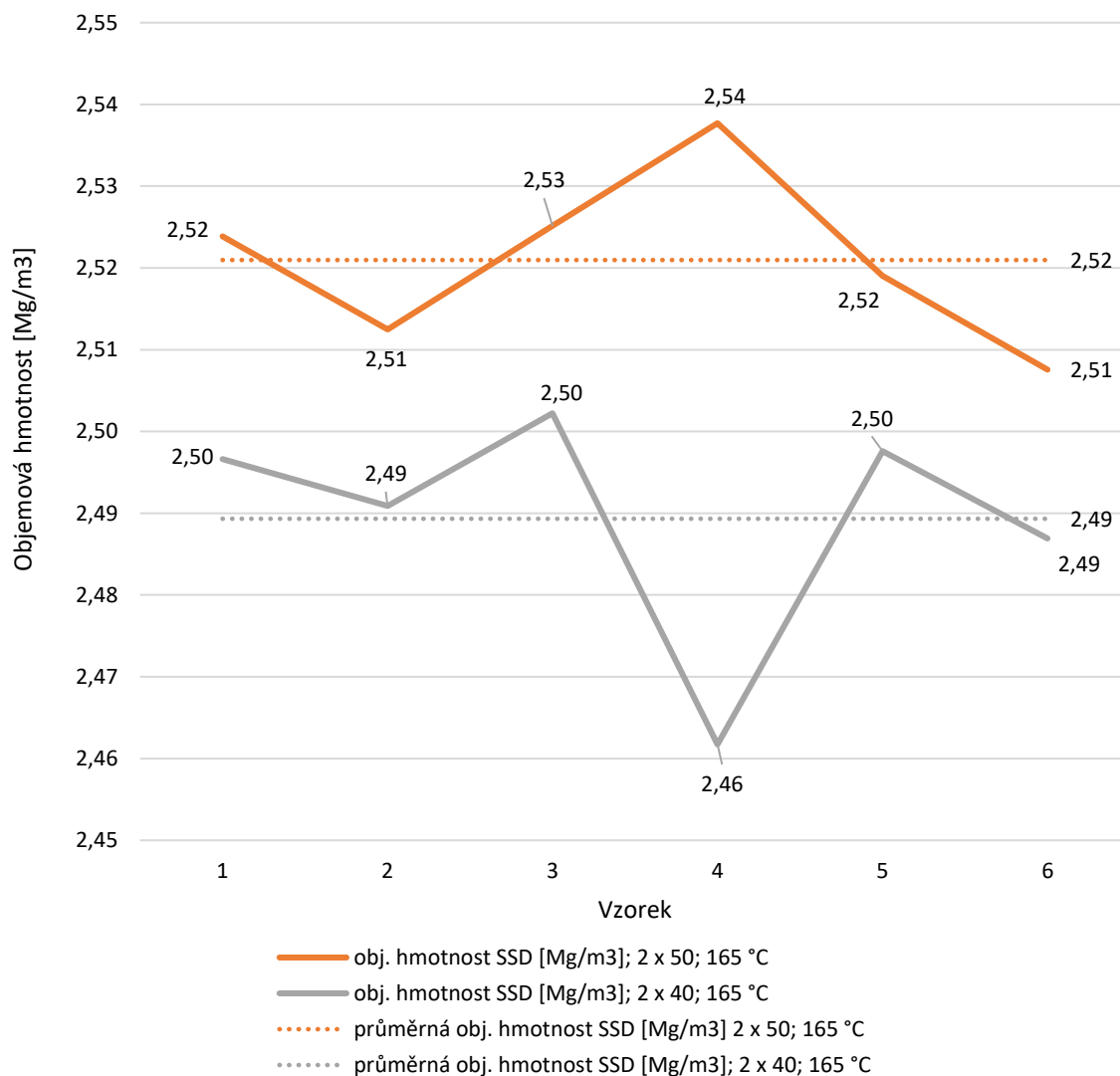
Při teplotě hutnění $155 \text{ }^\circ\text{C}$ a 2×40 úderech dosáhla průměrná objemová hmotnost $2,46 \text{ Mg/m}^3$, výsledky viz. Graf 18 - Graf závislosti objemových hmotností SMA na počtu úderů při hutnění MT při teplotě $155 \text{ }^\circ\text{C}$.

Stejně jako u směsi ACL je pro hutnění nejvýhodnější teplota $165 \text{ }^\circ\text{C}$ při hutnicí energii 2×50 a naopak nejméně výhodná teplota pro hutnění $155 \text{ }^\circ\text{C}$ při 2×40 úderech.

Dosažená míra zhutnění, při níž byla porovnána objemová hmotnost SSD vývrtů a MT hutněných při teplotě $165 \text{ }^\circ\text{C}$ 2×50 úderech byla průměrně $98,6 \%$ viz. Tabulka 29 - Vlastnosti vývrtů SMA.

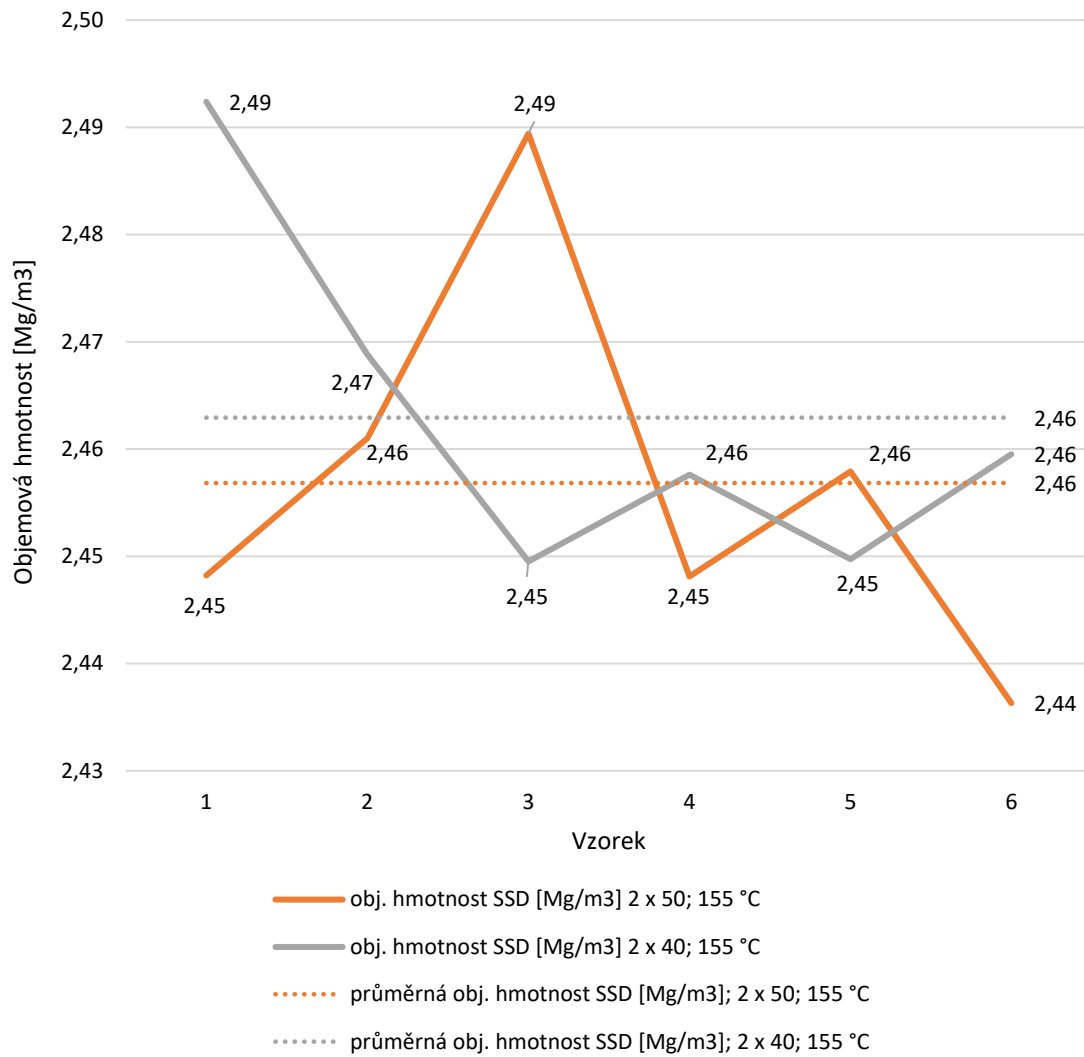
Maximální objemová hmotnost byla stanovena dle příslušné normy pyknometricky a její hodnota je $2,68 \text{ Mg/m}^3$, viz. Tabulka 16 - Maximální objemová hmotnost SMA.

Vliv počtu úderů na obj. hmotnost SMA při 165°C



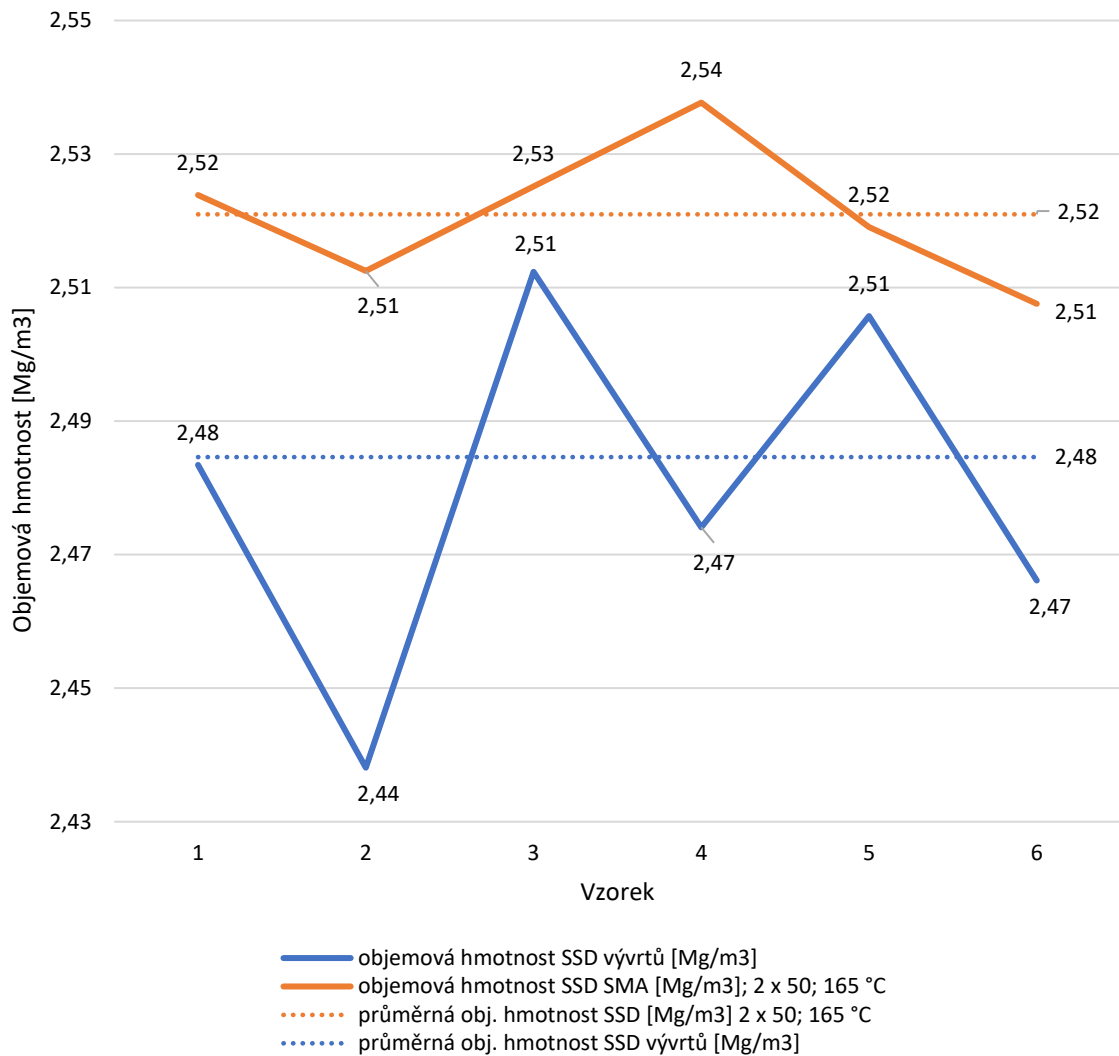
Graf 17 - Graf závislosti objemových hmotností SMA na počtu úderů při hutnění MT při teplotě 165 °C

