

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Katedra silničních staveb



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Sledování zhutnitelnosti asfaltových směsí
v podmínkách pokládky**

**Monitoring of Compaction of Asphalt Mixes
in-situ**

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

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

Ondřej Růžička

Praha 2019



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Růžička Jméno: Ondřej Osobní číslo: 438518
Zadávatel: Katedra silničních staveb
Studijní program: (B3651) Stavební inženýrství
Studijní obor: (3647R013) Konstrukce a dopravní stavby

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Sledování zhutnitelnosti asfaltových směsí v podmínkách pokládky
Název bakalářské práce anglicky: Monitoring of Compaction of Asphalt Mixes in-situ

Pokyny pro vypracování:

Rešerše problematiky zhutňování asfaltových směsí, hutnicí technika, metody kontroly zhutnění asfaltových směsí a vrstev, hutnicí sestavy, provedení monitoringu hutnění na vybrané stavbě, hodnocení podmínek hutnění (hutnicí mechanismy, teplota, vítr, typ směsí), porovnání teoretických předpokladů se získanými výsledky z hodnoceného úseku

Seznam doporučené literatury:

Pokládka hutněných asfaltových směsí (Václav Hanzík a kolektiv)

Softwarový nástroj HAV

Příslušné normy a technické předpisy

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Petr Mondschein, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 20.1.2019

Termín odevzdání bakalářské práce: 26.5.2019

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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“.

25-02-2019

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že zadanou bakalářskou práci na téma „Sledování zhutnitelnosti asfaltových směsí v podmínkách pokládky“ jsem zpracoval samostatně, bez cizí pomoci s jedinou výjimkou, a to poskytnutou konzultací s vedoucím bakalářské práce. Uvedl jsem veškerý seznam použité literatury a informačních zdrojů. Dále prohlašuji, že nemám závazný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Mělníku dne 20. 5. 2019

Ondřej Růžička



Poděkování:

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Petru Mondscheinovi, Ph.D. za vedení této bakalářské práce, za sdílení jeho zkušeností, poznatků a také za jeho trpělivost a pomoc při jejím zpracování. Dále bych rád poděkoval vysoké škole ČVUT v Praze za umožnění optimálních podmínek pro práci a v neposlední řadě také mé rodině a přátelům za podporu a pomoc.



Abstrakt

Tato práce se zabývá problematikou zhutňování asfaltové směsi a faktorů ovlivňující míru zhutnění asfaltové úpravy v podmínkách pokládky. Nejprve je představeno několik druhů asfaltových směsí z pohledu zhutňování, hutnicí technika a metody kontroly míry zhutnění asfaltové úpravy. V další části práce je proveden experimentální výzkum a sběr vybraných údajů, které jsou dále zpracovány a konfrontovány s teoretickými předpoklady průběhu ochlazování a míry zhutnění asfaltové úpravy. Ve výsledku práce došlo pouze k přiblížení k teoretickým hypotézám, ale ne k jejich naplnění. Z čehož vyplývá, že posuzované teoretické předpoklady jsou pouze orientační, ale ne směrodatné.

Abstract

This thesis deals with an asphalt mixture compaction and factors that affect an extent of compacting of an asphalt processing under condition of an asphalt laying. At first, there are presented several types of asphalt mixtures from the compacting point of view, compacting technique and checking methods of a compacting extend of a completed asphalt topping. In another part of this thesis there is conducted an experimental research and selected data collecting that is afterwards being processed and compared with theoretical assumptions in the course of cooling and compacting extend of an asphalt topping. At the end of my thesis I came to the conclusion that it only came about approaching theoretical hypothesis not coming up to expectations. It follows that theoretical assumptions, which we assessed, are approximate only but not determinative.

Klíčová slova

Zhutňování, míra zhutnění, hutnicí technika, asfaltová směs, sonda Troxler.

Keywords

Compaction, compaction rate, compaction technology, asphalt mixture, probe Troxler.



Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	9
1.Úvod	11
2.Problematika zhutňování asfaltových směsí	13
3.Asfaltové směsi z pohledu zhutňování	15
3.1 Rozdělení asfaltových směsí podle zhutnitelnosti.....	15
3.2 Hutnění tuhých směsí	18
3.3 Hutnění nestabilních směsí.....	19
3.4 Základní parametry často používaných asfaltových směsí	20
4.Hutnicí technika	25
4.1 Statické válce s hladkými ocelovými běhouny	26
4.1.1 Základní údaje	26
4.1.2 Charakteristiky statických válců s hladkými ocelovými běhouny	27
4.1.3 Druhy statických válců s hladkými ocelovými běhouny	27
4.2 Pneumatikové válce.....	28
4.2.1 Základní údaje	28
4.2.2 Charakteristiky pneumatikových válců.....	29
4.2.3 Použití pneumatikových válců	30
4.3 Válce hutnicí s dynamickými účinky.....	31
4.3.1 Vibrační válce	32
4.3.1.1 Základní údaje.....	32
4.3.1.2 Charakteristiky vibračních válců	32
4.3.1.3 Druhy vibračních válců	34
4.3.1.4 Použití a zásady vibračních válců	36
4.3.2 Oscilační válce	36
4.3.3 Válce s kombinovanými účinky	38
4.4 Válce kombinované, vibrační desky a pěchy	39
4.4.1 Válce kombinované	39
4.4.2 Vibrační desky a pěchy.....	40
5.Hutnicí sestavy	43
6.Klimatické vlivy ovlivňující zhutňování	47
6.1 Klimatické vlivy při rozprostírání a hutnění.....	47
6.2 Klimatické vlivy na ochlazování směsi během přepravy na staveniště ...	49
7.Metody kontroly zhutnění asfaltových směsí a vrstev	51
7.1 Míra zhutnění asfaltové směsi	51
7.1.2 Destruktivní metody kontroly zhutnění.....	53
7.1.3 Nedestruktivní metody kontroly zhutnění.....	54
7.1.3.1 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa .	54
7.1.3.2 Radiometrická soustava pro měření objemové hmotnosti	54



Troxler Model 4640-B	54
7.1.3.3 Neradiometrická soustava pro měření objemové hmotnosti	56
Troxler Model 2701-B, PaveTracker™ Plus.....	56
7.2 Zkouška mezerovitosti.....	57
8.Provedení monitoringu hutnění na stavbě	59
8.1 Rekonstrukce komunikace – Dolany	61
8.1.1 Provedení monitoringu hutnění – Dolany	62
8.1.2 Hutnící mechanizace.....	65
8.2 Rekonstrukce komunikace – Velká Dobrá.....	67
8.2.1 Provedení monitoringu hutnění – Velká Dobrá	69
8.2.2 Hutnící mechanizace.....	71
8.3 Rekonstrukce komunikace – Hadačka	72
8.3.1 Provedení monitoringu hutnění – Hadačka	73
8.3.2 Hutnící mechanizace.....	75
9.Porovnání teoretických předpokladů se získanými výsledky	77
9.1 Ověření ochlazování asfaltové směsi.....	77
9.1.1 Monitoring teploty stavby – Dolany	77
9.1.2 Monitoring teploty stavby – Velká Dobrá.....	79
9.1.3 Monitoring teploty stavby – Hadačka	81
9.2 Ověření zhutňovacích sestav	84
9.2.1 Ověření zhutňovací sestavy – Dolany.....	84
9.2.2 Ověření zhutňovací sestavy – Velká Dobrá	90
9.2.3 Ověření zhutňovací sestavy – Hadačka.....	93
10. Závěr	97
Použitá literatura	99
Seznam obrázků	105
Seznam tabulek	109



Seznam použitých symbolů a zkratek

Poznámka 1: V následující práci je používán tento styl číslování obrázků a tabulek:

3. pořadové číslo obrázku nebo tabulky v celé bakalářské práci.

Poznámka 2: V této práci je výjimečně užíváno některých stejných znaků s různým významem s tím, že na příslušném místě je význam symbolu vysvětlen.