Vliv počtu úderů na obj. hmotnost SMA při 155°C



Graf 18 - Graf závislosti objemových hmotností SMA na počtu úderů při hutnění MT při teplotě 155 °C

SMA - Porovnání objemových hmotností MT a vývrtů



Graf 19 - SMA-porovnání objemových hmotností MT a vývrtů

Tabulka 16 - Maximální objemová hmotnost SMA

max. obj. hmotnost	2,68	Mg/m ³
m ₁ (pyknometr)	696,5	g
m ₂ (pyknometr + vzorek)	1366,7	g
m ₃ (pyknometr + vzorek + voda)	2431,2	g
V _p (obj. pyknometr + nástavec)	0,0013166	m ³
ρ _{vody}	1,00	Mg/m ³
m _{vzorek}	670,2	g

7.3.2 Mezerovitost

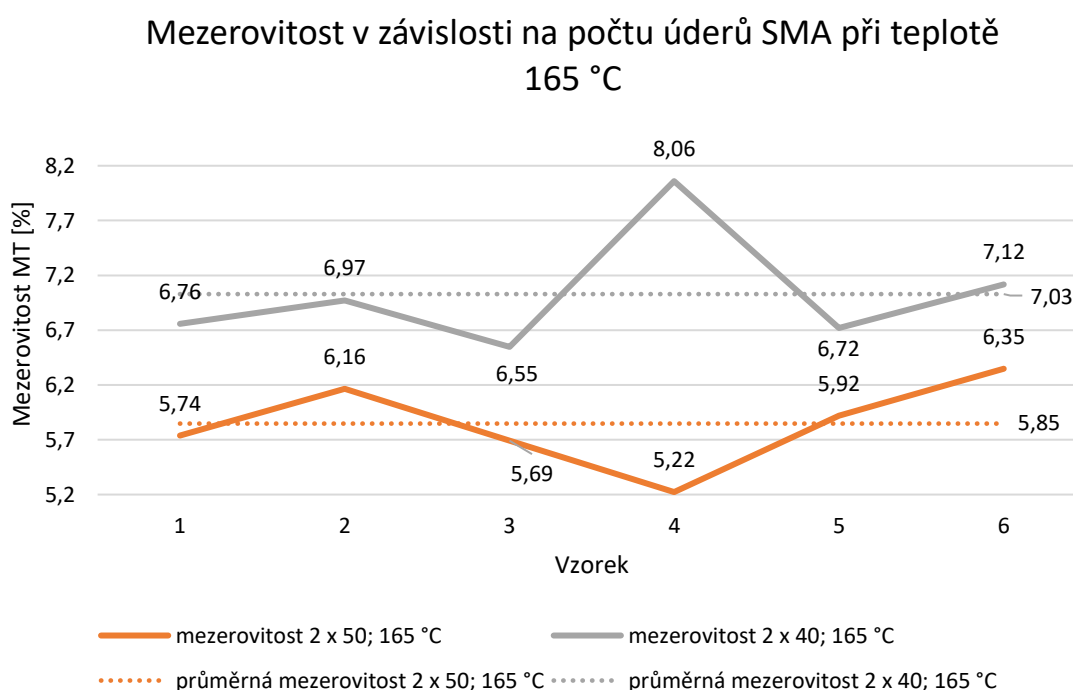
Ze získaných objemových hmotností SSD a maximální objemové hmotnosti byla dle ČSN EN 12697–8 stanovena mezerovitost. Hodnoty byly stanoveny pro vývrty odebrané z vozovky a pro Marshallova tělesa.

Nejvyšší průměrnou mezerovitost 8,24 % vykazovala Marshallova tělesa hutněná při 155 °C a 2 × 50 úderech, výsledky viz. Graf 21 - Mezerovitost SMA v závislosti na počtu úderů MT při teplotě 155 °C.

Následovala tělesa hutněná rovněž při teplotě 155 °C, avšak při 2 × 40 úderech s mezerovitostí 8,02 %, výsledky viz. Graf 21 - Mezerovitost SMA v závislosti na počtu úderů MT při teplotě 155 °C.

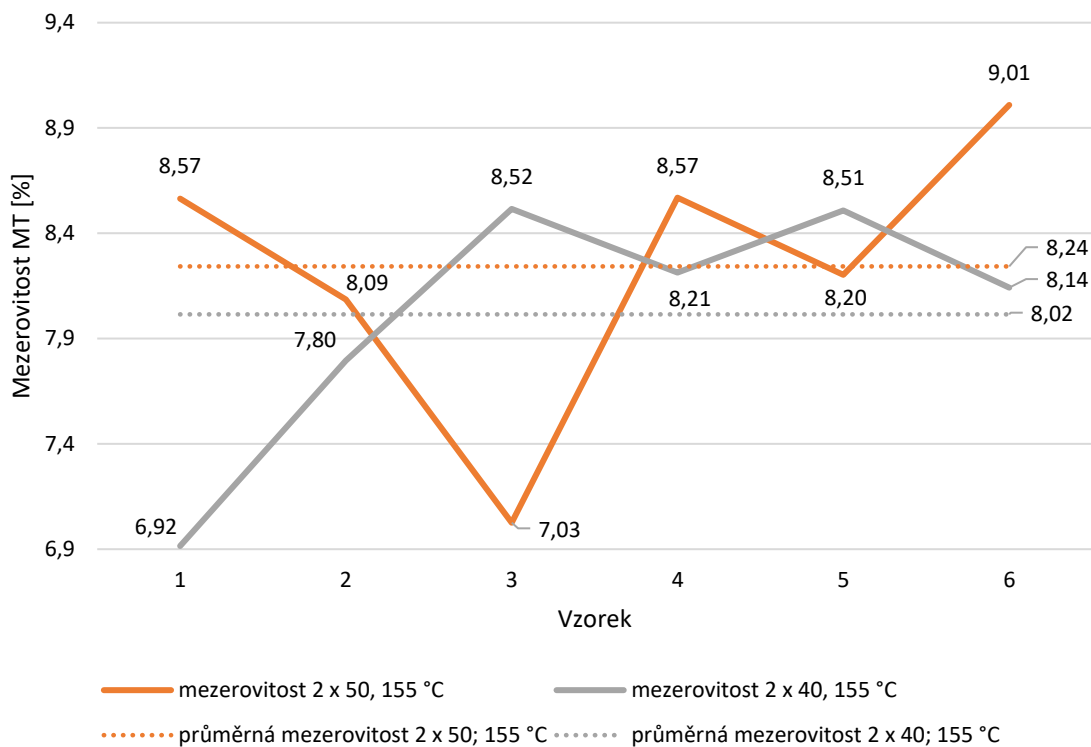
Nejnižších mezerovitostí dosáhla tělesa hutněná při teplotě 165 °C a 2 × 50 úderech 5,85 %, výsledky viz. Graf 20 - Mezerovitost SMA v závislosti na počtu úderů MT při teplotě 165 °C.

Při 165 °C dosáhla a 2 × 40 úderech dosáhla mezerovitost průměrné hodnoty 7,03 %, výsledky viz. Graf 20 - Mezerovitost SMA v závislosti na počtu úderů MT při teplotě 165 °C.



Graf 20 - Mezerovitost SMA v závislosti na počtu úderů MT při teplotě 165 °C

Mezerovitost SMA v závislosti na počtu úderů MT při teplotě 155 °C



Graf 21 - Mezerovitost SMA v závislosti na počtu úderů MT při teplotě 155 °C

7.3.3 Obsah rozpustného pojiva

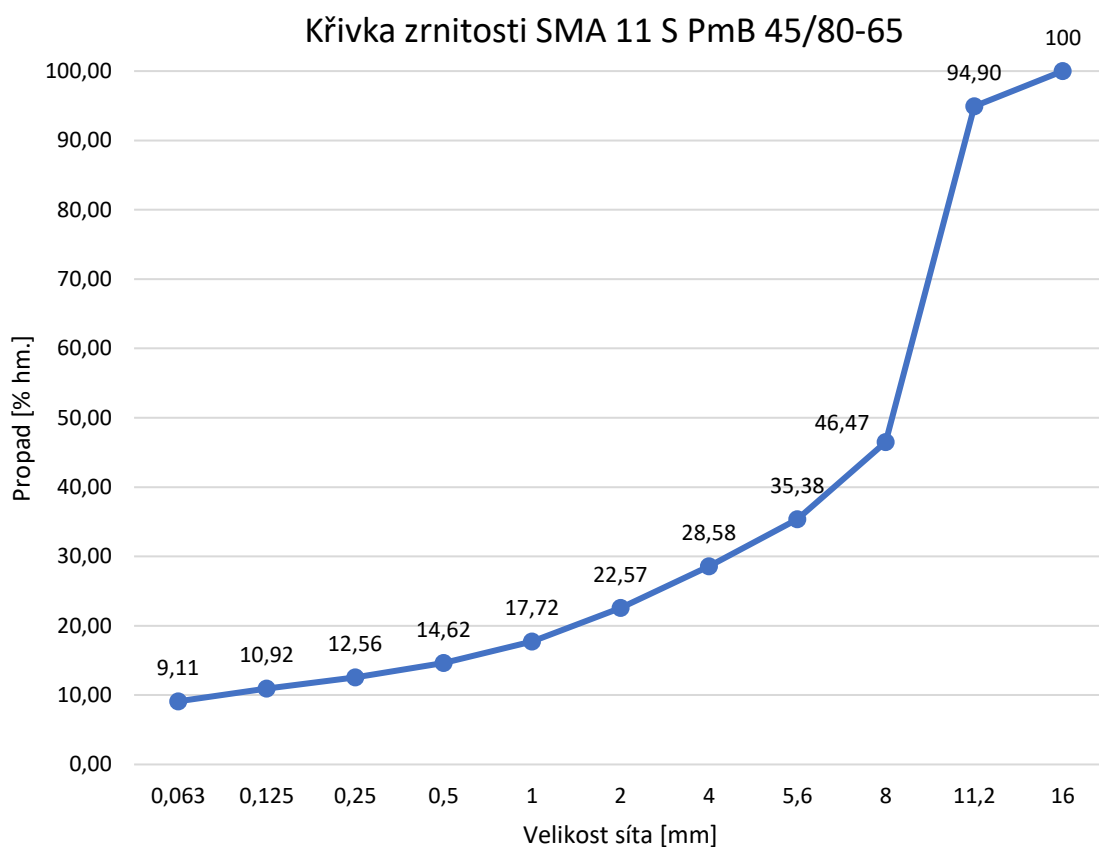
Po provedené extrakci byl dle postupu popsaného v předchozí kapitole stanoven obsah rozpustného pojiva ve směsi SMA. Oproti zkoušce typu se liší o 0,05 % hm, viz. Tabulka 17 - Obsah rozpustného pojiva SMA.

Tabulka 17 - Obsah rozpustného pojiva SMA

m prázdná	568	g
m plná	655,1	g
m jemné	87,1	g
hmotnost asf. směsi	1036,2	g
hmotnost kameniva	973,5	g
obsah pojiva	6,05	% hm

7.3.4 Zrnitost

Zrnitost byla stanovena na kamenivu z asfaltové směsi SMA, které bylo odděleno od pojiva v extraktoru, zkouška byla provedena na sítích dle předepsané normy. Směs typu SMA je typická přerušenou čarou zrnitosti, která je zřejmá z grafu. Přesné hodnoty propadů na sítích jsou popsány v příloze 10.3, Tabulka 34 - Zrnitostní složení kameniva a fileru SMA.



Graf 22 - Křivka zrnitosti SMA

7.3.5 Moduly tuhosti

Moduly tuhosti byly měřeny při teplotách 0 °C, 15 °C, 27 °C, 40 °C na tělesech získaných při teplotách při hutnění 165 °C a 155 °C a 2 × 50 a 2 × 40 úderech zkouškou v příčném tahu metodou IT-CY. Viskozita asfaltového pojiva se při zvyšování zkušební teploty snižovala, což je důvodem snižování naměřených modulů tuhosti.

Nejvyšší průměrné moduly tuhosti vykazovala Marshallova tělesa hutněná při 165 °C a 2 × 50 úderech, při 0 °C 17 403 MPa při 15 °C 5 677 MPa, při 27 °C 2 723 MPa a při 40 °C 1 718 MPa, výsledky viz. Graf 23 - Moduly tuhosti SMA při teplotě hutnění MT 165 °C a 2 x 50 úderech.

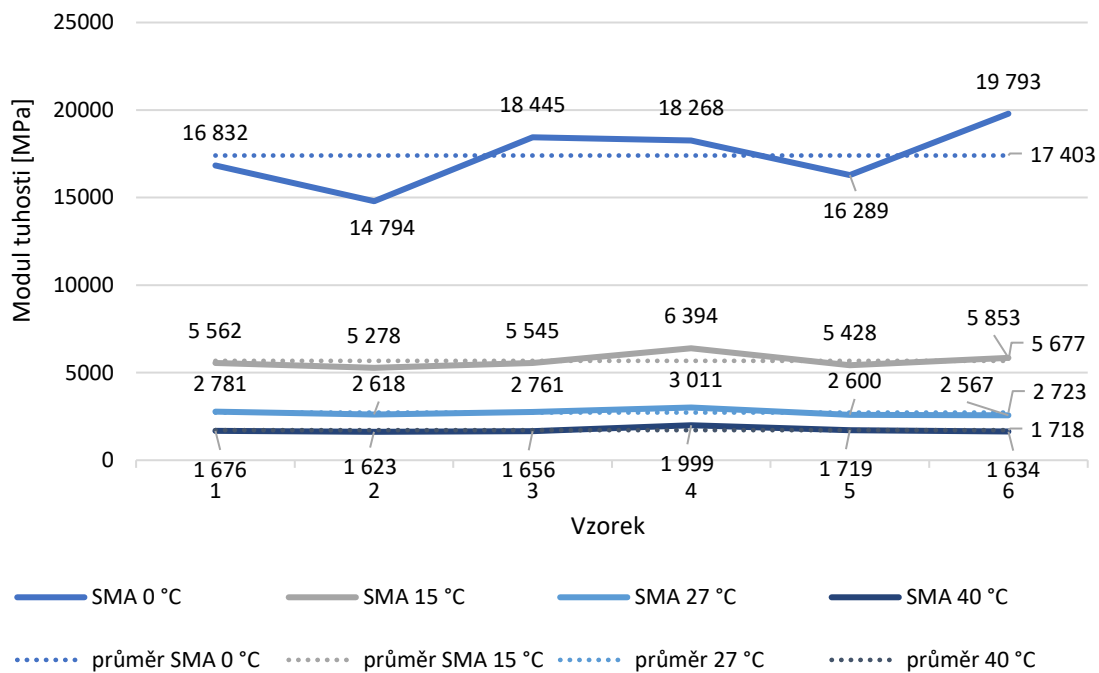
Při teplotě hutnění 165 °C a 2 × 40 úderech dosáhla tělesa průměrného modulu tuhosti při 0 °C 15 964 MPa, při 15 °C 5 392 MPa, při 27 °C 2 348 MPa a při 40 °C 1 606 MPa, výsledky viz. Graf 24 - Moduly tuhosti SMA při teplotě hutnění MT 165 °C a 2 x 40 úderech.

Při teplotě hutnění 155 °C a 2 × 50 úderech dosáhla tělesa průměrného modulu tuhosti při 0 °C 14 468 MPa, při 15 °C 5 950 MPa, při 27 °C 2 737 MPa a při 40 °C 1 705 MPa, výsledky viz. Graf 25 - Moduly tuhosti SMA při teplotě hutnění MT 155 °C a 2 x 50 úderech.

Při teplotě hutnění 155 °C a 2 × 40 úderech dosáhla tělesa průměrného modulu tuhosti při 0 °C 13 285 MPa, při 15 °C 5 613 MPa, při 27 °C 2 662 MPa a při 40 °C 1 983 MPa, výsledky viz. Graf 26 - Moduly tuhosti SMA při teplotě hutnění MT 155 °C a 2 x 40 úderech.

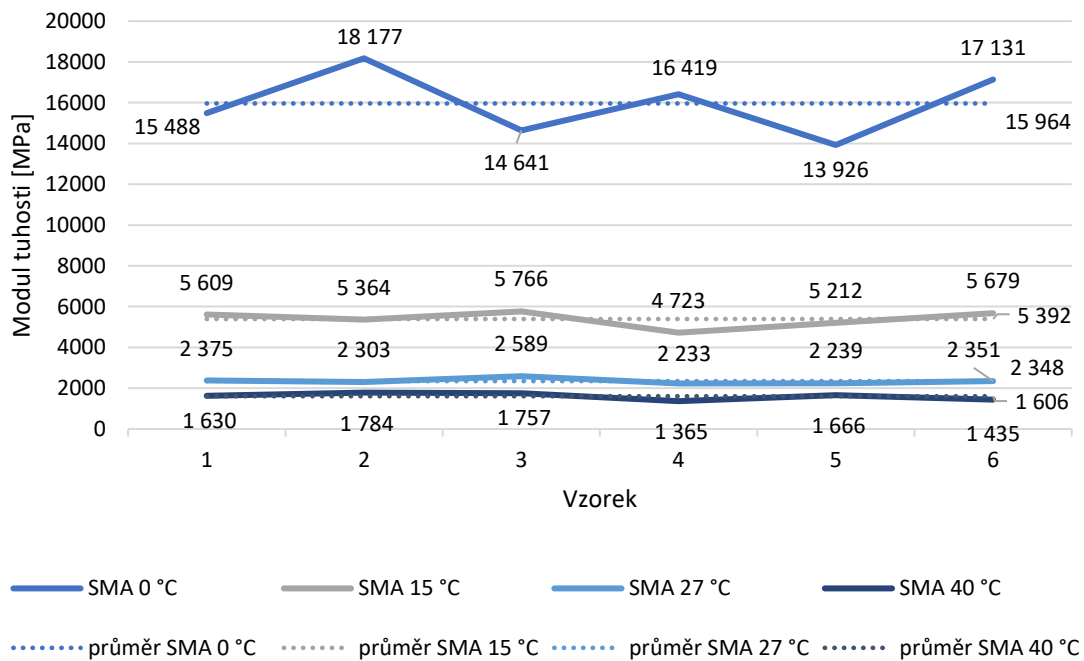
Dle naměřených hodnot je dosaženo vyšších modulů tuhosti při vyšší teplotě při hutnění a větší hutnící energii.

Moduly tuhosti SMA při teplotě hutnění 165 °C a 2 x 50 úderech



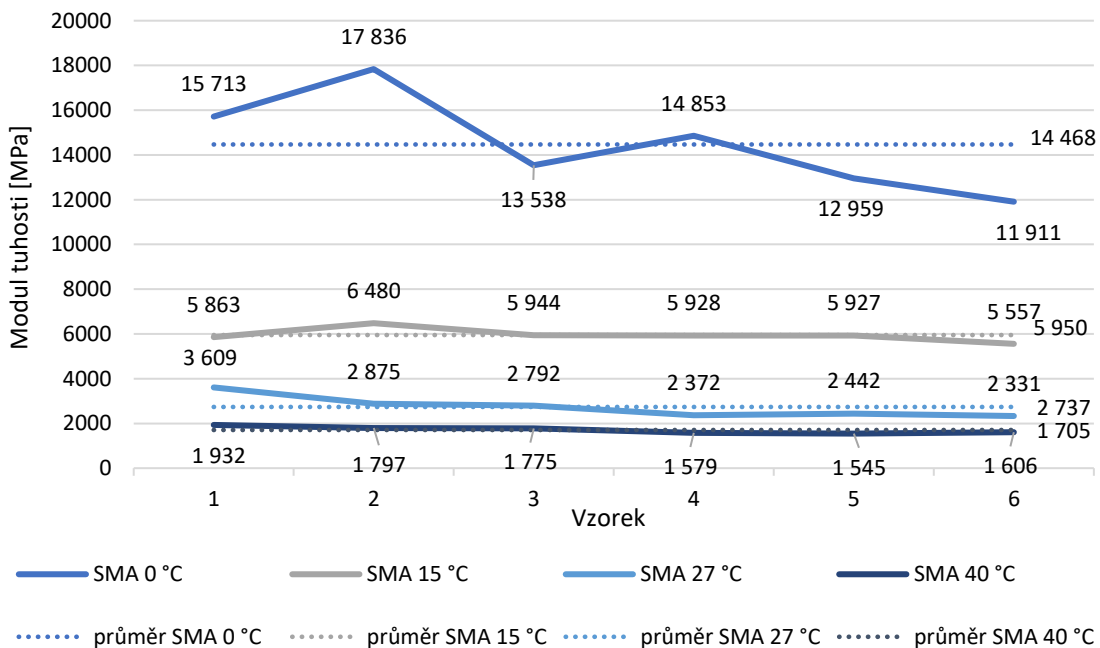
Graf 23 - Moduly tuhosti SMA při teplotě hutnění MT 165 °C a 2 x 50 úderech

Moduly tuhosti SMA při teplotě hutnění 165 °C a 2 x 40 úderech



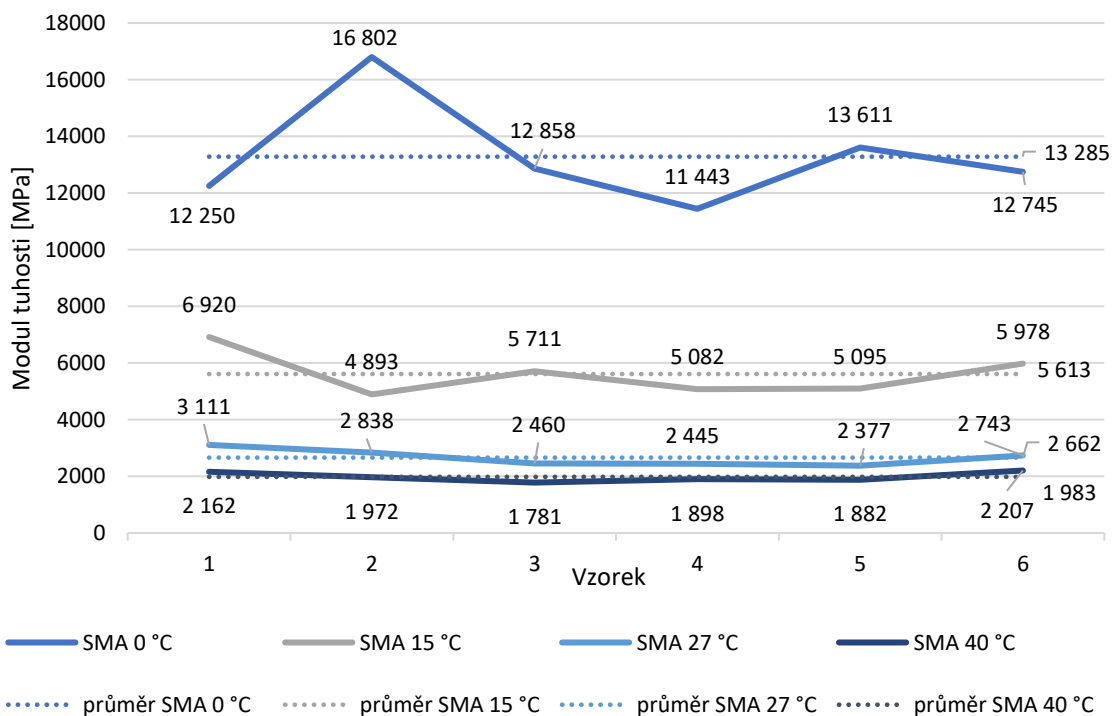
Graf 24 - Moduly tuhosti SMA při teplotě hutnění MT 165 °C a 2 x 40 úderech