ACL	asfaltový beton pro ložné vrstvy
ACO	asfaltový beton pro obrusné vrstvy
ACP	asfaltový beton pro podkladní vrstvy
AKO	asfaltový koberec otevřený
BBTM	asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy
b_f	šířka finišerem pokládaného pruhu nebo šířka hutněného pruhu [m]
C	parametr zhutnitelnosti směsi [-]
C_w	koeficient účinnosti běhounů válce (Nijboerovo zhutňovací číslo [N/mm ²])
$C_{w,dyn}$	dynamický koeficient účinnosti běhounů válce (Nijboerovo zhutňovací číslo [N/mm ²])
$C_{w,stat}$	statický koeficient účinnosti běhounů válce (Nijboerovo zhutňovací číslo [N/mm ²])
DDK	drobné drcené kamenivo
DTK	drobné těžené kamenivo
f	frekvence [Hz]
h	tloušťka vrstvy po zhutnění [mm]
HDK	hrubé drcené kamenivo
L	označení lehce zhutnitelné směsi
M	modifikované směsi
M	mezerovitost [% objemu]



NV	nízkoviskózní asfaltové směsi
PA	drenážní koberec
PT	označení polotežce zhutnitelné směsi
Q_s	množství pokládané směsi [t/h]
R_f	zhutňovací faktor podle Nijboera [-]
$R_{f,n}$	zhutňovací faktor podle Nijboera pro n pojezdů příslušných běhounů [-]
$R_{f,tab}$	mezní hodnota zhutňovacího faktoru R_f podle tabulky 1.9 [-]
S	označení středně těžce zhutnitelné směsi
SMA	asfaltový koberec mastixový
T	označení těžce zhutnitelné směsi
T_0	počáteční teplota směsi (vrstvy) po rozprostření [°C]
T_M	střední teplota asfaltové vrstvy vybraného místa [°C]
TK	těžené kamenivo
v	pracovní rychlost pojezdu válce [km/h]
VL	označení velmi lehce zhutnitelné směsi
VT	označení velmi těžce zhutnitelné směsi
ZT	zkouška typu
η_m	viskozita asfaltové směsi podle Nijboera [Pa.s]
$\rho_{b,dim}$	objemová hmotnost zhutněné směsi určená podle ČSN EN 12697-6 na vývrtu nebo výseku [kg/m ³]
ρ_{bssd}	objemová hmotnost zhutněné směsi určená podle ČSN EN 12697-6 na vývrtu nebo výseku [kg/m ³]
ρ_{max}	maximální objemová hmotnost určená ve vodě podle ČSN EN 12697-5 [kg/m ³]
τ_{cb}	Nijboerova počáteční tuhost asfaltové směsi při zhutňování [N/mm ²]



1. Úvod

Tato BP se věnuje problematice zhutňování a dosahování požadované míry zhutnění asfaltové směsi vyráběné za horka. Dále se uvažuje pojezd válcem jako jedna jízda a hutnící cyklus jako jízda válcem tam a zpět.

Teoretická část je zaměřena na asfaltové směsi z pohledu problematiky zhutňování a jejich vlastnostem ovlivňující míru zhutnění. Největší pozornost je věnována tradičním zhutňovacím prostředkům, tedy silničním válcům. Ty jsou v současné době, i přes snahu nahradit je moderními finišery, které mohou dosahovat až požadované míry zhutnění, stále nedílnou součástí hutnícího procesu. Charakterizovány jsou válce statické, pneumatikové, válce s hutnícími dynamickými účinky a válce kombinované. V závěru teoretické části jsou přibližně kontroly míry zhutnění asfaltové úpravy pomocí destruktivních a nedestruktivních metod.

V praktické části jsou monitorovány vybrané 3 stavby, na kterých se zaznamenávali pomocí příslušných zařízení faktory ovlivňující míru zhutnění a ochlazení asfaltové úpravy včetně těchto parametrů a ty se následně porovnávaly s teoretickými předpoklady, stanovené programem HAV.



2. Problematika zhutňování asfaltových směsí

Zhutnění asfaltové směsi za optimálních podmínek je jedním z nejdůležitějších faktorů kvalitní komunikace. Poruchy se na vozovce dříve nebo později objeví, ale naším cílem je zajistit její maximální životnost a co nejvíce tak eliminovat poruchovost asfaltových povrchů. Životnost asfaltové komunikace je závislá především na vysoké a správné míře zhutnění. Pokud nedojde k normovanému zhutnění povrchu, vznikne nadměrná mezerovitost asfaltové směsi a následkem toho pak může být nepříznivé pronikání vody do směsi (menší trvanlivost), zanášení mezer povrchu prachem (špatné protismykové vlastnosti) nebo nižší jízdní komfort. Právě životnost a samotný stav komunikací je v České republice ve velmi špatném stavu, proto bychom se touto problematikou měli zabývat více než doposud [1].