Moduly tuhosti SMA při teplotě hutnění 155 °C a 2 x 50 úderech



Graf 25 - Moduly tuhosti SMA při teplotě hutnění MT 155 °C a 2 x 50 úderech

Moduly tuhosti SMA při teplotě hutnění 155 °C a 2 x 40 úderech



Graf 26 - Moduly tuhosti SMA při teplotě hutnění MT 155 °C a 2 x 40 úderech

7.3.6 Marshallova zkouška

Marshallova zkouška pro zjištění Marshallovy stability probíhala po měření modulů tuhosti a prováděla se na třech vzorcích z každé sady ze směsi SMA.

Nejvyšší hodnotu 10,50 kN Marshallovy stability vykazovala tělesa hutněná při teplotě 165 °C a 2 × 50 úderech, výsledky viz. Graf 27 - Marshallova stabilita SMA v závislosti na počtu úderů MT při teplotě

165 °C.

Průměrné stability 9,40 kN dosáhla tělesa hutněná při 165 °C a 2 × 40 úderech, výsledky viz. Graf 27 - Marshallova stabilita SMA v závislosti na počtu úderů MT při teplotě

165 °C.

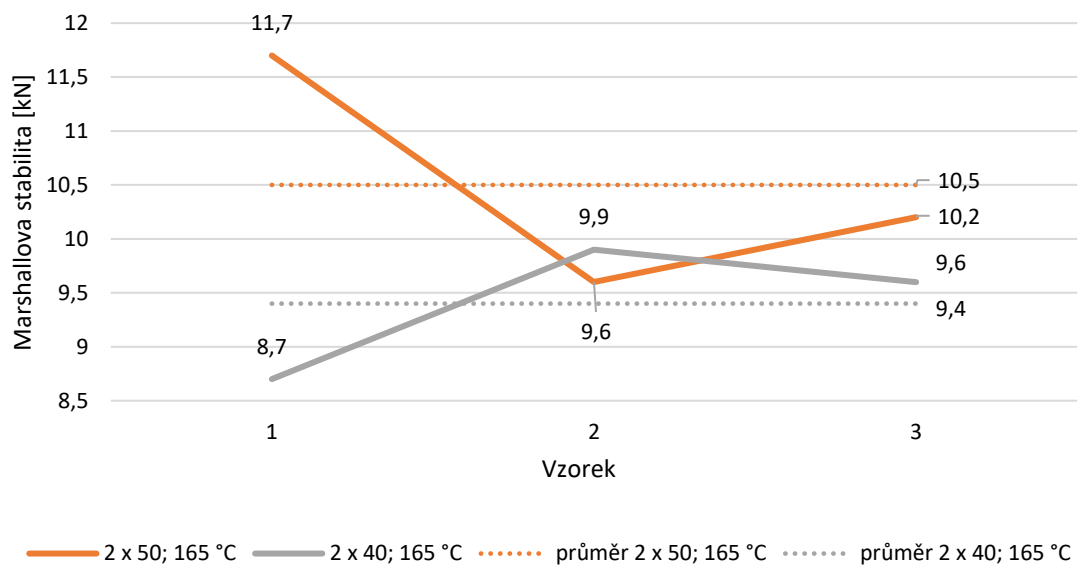
Tělesa hutněná při 155 °C a 2 × 50 úderech dosáhla průměrné Marshallovy stability 7,80 kN, výsledky viz. Graf 28 - Marshallova stabilita SMA v závislosti na počtu úderů MT při teplotě

155 °C.

Nejnižší stability 7,20 kN dosáhla tělesa hutněná při 155 °C a 2 × 40 úderech, výsledky viz. Graf 28 - Marshallova stabilita SMA v závislosti na počtu úderů MT při teplotě

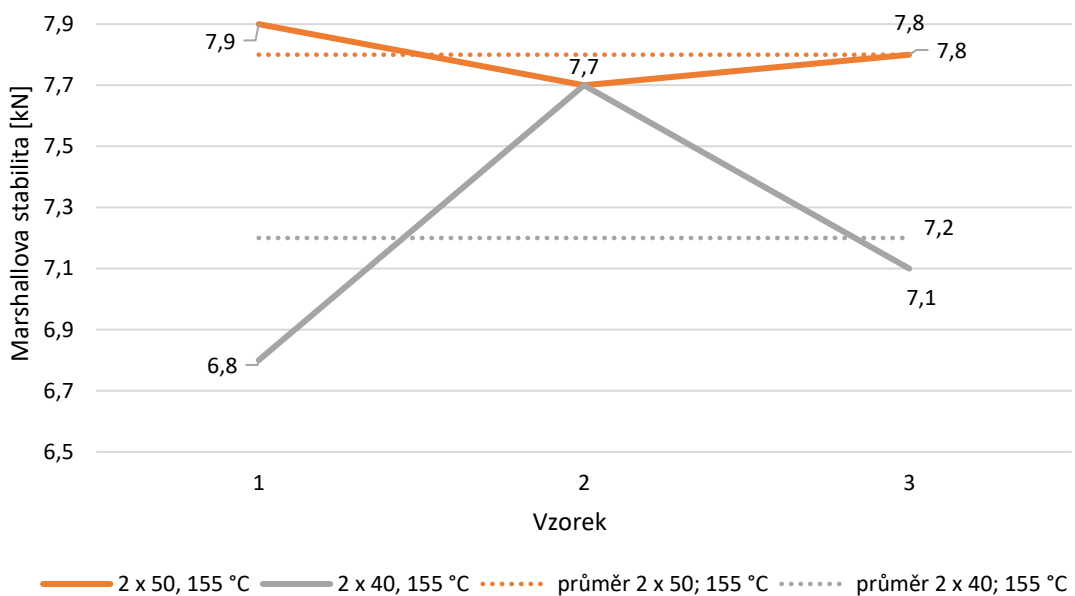
155 °C.

Marshallova stabilita SMA v závislosti na počtu úderů MT při teplotě 165 °C



Graf 27 - Marshallova stabilita SMA v závislosti na počtu úderů MT při teplotě 165 °C

Marshallova stabilita SMA v závislosti na počtu úderů MT při teplotě 155 °C



Graf 28 - Marshallova stabilita SMA v závislosti na počtu úderů MT při teplotě 155 °C

8. Závěr

Z výsledků provedených zkoušek vyplývá, že ne vždy s vyšší teplotou a větší hutnicí energií je dosaženo nejlepších parametrů výsledné asfaltové vrstvy. Tato závislost je u zkoumaných směsí rozdílná.

U směsi ACP 22 S PmB 25/55-60 bylo zjištěno, že maximální objemové hmotnosti není dle předpokladu dosaženo při teplotě 165 °C a hutnicí energii 2 × 50, ale naopak při teplotě 145 °C při 2 × 50. Tento výsledek byl ověřen vytvořením opravné sady Marshallových těles, které po změření vykazovaly stejné vlastnosti jako první sada. Stejného trendu bylo dosaženo i v případě mezerovitosti zkušebních těles a Marshallovy stability. Avšak při měření modulů tuhosti dosáhla nejvyšších hodnot tělesa hutněná při 155 °C 2 × 50 údery. Oproti tomu nejnižších modulů dosáhla tělesa hutněná při 165 °C. V případě Marshallovy stability dosáhla tělesa hutněná při 145 °C nejlepších výsledků. Obecně tedy pro směs platí, že nejlepších parametrů asfaltové směsi je dosaženo při teplotě 145 °C hutněné 2 × 50 údery. Výsledek je poměrně překvapující, ale z vlastní zkušenosti z pokládky vím, že zhutnitelnost vibračními deskami a válci podkladních a ložných vrstev bývá často lepší po uplynutí nějaké doby.

V případě směsi ACL 22 S PmB 25/55-60 bylo nejvyšší objemové hmotnosti dosaženo při nejvyšší teplotě a největší hutnicí energii – 165 °C při 2 × 75 úderech a naopak nejnižší objemové hmotnosti bylo dosaženo při 2 × 50 úderech. Při zkouškách mezerovitosti, modulů tuhosti a Marshallovy stability tělesa vykazovala nejlepší výsledky při teplotě 165 °C a 2 × 75 úderech.

Směs SMA 11 S PmB 14/80-65 dosáhne své nejvyšší objemové hmotnosti při teplotě 165 °C a 2 × 50 úderech. Stejně tak jako u směsi ACL, dosahuje směs nejlepších parametrů při vyšší teplotě a větší hutnicí energii.

Tabulka 18 - Shrnující výsledky

Směs	Teplota, hutnicí energie	∅ objemová hmotnost [Mg/m ³]	∅ mezerovitost [%]	∅ modul tuhosti 0 °C [MPa]	∅ modul tuhosti 15 °C [MPa]	∅ modul tuhosti 27 °C [MPa]	∅ modul tuhosti 40 °C [MPa]	∅ Marshall. stabilita [kN]
ACP 22 S PmB	165 °C; 2 × 50	2,548	3,56	22097	12997	6305	3211	18,10
	155 °C; 2 × 50	2,541	3,81	22377	13642	6299	3218	16,63
	145 °C; 2 × 50	2,552	3,38	22314	12417	6005	2551	18,73
ACL 22 S PmB	165 °C; 2 × 75	2,568	4,23	25622	12975	6820	4822	20,17
	165 °C; 2 × 65	2,545	5,09	25176	11276	5819	2384	15,70
	165 °C; 2 × 50	2,516	6,19	24466	10052	5406	2595	15,30
SMA 11 S PmB	165 °C; 2 × 50	2,521	5,85	17403	5677	2723	1718	10,50
	165 °C; 2 × 40	2,489	7,03	15964	5392	2348	1606	9,40
	155 °C; 2 × 50	2,457	8,24	14468	5950	2737	1705	7,80
	155 °C; 2 × 40	2,463	8,02	13285	5613	2662	1983	7,20

9. Seznam použité literatury

- [1] ZAJÍČEK, Jan, Marie BIRNBAUMANOVÁ, Petr HÝZL, Leoš NEKULA, Dušan STEHLÍK, Václav VALENTIN, Michal VARAUS a Ludvík VÉBR. *Technologie stavby vozovek*. 1. vydání. Praha: Sdružení pro výstavbu silnic Praha, 2014. ISBN 978-80-87438-59-6.
- [2] PRAKTICKÉ APLIKACE V POZEMNÍCH KOMUNIKACÍCH: ASFALTOVÉ SMĚSI [online]. 2006 [cit. 2022-02-26]. Dostupné z: <http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/-%20-%20P%20P%20C5%2099edm%20C4%209Bty%20dle%20semestru%20-%20-%20-%206-semester/-%20BM02%20-%20Pozemni%20komunikace%20II/Prednasky/T%20C3%A9ma%207%20text%20-%20Asfaltov%20C3%A9%20sm%20C4%209Bsi.pdf>
- [3] ČSN 73 6120 *Stavba vozovek – Ostatní asfaltové vrstvy – Provádění a kontrola shody*. Praha: Český normalizační institut, 2021.
- [4] ČSN 73 6121 *Stavba vozovek – Hutněné asfaltové vrstvy – Provádění a kontrola shody*. Praha: Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [5] ČSN EN 13108-1 *Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – část 1: Asfaltový beton*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [6] Jankostav s.r.o.: *Litý asfalt* [online]. Ostrava [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://www.jankostav.cz/?w=jankostav-lity-asfalt>
- [7] Bomag BVP-1845 D: *Light equipment* [online]. [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://www.bomag.com/ww-en/machinery/categories/light-equipment/bvp-1845-d-83447/>
- [8] Bomag BPR-2540: *Light equipment* [online]. [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://www.bomag.com/ww-en/machinery/categories/light-equipment/bpr-2540-69516/>

- [9] HANZÍK, Václav, Pavel KLAPKA, Petr MONDSCHHEIN, František LUXEMBURK, Martin OTTA a Daniel SOVA. Pokládka hutněných asfaltových směsí: revidované a rozšířené vydání s počítačovým programem. 2015. Praha: Sdružení pro výstavbu silnic Praha, 2015. ISBN 978-80-903925-6-4.
- [10] Bomag BW 206 AD-5: Asphalt rollers [online]. [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://www.bomag.com/ww-en/machinery/categories/asphalt-rollers/bw-206-ad-5-92181/>
- [11] Dynapac CS1400 VI: Compaction [online]. [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://dynapac.com/en/products/compaction/dynapac-cs1400-vi>
- [12] Bomag BW-28-RH: Asphalt rollers [online]. [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: <https://www.bomag.com/ww-en/machinery/categories/asphalt-rollers/bw-28-rh-53851/>
- [13] Dynapac CP275: Compaction [online]. [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: <https://dynapac.com/en/products/compaction/dynapac-cp275>
- [14] Hamm GRW 280i: Pneumatikové válce [online]. [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: <https://www.lectura-specs.cz/cz/model/stavebni-stroje/valce-pneumatikove-valce-hamm/grw-280i-28-11683624>
- [15] News and media: Hamm oscillation [online]. 2019 [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://www.wirtgen-group.com/bauma2019/en/news-media/hamm-oscillation.html>
- [16] Hamm HD-90i-VV: Tandem rollers [online]. [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: <https://www.wirtgen-group.com/ocs/en-lv/hamm/hd-90i-vv-1888-p/>
- [17] Hamm HD-90i-VO: Tandem rollers [online]. [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: <https://www.wirtgen-group.com/ocs/en-lv/hamm/hd-90i-vo-1890-p/>
- [18] Voegelé Super 1300-3i: Road pavers [online]. [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: <https://www.wirtgen-group.com/ocs/en-lv/voegele/super-1300-3i-186-p/>

- [19] Voegele Super 800i: Asphalt pavers [online]. [cit. 2022-02-20]. Dostupné z:
<https://www.wirtgen-group.com/ocs/en-lv/voegele/super-800i-180-p/>
- [20] Voegele Super 1800-3i: Road pavers [online]. [cit. 2022-02-20]. Dostupné z:
<https://www.wirtgen-group.com/ocs/en-lv/voegele/super-1800-3i-204-p/>
- [21] Voegele Super 3000i: Road pavers [online]. [cit. 2022-02-20]. Dostupné z:
<https://www.wirtgen-group.com/ocs/en-lv/voegele/super-3000-3i-222-p/>
- [22] ČSN 73 6160: Zkoušení asfaltových směsí. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [23] TKP: Hutněné asfaltové vrstvy – kapitola 7. Praha: MD, 2008.
- [24] ČSN EN 12697 - 6 Asfaltové směsi - Zkušební metody - část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa. Praha: Český normalizační institut, 2020.
- [25] Sonda Troxler model 4640-B [online]. [cit. 2022-03-02]. Dostupné z:
<https://www.troxlerlabs.com/Portals/0/Troxler%20Documents/User%20Documents/4640-B/4640%20B%20Gauge%20Ed.6.8.pdf>
- [26] MONDSCHHEIN, Petr. Asfaltové směsi 1/2. Praha, 2018. Přednáška. Fakulta stavební ČVUT.
- [27] ČSN EN 12697-5 Asfaltové směsi - Zkušební metody - Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti. Praha: Český normalizační institut, 2020.
- [28] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN EN 12697-8 Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí. Praha, 2004.
- [29] ČSN EN 12697-1 Asfaltové směsi - Zkušební metody - část 1: obsah rozpustného pojiva. Praha: Český normalizační institut, 2020.
- [30] ČSN EN 12697-26 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 26: Tuhost:. Praha: Český normalizační institut, 2012.

10. Přílohy

10.1 ACP

Tabulka 19 – Vlastnosti vývrtů ACP

Vývrty ACP									
Vzorek č.	5	3	11	13	4	15	2	1	16
Průměr [mm]	149,4	149,1	149,2	149,1	149	149,1	149	149,6	149,4
Výška 1 [mm]	75,6	76,8	80	85,8	75,1	83,3	78,1	86	84
Výška 2 [mm]	75,9	76	80,6	87,9	76,6	83,4	76,4	88,3	84,4
Výška 3 [mm]	75,3	76,8	79,7	87,1	75,9	84,5	76,9	89	85,1
Výška 4 [mm]	75,8	76,2	81,2	86,5	75,2	85,9	76,8	88,7	85,6
Výška průměr [mm]	75,7	76,5	80,4	86,8	75,7	84,3	77,1	88,0	84,8
Hmotnost před sycením [g]	3253,2	3342,8	3438	3784,1	3282,8	3549,1	3318,5	3798,5	3539
Objem vzorku [m ³]	0,00133	0,00133	0,00141	0,00152	0,00132	0,00157	0,00134	0,00155	0,00159
Hmotnost pod vodou [g]	1985,2	2036,5	2089,5	2309,6	2001,2	2148,5	2014	2336,8	2134,7
Hmotnost nasycená [g]	3262,6	3345,5	3446,7	3791,5	3286,8	3555,1	3324	3800,8	3555,3
Obj. hmotnost dle rozměrů [Mg/m ³]	2,453	2,504	2,447	2,496	2,487	2,412	2,470	2,456	2,381
Obj. hmotnost SSD [Mg/m ³]	2,543	2,550	2,530	2,550	2,550	2,520	2,530	2,591	2,488
Mezerovitost [%]	3,70	3,43	4,21	3,44	3,44	4,59	4,21	1,89	5,80
Parametry vody	T _{vody}	ρ							
	16,2	998,88							
	°C	[kg/m ³]							
Míra zhutnění [%]	99,9 %	100,1 %	99,3 %	100,1 %	100,1 %	98,9 %	99,3 %	101,7 %	97,7 %

Tabulka 20 - Vlastnosti MT ACP 2 × 50; 165 °C

MT ACP 2 × 50; 165 °C						
Vzorek č.	31	32	33	34	35	36
Průměr [mm]	102	103,4	102	102,4	102,1	103,8
Výška 1 [mm]	57,4	56	58,3	58,5	58,3	57,2
Výška 2 [mm]	57,3	55,6	58,1	58,5	58,1	57,1
Výška 3 [mm]	57,9	55,9	58,2	58,6	58,4	57,5
Výška 4 [mm]	57,7	56,4	58,5	59,4	58,9	57,6
Výška průměr [mm]	57,6	56,0	58,3	58,8	58,4	57,4
Hmotnost před sycením [g]	1118,6	1157,7	1145	1156,1	1160,5	1162,4
Objem vzorku [m ³]	0,00047	0,00047	0,00048	0,00048	0,00048	0,00049
Hmotnost pod vodou [g]	683,1	714,8	699,4	706,3	707,6	709,9
Hmotnost nasycená [g]	1123,6	1160,9	1148,9	1160,5	1165,4	1167,6
Obj. hmotnost dle rozměrů [Mg/m ³]	2,377	2,463	2,404	2,389	2,426	2,395
Obj. hmotnost SSD [Mg/m ³] 2 x 50; 165 °C	2,536	2,592	2,544	2,542	2,532	2,536
Mezerovitost [%]	3,97	1,87	3,68	3,75	4,14	3,96
Parametry vody	T _{vody}	ρ				
	16,2	998,884				
	°C	[kg/m ³]				
Modul tuhosti [MPa] 0 °C	20922	25218	23618	22479	23845	20948
Modul tuhosti [MPa] 0 °C	19820	24103	21450	19929	21701	21133
Modul tuhosti [MPa] 15 °C	12899	14776	12108	13386	13070	13141
Modul tuhosti [MPa] 15 °C	11623	15051	12193	11673	13241	12805
Modul tuhosti [MPa] 27 °C	5689	7749	5938	6293	7224	6717
Modul tuhosti [MPa] 27 °C	5077	6929	5218	5576	6935	6315
Modul tuhost [MPa] 40 °C	2452	3543	3339	3190	3511	3512
Modul tuhosti [MPa] 40 °C	2647	3445	2945	3403	3157	3382
Marshallova stabilita [kN]	16,1	21,5	16,7			
Přetvoření [mm]	4,2	4,1	4			
Pevnost [kN]	13,8	17,3	14,5			

Tabulka 21 - Vlastnosti MT ACP 2 × 50; 155 °C

MT ACP 2 × 50; 155 °C						
Vzorek č.	25	26	27	28	29	30
Průměr [mm]	102,2	102,1	102	102	101,9	102,1
Výška 1 [mm]	58,1	59,7	59,1	60,1	57,8	61,6
Výška 2 [mm]	58,3	60,2	59	60	57,6	61,6
Výška 3 [mm]	58,6	30,2	59,2	60,3	58,2	62,1
Výška 4 [mm]	58,3	59,5	59,4	60,3	58,2	62,1
Výška průměr [mm]	58,3	52,4	59,2	60,2	58,0	61,9
Hmotnost před sycením [g]	1147,8	1167,5	1156,8	1150,9	1142,9	1204,1
Objem vzorku [m ³]	0,00048	0,00043	0,00048	0,00049	0,00047	0,00051
Hmotnost pod vodou [g]	702,2	715,8	707,4	704,4	696,9	734,7
Hmotnost nasycená [g]	1150,8	1174,3	1162,3	1157,8	1145,5	1211
Obj. hmotnost dle rozměrů [Mg/m ³]	2,398	2,721	2,392	2,340	2,418	2,377
Obj. hmotnost SSD [Mg/m ³] 2 × 50; 155 °C	2,555	2,543	2,540	2,535	2,544	2,525
Mezerovitost [%]	3,25	3,71	3,84	4,01	3,66	4,40
Parametry vody	T _{vody}	ρ				
	16,2	998,884				
	°C	[kg/m ³]				
Modul tuhosti [MPa] 0 °C	18144	24194	24810	21024	26993	21368
Modul tuhosti [MPa] 0 °C	19759	21518	22675	23492	23009	21540
Modul tuhosti [MPa] 15 °C	13265	14767	16836	11978	13364	13183
Modul tuhosti [MPa] 15 °C	14363	14366	14259	11560	12906	12858
Modul tuhosti [MPa] 27 °C	6284	6677	6742	5482	6590	6139
Modul tuhosti [MPa] 27 °C	6081	7457	6665	5658	5693	6119
Modul tuhosti [MPa] 40 °C	3905	3620	3879	3028	3015	2870
Modul tuhosti [MPa] 40 °C	3144	3693	3421	2769	2646	2621
Marshallova stabilita [kN]	15,2	18,4	16,3			
Přetvoření [mm]	3,4	3,4	4,6			
Pevnost [kN]	13,2	16,8	14,6			

Tabulka 22 - Vlastnosti MT 2 × 50; 145 °C

MT ACP 2 × 50; 145 °C						
Vzorek č.	19	20	21	22	23	24
Průměr [mm]	102,1	102,1	102	102	102,4	101,9
Výška 1 [mm]	57,9	57,3	56,3	58,5	56,9	57,1
Výška 2 [mm]	57,8	57,5	55,8	58,5	56,7	56,4
Výška 3 [mm]	58,2	58	55,8	58,6	57,3	57,5
Výška 4 [mm]	58,2	57,7	56	59	57,1	57,4
Výška průměr [mm]	58,0	57,6	56,0	58,7	57,0	57,1
Hmotnost před sycením [g]	1139,6	1148,3	1117,2	1162,7	1145,1	1152,1
Objem vzorku [m ³]	0,00048	0,00047	0,00046	0,00048	0,00047	0,00047
Hmotnost pod vodou [g]	698,4	699,3	684,5	709,7	702,3	706,8
Hmotnost nasycená [g]	1144,5	1151,1	1119,9	1167,6	1149,5	1155,2
Obj. hmotnost dle rozměrů [Mg/m ³]	2,398	2,433	2,442	2,426	2,439	2,474
Obj. hmotnost SSD [Mg/m ³] 2 × 50; 145 °C	2,551	2,538	2,563	2,536	2,557	2,566
Mezerovitost [%]	3,40	3,89	2,97	3,98	3,17	2,84
Parametry vody	T _{vody}	ρ				
	16,2	998,884				
	°C	[kg/m ³]				
Modul tuhosti [MPa] 0 °C	25317	26263	20125	21700	25753	21643
Modul tuhost [MPa] 0 °C	26379	21242	20651	16988	20480	21229
Modul tuhosti [MPa] 15 °C	11397	10848	12287	12457	13255	13574
Modul tuhosti [MPa] 15 °C	12849	11441	11514	12192	13098	14086
Modul tuhosti [MPa] 27 °C	5984	4924	6158	5904	7503	6846
Modul tuhosti [MPa] 27 °C	6374	4732	5965	5623	5768	6277
Modul tuhosti [MPa] 40 °C	2238	2034	2054	2841	3372	2666
Modul tuhosti [MPa] 40 °C	3055	2127	2213	2280	2739	2991
Marshallova stabilita [kN]	19,7	18	18,5			
Přetvoření [mm]	6,5	3	5,4			
Pevnost [kN]	17,3	15	15,5			

Tabulka 23 - Zrnitostní složení kameniva a fileru ACP

ACP	Frakce [mm]	m [g]	Zbytek [%]	Celk. zbytek [%]	Celk. propad [%]
	31,5	0	0	0	100
	22,4	83,8	8,40	8,40	91,60
	16	348,5	34,91	43,31	56,69
	11,2	140	14,03	57,33	42,67
	8	78,6	7,87	65,21	34,79
	5,6	51,1	5,12	70,33	29,67
	4	25,5	2,55	72,88	27,12
	2	49,4	4,95	77,83	22,17
	1	66,6	6,67	84,50	15,50
	0,5	45,8	4,59	89,09	10,91
	0,25	27,4	2,74	91,84	8,16
	0,125	17,9	1,79	93,63	6,37
	0,063	12,5	1,25	94,88	5,12
	dno	51,1	5,12	100,00	0,00
	Σ	998,2	g		

10.2 ACL

Tabulka 24 - Vlastnosti vývrtů ACL

Vývrty ACL									
Vzorek č.	1	3	5	10	6	4	11	16	2
Průměr [mm]	149,3	149,2	149,3	149,7	149,3	149,2	149,3	149,3	149,3
Výška 1 [mm]	78,7	72,1	78,6	77,5	75,7	78,1	73,5	75,5	73,1
Výška 2 [mm]	78,4	72,3	78,6	76,6	75,8	76,8	72,3	74,4	73
Výška 3 [mm]	80,1	72,2	78,3	77	75,6	78,2	73,3	75,7	71,8
Výška 4 [mm]	78,8	71,6	78	77,6	75,3	77,3	72,5	75,9	72,8
Výška průměr [mm]	79,0	72,1	78,4	77,2	75,6	77,6	72,9	75,4	72,7
Hmotnost před sycením [g]	3369,6	3140,5	3376,3	3304,2	3253,5	3291,7	3102,7	3276,2	3210,1
Objem vzorku [m ³]	0,00138	0,00126	0,00137	0,00136	0,00132	0,00136	0,00128	0,00132	0,00127
Hmotnost pod vodou [g]	2062,9	1916,9	2055,6	2004,5	1980,3	1994,6	1895,1	2005,1	1962
Hmotnost nasycená [g]	3398,1	3146,2	3384,9	3319,4	3270,1	3306,8	3126,1	3290,2	3213,7
Obj. hmotnost dle rozměrů [Mg/m ³]	2,436	2,493	2,460	2,432	2,458	2,426	2,431	2,482	2,523
Obj. hmotnost SSD [Mg/m ³]	2,520	2,551	2,537	2,510	2,519	2,505	2,517	2,546	2,561
Mezerovitost [%]	5,99	4,84	5,39	6,39	6,04	6,56	6,11	5,04	4,47
Parametry vody	T _{vody}	ρ							
	16,2	998,884							
	°C	[kg/m ³]							
Míra zhutnění	100,2 %	101,4 %	100,9 %	99,8 %	100,2 %	99,6 %	100,1 %	101,2 %	101,8 %

Tabulka 25 - Vlastnosti MT 2 × 50; 165 °C

MT ACL 2 × 50; 165 °C						
Vzorek č.	1	2	3	4	5	6
Průměr [mm]	102,9	102	102,3	101,7	102	102,3
Výška 1 [mm]	60,8	63,3	62,3	61,2	62,1	52,9
Výška 2 [mm]	60,6	64,2	62,7	61,1	61,5	54
Výška 3 [mm]	60,4	63,7	62,3	60,5	61,5	53,4
Výška 4 [mm]	61,1	63,6	62,7	60,9	61,5	53,3
Výška průměr [mm]	60,7	63,7	62,5	60,9	61,7	53,4
Hmotnost před sycením [g]	1183,2	1180,4	1173,8	1153,5	1184,1	1027
Objem vzorku [m ³]	0,00050	0,00052	0,00051	0,00049	0,00050	0,00044
Hmotnost pod vodou [g]	724,5	722,2	719,8	702,2	722,4	629
Hmotnost nasycená [g]	1194,6	1193,8	1185,1	1162,5	1191,6	1033,7
Obj. hmotnost dle rozměrů [Mg/m ³]	2,342	2,267	2,284	2,330	2,350	2,339
Obj. hmotnost SSD [Mg/m ³] 2 × 50; 165 °C	2,514	2,500	2,519	2,503	2,520	2,534
Mezerovitost [%]	6,24	6,76	6,03	6,65	5,99	5,47
Parametry vody	T _{vody}	ρ				
	16,2	998,884				
	°C	[kg/m ³]				
Modul tuhosti [MPa] 0 °C	21225	23411	21810	19918	34197	30133
Modul tuhosti [MPa] 0 °C	22582	20488	21733	22282	24843	30970
Modul tuhosti [MPa] 15 °C	9124	10550	9811	9997	10764	11454
Modul tuhosti [MPa] 15 °C	8745	8499	9570	10336	10441	11337
Modul tuhosti [MPa] 27 °C	4992	5332	5539	4192	5786	6297
Modul tuhosti [MPa] 27 °C	4802	4898	5120	4916	6556	6445
Modul tuhosti [MPa] 40 °C	2379	3698	2937	2004	1728	2153
Modul tuhosti [MPa] 40 °C	2544	3602	3492	2623	1782	2200
Marshallova stabilita [kN]	15,7	14,9	15,3			
Přetvoření [mm]	4,2	4	4,1			
Pevnost [kN]	14,5	15,1	14,8			

Tabulka 26 - Vlastnosti MT ACL 2 × 50; 165 °C

MT ACL 2 × 65; 165 °C						
Vzorek č.	7	8	9	10	11	12
Průměr [mm]	102	102	102,3	102	103,5	102,7
Výška 1 [mm]	59,2	61,2	58,1	57,2	60,2	60,8
Výška 2 [mm]	58,9	61,2	57,6	57,6	60,1	61,2
Výška 3 [mm]	58,8	60,6	57,7	57,3	60,1	60,9
Výška 4 [mm]	59	60,7	57,7	57,2	59,9	60,5
Výška průměr [mm]	59,0	60,9	57,8	57,3	60,1	60,9
Hmotnost před sycením [g]	1163,3	1167,9	1145,7	1136,3	1138,1	1165,1
Objem vzorku [m ³]	0,0004 8	0,0005 0	0,0004 7	0,0004 7	0,0005 1	0,0005 0
Hmotnost pod vodou [g]	710,8	720	702,6	697,8	700,8	716,3
Hmotnost nasycená [g]	1169,1	1175,3	1151,3	1143,2	1149	1174,9
Obj. hmotnost dle rozměrů [Mg/m ³]	2,413	2,345	2,412	2,425	2,251	2,311
Obj. hmotnost SSD [Mg/m ³] 2 × 65; 165 °C	2,535	2,562	2,550	2,548	2,536	2,537
Mezerovitost [%]	5,45	4,45	4,88	4,97	5,41	5,36
Parametry vody	T _{vody}	ρ				
	16,1	998,90 2				
	°C	[kg/m ³]				
Modul tuhosti [MPa] 0 °C	21398	27699	25706	32306	34623	24093
Modul tuhosti [MPa] 0 °C	22664	21038	25469	22261	21086	23767
Modul tuhosti [MPa] 15 °C	12307	12972	11961	10387	9758	11775
Modul tuhosti [MPa] 15 °C	12324	10901	11529	10591	10173	10628
Modul tuhosti [MPa] 27 °C	4952	4910	7220	6618	5556	6371
Modul tuhosti [MPa] 27 °C	4902	6101	6425	5325	5603	5846
Modul tuhosti [MPa] 40 °C	1612	1718	1851	3218	2858	3022
Modul tuhosti [MPa] 40 °C	1520	1655	1746	3296	3004	3111
Marshallova stabilita [kN]				19,4	11,9	15,8
Přetvoření [mm]				3,7	2,7	4,1
Pevnost [kN]				16,3	11	14,8

Tabulka 27 - Vlastnosti MT ACL 2 × 75; 165 °C

MT ACL 2 × 75; 165 °C						
Vzorek č.	13	14	15	16	17	18
Průměr [mm]	102,5	102	102,6	102,8	102,1	103,4
Výška 1 [mm]	57,8	59	57,8	57,6	56	57,3
Výška 2 [mm]	57,4	57,6	57,8	57,3	56,1	57,2
Výška 3 [mm]	57,9	57,8	57,8	57,8	56,3	56,6
Výška 4 [mm]	57,5	57,4	58,1	58,4	56	57
Výška průměr [mm]	57,7	58,0	57,9	57,8	56,1	57,0
Hmotnost před sycením [g]	1148,4	1171,5	1149,2	1155,7	1142,3	1142,1
Objem vzorku [m ³]	0,0004 8	0,0004 7	0,0004 8	0,0004 8	0,0004 6	0,0004 8
Hmotnost pod vodou [g]	708,1	721,5	704,7	709,8	700,6	703,6
Hmotnost nasycená [g]	1153,7	1174,1	1155,6	1160,6	1144	1147,8
Obj. hmotnost dle rozměrů [Mg/m ³]	2,414	2,473	2,401	2,410	2,487	2,385
Obj. hmotnost SSD [Mg/m ³] 2 × 75; 165 °C	2,574	2,585	2,545	2,560	2,573	2,568
Mezerovitost [%]	4,00	3,58	5,06	4,50	4,03	4,22
Parametry vody	T _{vody}	ρ				
	16,1	998,90 2				
	°C	[kg/m ³]				
Modul tuhosti [MPa] 0 °C	29630	25929	23964	27238	22595	32016
Modul tuhosti [MPa] 0 °C	24153	25415	18916	26705	24762	26141
Modul tuhosti [MPa] 15 °C	15957	12179	11688	14202	13447	14406
Modul tuhosti [MPa] 15 °C	13785	11034	11706	12628	11521	13141
Modul tuhosti [MPa] 27 °C	8650	6163	6005	6509	6295	8426
Modul tuhosti [MPa] 27 °C	7177	6191	6082	6595	6430	7320
Modul tuhosti [MPa] 40 °C	5900	4233	4714	5100	5120	5503
Modul tuhosti [MPa] 40 °C	5576	4009	3775	4365	4476	5097
Marshallova stabilita [kN]				22,1	21,4	17
Přetvoření [mm]				4	2,9	1,8
Pevnost [kN]				18,3	17,4	14,2

Tabulka 28 - Zrnitostní složení kameniva a fileru ACL

	Frakce [mm]	m [g]	Zbytek [%]	Celk. zbytek [%]	Celk. propad [%]
ACL	31,5	0	0	0	100
	22,4	92,1	9,55	9,55	90,45
	16	224,7	23,30	32,86	67,14
	11,2	151,8	15,74	48,60	51,40
	8	101,9	10,57	59,17	40,83
	5,6	49	5,08	64,25	35,75
	4	36,4	3,78	68,03	31,97
	2	66,4	6,89	74,91	25,09
	1	71	7,36	82,28	17,72
	0,5	47,1	4,88	87,16	12,84
	0,25	29,1	3,02	90,18	9,82
	0,125	22,3	2,31	92,49	7,51
	0,063	13,1	1,36	93,85	6,15
	dno	59,3	6,15	100,00	0,00
		Σ	964,2	g	

10.3 SMA

Tabulka 29 - Vlastnosti vývrtů SMA

Vývrty SMA								
Vzorek č.	7	6	8	5	4	1	2	3
Průměr [mm]	148,7	149,6	149,4	149,7	149,9	148,6	148,9	149,1
Výška 1 [mm]	44,3	42,2	43,4	40,1	46,4	38,7	39,1	40,3
Výška 2 [mm]	44,3	43,8	43	39,2	47,9	39,2	37,8	39,2
Výška 3 [mm]	37,1	39,1	42,8	39	47,1	38,6	37,2	39,7
Výška 4 [mm]	43,1	41,6	41,2	40,5	46	38,6	38,2	39,3
Výška průměr [mm]	42,2	41,7	42,6	39,7	46,9	38,8	38,1	39,6
Hmotnost před sycením [g]	1751,9	1611,3	1646,8	1585,8	1912,4	1539,7	1587,7	1632,2
objem vzorku [m ³]	0,00073	0,00073	0,00075	0,00070	0,00083	0,00067	0,00066	0,00069
Hmotnost pod vodou [g]	1050,7	958,6	993,5	950,3	1153,9	921	954,7	984,6
Hmotnost nasycená [g]	1755,3	1618,7	1648,2	1590,5	1916,2	1544,6	1589	1637,5
Obj. hmotnost dle rozměrů [Mg/m ³]	2,390	2,199	2,205	2,269	2,313	2,289	2,394	2,359
Obj. hmotnost SSD [Mg/m ³]	2,483	2,438	2,512	2,474	2,505	2,466	2,500	2,496
Mezerovitost [%]	7,25	8,94	6,17	7,60	6,42	7,90	6,63	6,74
Parametry vody	T _{vody}	ρ						
	16,6	998,812						
	°C	[kg/m ³]						
Míra zhutnění [%]	98,5 %	96,7 %	99,7 %	98,1 %	99,4 %	97,8 %	99,2 %	99,0 %

Tabulka 30 - Vlastnosti MT SMA 2 × 50; 165 °C

MT SMA 2 × 50; 165 °C						
Vzorek č.	37	38	39	40	41	42
Průměr [mm]	102	102	102	102	101,8	102
Výška 1 [mm]	58,3	59,1	56,1	58,3	59,5	58,6
Výška 2 [mm]	58,4	59,3	56,2	58,8	59,4	58,2
Výška 3 [mm]	59	58,7	55,8	59	59,2	58
Výška 4 [mm]	58,8	58,6	55,9	58,4	59,6	58,1
Výška průměr [mm]	58,6	58,9	56,0	58,6	59,4	58,2
Hmotnost před sycením [g]	1152,7	1149	1105,5	1161,3	1151,5	1133,2
Objem vzorku [m ³]	0,0004 8	0,0004 8	0,0004 6	0,0004 8	0,0004 8	0,0004 8
Hmotnost pod vodou [g]	697,6	693,7	669,4	705,3	696,5	683,4
Hmotnost nasycená [g]	1153,8	1150,5	1106,7	1162,4	1153,1	1134,8
Obj. hmotnost dle rozměrů [Mg/m ³]	2,406	2,386	2,415	2,424	2,380	2,381
Obj. hmotnost SSD [Mg/m ³] 2 × 50; 165 °C	2,523	2,512	2,525	2,537	2,519	2,507
Mezerovitost [%]	5,74	6,16	5,69	5,22	5,92	6,35
Parametry vody	Tvody	ρ				
	16,3	998,87				
	°C	[kg/ m ³]				
Modul tuhosti [MPa] 0 °C	16327	14943	20259	19124	16834	16420
Modul tuhosti [MPa] 0 °C	17336	14645	16630	17412	15744	23165
Modul tuhosti [MPa] 15 °C	5671	5202	5578	6007	5394	5943
Modul tuhosti [MPa] 15 °C	5453	5354	5512	6781	5461	5763
Modul tuhosti [MPa] 27 °C	2879	2413	2820	3567	2353	2441
Modul tuhosti [MPa] 27 °C	2683	2823	2702	2455	2847	2692
Modul tuhosti [MPa] 40 °C	1756	1643	1753	1951	1634	1656
Modul tuhosti [MPa] 40 °C	1596	1602	1558	2046	1803	1612
Marshallova stabilita [kN]	11,7	9,6	10,2			
Přetvoření [mm]	3,4	3,8	6,6			
Pevnost [kN]	10,3	8,5	8,9			

Tabulka 31 - Vlastnosti MT SMA 2 × 40; 165 °C

MT SMA 2 × 40; 165 °C						
Vzorek č.	43	44	45	46	47	48
Průměr [mm]	102,1	102	102	102,5	103,1	102
Výška 1 [mm]	57,9	59,8	59,2	59,2	57,3	60
Výška 2 [mm]	57,7	59,5	58,6	59,5	57,2	59,7
Výška 3 [mm]	57,6	59,4	59	59,9	57,5	59,8
Výška 4 [mm]	57,2	59,5	59,2	59,2	57,8	60,9
Výška průměr [mm]	57,6	59,6	59,0	59,5	57,5	60,1
Hmotnost před sycením [g]	1115	1148,1	1137,8	1135,9	1142,2	1142,3
Objem vzorku [m ³]	0,0004 7	0,0004 9	0,0004 8	0,0004 9	0,0004 8	0,0004 9
Hmotnost pod vodou [g]	670,8	689,6	685,6	678	687,7	686,6
Hmotnost nasycená [g]	1116,9	1150	1139,8	1138,9	1144,5	1145,4
Obj. hmotnost dle rozměrů [Mg/m ³]	2,364	2,359	2,360	2,315	2,381	2,326
Obj. hmotnost SSD [Mg/m ³] 2 × 40; 165 °C	2,496	2,490	2,502	2,461	2,497	2,486
Mezerovitost [%]	6,76	6,97	6,55	8,06	6,72	7,12
Parametry vody	T _{vody}	ρ				
	16,3	998,87				
	°C	[kg/ m ³]				
Modul tuhosti [MPa] 0 °C	15007	22206	14789	18057	14701	14541
Modul tuhosti [MPa] 0 °C	15969	14148	14493	14781	13150	19720
Modul tuhosti [MPa] 15 °C	5867	5388	5508	4849	5208	5758
Modul tuhosti [MPa] 15 °C	5351	5340	6023	4597	5215	5599
Modul tuhosti [MPa] 27 °C	2497	2498	2460	2170	2235	2183
Modul tuhosti [MPa] 27 °C	2252	2107	2718	2296	2243	2518
Modul tuhosti [MPa] 40 °C	1646	2013	1848	1537	1740	1511
Modul tuhosti [MPa] 40 °C	1614	1555	1666	1193	1592	1358
Marshallova stabilita [kN]	8,7	9,9	9,6			
Přetvoření [mm]	4	3,6	7,8			
Pevnost [kN]	7,4	9	8,5			

Tabulka 32 - Vlastnosti MT SMA 2 × 50; 155 °C

MT SMA 2 × 50; 155 °C						
Vzorek č.	49	50	51	52	53	54
Průměr [mm]	101,9	102,1	102,1	102,1	102	102,3
Výška 1 [mm]	61,5	59,6	59	60,3	60,3	60,8
Výška 2 [mm]	62,1	59,7	59,3	60,1	60,9	61,1
Výška 3 [mm]	62,1	59,8	59,6	60,4	60,3	60,9
Výška 4 [mm]	62	60,1	59,2	60,5	60	60,6
Výška průměr [mm]	69,9	68,3	67,8	68,7	68,7	69,1
Hmotnost před sycením [g]	1156,7	1125,8	1134,8	1134,6	1129,3	1132,3
Objem vzorku [m ³]	0,0005 7	0,0005 6	0,0005 6	0,0005 6	0,0005 6	0,0005 7
Hmotnost pod vodou [g]	690,5	673,4	683,2	676,3	676	676
Hmotnost nasycená [g]	1162,4	1130,3	1138,5	1139,2	1134,9	1140,2
Obj. hmotnost dle rozměrů [Mg/m ³]	2,028	2,014	2,043	2,017	2,011	1,992
Obj. hmotnost SSD [Mg/m ³] 2 × 50; 155 °C	2,448	2,461	2,489	2,448	2,457	2,436
Mezerovitost [%]	8,57	8,09	7,03	8,57	8,20	9,01
Parametry vody	T _{vody}	ρ				
	16,7	998,79				
	°C	[kg/ m ³]				
Modul tuhosti [MPa] 0 °C	17864	21351	14604	16860	12913	12426
Modul tuhosti [MPa] 0 °C	13561	14320	12472	12846	13004	11395
Modul tuhosti [MPa] 15 °C	6000	6643	6151	6030	6260	5579
Modul tuhosti [MPa] 15 °C	5726	6316	5736	5826	5594	5535
Modul tuhosti [MPa] 27 °C	4015	2916	2627	2485	2556	2395
Modul tuhosti [MPa] 27 °C	3202	2834	2956	2258	2327	2267
Modul tuhosti [MPa] 40 °C	2003	1773	1808	1445	1497	1661
Modul tuhosti [MPa] 40 °C	1861	1821	1741	1712	1593	1550
Marshall stabilita [kN]				7,9	7,7	7,8
Přetvoření [mm]				6,8	8,2	7,5
Pevnost [kN]				9	8,8	8,9

Tabulka 33 - Vlastnosti MT SMA 2 × 40; 155 °C

MT SMA 2 x 40; 155 °C						
Vzorek č.	55	56	57	58	59	60
Průměr [mm]	102	102	103,1	102	102	102,1
Výška 1 [mm]	59,7	60,1	59,5	59,4	60,6	59,8
Výška 2 [mm]	59,3	60	59,8	60,7	60,3	59,9
Výška 3 [mm]	59,3	59,7	60,2	60,3	60,3	60,2
Výška 4 [mm]	59,3	59,8	59,7	60,5	61,2	59,7
Výška průměr [mm]	67,9	68,3	68,5	68,6	68,9	68,3
Hmotnost před sycením [g]	1135,9	1125,9	1143,1	1139	1135,1	1122,9
Objem vzorku [m ³]	0,0005 6	0,0005 6	0,0005 7	0,0005 6	0,0005 6	0,0005 6
Hmotnost pod vodou [g]	685,1	675,3	682,1	680,6	677,7	671,3
Hmotnost nasycená [g]	1140,3	1130,8	1148,2	1143,5	1140,5	1127,3
Obj. hmotnost dle rozměrů [Mg/m ³]	2,046	2,016	2,000	2,032	2,016	2,006
Obj. hmotnost SSD [Mg/m ³] 2 × 40; 155 °C	2,492	2,468	2,449	2,457	2,449	2,459
Mezerovitost [%]	6,92	7,80	8,52	8,21	8,51	8,14
Parametry vody	T _{vody}	ρ				
	16,7	998,79				
	°C	[kg/ m ³]				
Modul tuhosti [MPa] 0 °C	12574	12572	11474	11095	13642	12992
Modul tuhosti [MPa] 0 °C	11925	21031	14242	11790	13580	12498
Modul tuhosti [MPa] 15 °C	6763	3520	5726	5070	5185	6869
Modul tuhosti [MPa] 15 °C	7076	6266	5696	5094	5004	5087
Modul tuhosti [MPa] 27 °C	3123	3034	2444	2387	2447	2703
Modul tuhosti [MPa] 27 °C	3098	2641	2476	2502	2307	2782
Modul tuhosti [MPa] 40 °C	2244	1890	1842	1882	1827	2434
Modul tuhosti [MPa] 40 °C	2080	2053	1719	1914	1936	1980
Marshallova stabilita [kN]				6,8	7,7	7,1
Přetvoření [mm]				3,5	5,8	5,7
Pevnost [kN]				7,7	8,8	7,9

Tabulka 34 - Zrnitostní složení kameniva a fileru SMA

SMA	Frakce [mm]	m [g]	Zbytek [%]	Celk. zbytek [%]	Celk. propad [%]
	16	0	0	0	100
	11,2	49,6	5,10	5,10	94,90
	8	471,5	48,43	53,53	46,47
	5,6	108	11,09	64,62	35,38
	4	66,2	6,80	71,42	28,58
	2	58,5	6,01	77,43	22,57
	1	47,2	4,85	82,28	17,72
	0,5	30,2	3,10	85,38	14,62
	0,25	20	2,05	87,44	12,56
	0,125	16	1,64	89,08	10,92
	0,063	17,6	1,81	90,89	9,11
	dno	88,7	9,11	100,00	0,00
Σ	973,5	g			

11. Seznam obrázků, tabulek a grafů

11.1. Seznam obrázků

Obrázek 1 - Realizace litého asfaltu na mostní konstrukci	26
Obrázek 2 - Bomag BVP 18/45 D	27
Obrázek 3 - Obousměrná deska Bomag BPR 25/40.....	27
Obrázek 4 - Dvouosý tandemový válec Bomag BW 206 AD - 5 s vyosenými běhouny ..	30
Obrázek 5 - Tříběhounový statický válec Dynapac CS1400	30
Obrázek 6 - Systém skrápění pneumatik výrobce Bomag	32
Obrázek 7 - Statický pneumatikový válec Stavostroj, rok 1994	34
Obrázek 8 - Moderní statický pneumatikový válec Hamm GRW 280i.....	34
Obrázek 9 - Princip vibrace	37
Obrázek 10 - Moderní dvouosý tandemový vibrační válec Dynapac CC234HF.....	38
Obrázek 11 - Moderní vibrační válec Bomag BW174BWP	38
Obrázek 12 - Princip oscilace	40
Obrázek 13 - Princip oscilace, výrobce techniky Hamm.....	40
Obrázek 14 - Kombinované válce Hamm DV70i a HD 10 – Německo	41
Obrázek 15 - Sestava válců pro hutnění dálniční stavby	42
Obrázek 16 - Schéma finišeru pro pokládku asfaltových hutněných směsí	43
Obrázek 17 - Chodníkový finišer Vögele Super 800-3i	44
Obrázek 18 - Vögele Super 1300-3i na pásovém podvozk	45
Obrázek 19 - Univerzální finišer Dynapac SD 2500WS	46
Obrázek 20 - Dálniční finišer Vögele Super 2100-3i	47
Obrázek 21 - Finišer Vögele 2100-3i a Vögele MT 3000–3 Standard	49
Obrázek 22 - Způsob měření teploty asfaltové směsi	51

Obrázek 23 - Termoizolovaný návěš pro přepravu asfaltových směsí.....	52
Obrázek 24 – Počítač umístěný na finišeru, lze kontrolovat plán pokládky	53
Obrázek 25 - Pokládka na teplou spáru	55
Obrázek 26 - Pokládka na studenou spáru.....	56
Obrázek 27 - Radiometrická sonda Troxler 4640-B	62
Obrázek 28- Průběh stavby 1	66
Obrázek 29 - Průběh stavby 2	66
Obrázek 30 - Výroba Marshallových těles.....	69
Obrázek 31 - Marshallův pěch.....	69
Obrázek 32 – Extraktor.....	76
Obrázek 33 - Kamenivo a filer po extrakci	76
Obrázek 34 - Příklad pro měření modulů tuhosti	79
Obrázek 35 - Graf Marshallovy stability	80
Obrázek 36 - Průběh zkoušky na Marshallovu stabilitu	81

11.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Rozdělení silničních válců	28
Tabulka 2 -Srovnání parametrů válců od výrobců hutnické techniky.....	33
Tabulka 3 - Srovnání stejného válce s odlišnou technologií - vibrační a oscilační.....	42
Tabulka 4 parametry finišerů z jednotlivých kategorií od výrobce Vögele.....	48
Tabulka 5 - Teploty asfaltové směsi při jejím rozprostírání	50
Tabulka 6 - Doporučené teploty pro hutnění asfaltových směsí	51
Tabulka 7 - Doporučené minimální teploty (°C) okraje prvního pruhu při pokládce na teplou spáru	54
Tabulka 8 - Minimální teploty vzduchu (ČSN 73 6121)	57
Tabulka 9 - Požadované parametry na míru zhutnění vrstvy	59

Tabulka 10 - Požadovaná mezerovitost dle typu asfaltové vrstvy	63
Tabulka 11 - Seznam vytvořených Marshallových těles.....	67
Tabulka 12 - Maximální objemová hmotnost ACP	84
Tabulka 13 - Obsah rozpustného pojiva ACP.....	86
Tabulka 14 - Maximální objemová hmotnost ACL.....	93
Tabulka 15 - Obsah rozpustného pojiva ACL	95
Tabulka 16 - Maximální objemová hmotnost SMA	103
Tabulka 17 - Obsah rozpustného pojiva SMA.....	105
Tabulka 18 - Shrnující výsledky.....	113
Tabulka 19 – Vlastnosti vývrtů ACP	117
Tabulka 20 - Vlastnosti MT ACP 2 × 50; 165 °C.....	118
Tabulka 21 - Vlastnosti MT ACP 2 × 50; 155 °C.....	119
Tabulka 22 - Vlastnosti MT 2 × 50; 145 °C.....	120
Tabulka 23 - Zrnitostní složení kameniva a fileru ACP.....	121
Tabulka 24 - Vlastnosti vývrtů ACL	122
Tabulka 25 - Vlastnosti MT 2 × 50; 165 °C.....	123
Tabulka 26 - Vlastnosti MT ACL 2 × 50; 165 °C.....	124
Tabulka 27 - Vlastnosti MT ACL 2 × 75; 165 °C.....	125
Tabulka 28 - Zrnitostní složení kameniva a fileru ACL.....	126
Tabulka 29 - Vlastnosti vývrtů SMA.....	127
Tabulka 30 - Vlastnosti MT SMA 2 × 50; 165 °C	128
Tabulka 31 - Vlastnosti MT SMA 2 × 40; 165 °C	129
Tabulka 32 - Vlastnosti MT SMA 2 × 50; 155 °C	130
Tabulka 33 - Vlastnosti MT SMA 2 × 40; 155 °C	131
Tabulka 34 - Zrnitostní složení kameniva a fileru SMA	132

11.3 Seznam grafů

Graf 1 - Závislost teploty při hutnění na obj. hmotnosti SDD ACP.....	83
Graf 2 - ACP-porovnání objemových hmotností MT a vývrtů	83
Graf 3 - Mezerovitost ACP v závislosti na teplotě při hutnění MT.....	85
Graf 4 - Křivka zrnitosti směsi ACP	86
Graf 5 - Moduly tuhosti ACP při teplotě hutnění MT 165 °C	88
Graf 6 - Moduly tuhosti ACP při teplotě hutnění MT 155 °C	88
Graf 7 - Moduly tuhosti ACP při teplotě hutnění MT 145 °C	89
Graf 8 - Marshallova stabilita ACP v závislosti na teplotě při hutnění.....	90
Graf 9 - Závislost obj. hmotností ACL na počtu úderů při hutnění MT při teplotě	92
Graf 10 - ACL-porovnání objemových hmotností MT a vývrtů ACL	93
Graf 11 - Mezerovitost ACL v závislosti na počtu úderů MT při teplotě 165 °C.....	94
Graf 12 - Křivka zrnitosti ACL.....	95
Graf 13 - Moduly tuhosti ACL při teplotě hutnění MT 165 °C a 2 × 50 úderech	97
Graf 14 - Moduly tuhosti ACL při teplotě hutnění MT 165 °C a 2 × 65 úderech.....	97
Graf 15 - Moduly tuhosti ACL při teplotě hutnění MT 165 °C a 2 × 75 úderech.....	98
Graf 16 - Marshallova stabilita ACL v závislosti na počtu úderů při teplotě 165 °C.....	99
Graf 17 - Graf závislosti objemových hmotností SMA na počtu úderů při hutnění MT při teplotě 165 °C.....	101
Graf 18 - Graf závislosti objemových hmotností SMA na počtu úderů při hutnění MT při teplotě 155 °C.....	102
Graf 19 - SMA-porovnání objemových hmotností MT a vývrtů	103
Graf 20 - Mezerovitost SMA v závislosti na počtu úderů MT při teplotě 165 °C	104
Graf 21 - Mezerovitost SMA v závislosti na počtu úderů MT při teplotě 155 °C	105
Graf 22 - Křivka zrnitosti SMA	106

Graf 23 - Moduly tuhosti SMA při teplotě hutnění MT 165 °C a 2 x 50 úderech	108
Graf 24 - Moduly tuhosti SMA při teplotě hutnění MT 165 °C a 2 x 40 úderech	108
Graf 25 - Moduly tuhosti SMA při teplotě hutnění MT 155 °C a 2 x 50 úderech	109
Graf 26 - Moduly tuhosti SMA při teplotě hutnění MT 155 °C a 2 x 40 úderech	109
Graf 27 - Marshallova stabilita SMA v závislosti na počtu úderů MT při teplotě 165 °C	111
Graf 28 - Marshallova stabilita SMA v závislosti na počtu úderů MT při teplotě 155 °C	111