Základem každého asfaltového povrchu je dobře připravený podklad, bez kterého nelze zaručit kvalitu ani životnost žádné komunikace. Správné zhutnění asfaltové směsi ovlivňuje několik faktorů, které bychom si měli vždy uvědomit – složení asfaltové směsi, její zhutnitelnost (parametr C), množství směsi, tloušťka pokládané vrstvy, teplota směsi, teplota podkladu, teplota vzduchu, rychlost větru, vzdálenost pokládané vrstvy od obalovny, doprava asfaltové směsi, rozprostírání asfaltové směsi (ruční, strojní), míra předhutnění finišerem, zhutňovací sestava, kontroly zhutněného povrchu. Jedině správná koordinace profesí v průběhu asfaltování, znalost problematiky zhutňování a správné nakládání s výše uvedenými faktory vede k dlouhotrvajícímu asfaltovému povrchu s předepsanými jízdními vlastnostmi.



3. Asfaltové směsi z pohledu zhutňování

Asfaltové směsi lze rozdělit do několika skupin podle zhutnitelnosti, dále na hutnění nestabilních směsí a hutnění tuhých směsí.

3.1 Rozdělení asfaltových směsí podle zhutnitelnosti

Zhutnitelnost asfaltových směsí měříme destruktivními nebo nedestruktivními zkouškami. Tímto tématem se budeme blíže zabývat v kapitole 7.

Parametry ovlivňující zhutnitelnost [1]:

- množství hrubého drceného kameniva (HDK);
- poměr a obsah drobného drceného kameniva (DDK) i těžného kameniva (TK);
- množství a kvalita jemných částic nebo obsah a druh asfaltového pojiva, které v současné době komplikuje rozdělení směsí podle zhutnitelnosti.

Asfaltové směsi lze tedy rozdělit do šesti kategorií podle zhutnitelnosti. V tabulce 1 můžeme nalézt podrobné údaje o jednotlivých kategoriích.

Rozdělení [1]:

- **velmi lehce zhutnitelné** (označení VL) jsou asfaltové směsi, které se vyznačují vysokým množstvím asfaltu, těžného kameniva (TK) a nízkým obsahem hrubého drceného kameniva (HDK). Směsi charakterizující VL jsou například jemnozrnné štěrkopískové koberce nebo pískové asfaltové koberce, které se v současné době už téměř nepoužívají. Jedná se o směsi nestabilní a jejich problematikou zhutňování se budeme zabývat v části 3.3;
- **lehce zhutnitelné** (označení L) jsou asfaltové směsi, které se vyznačují vyšším množstvím asfaltového tmelu, středně vysokým množstvím hrubého drceného kameniva (HDK), výrazným podílem drobného těžného kameniva (DTK) a nízkou mezerovitostí zhutněné směsi. Směsi charakterizující L jsou například jemnozrnné asfaltové betony ACO 8, ACO CH apod. obsahující silniční asfalty 50/70 a 70/100;
- **středně těžce zhutnitelné** (označení S) jsou zpravidla nemodifikované směsi používané pro obrusné vrstvy komunikace s nejvyšší velikostí zrna 11 mm (8 mm) nebo 16 mm, obsahují drobné těžné i drcené kamenivo



(DTK, DDK) a silniční asfalty 50/70, popř. 70/100;

- **polotěžce zhutnitelné** (označení PT) jsou buď modifikované nebo nemodifikované asfaltové směsi s malým množstvím asfaltového tmelu (asfalty 50/70 a PMB) a těžného kameniva (TK) a vyšším množstvím hrubého drceného kameniva (HDK) s nejvyšší velikostí zrna 16 mm, 22 mm i 32 mm. Směsi charakterizující PT jsou například ACO 11, ACO 16, ACL 16, ACL 22 případně směsi typu ACP 16 a ACP 22;
- **těžce zhutnitelné** (označení T) jsou zpravidla směsi modifikované, ale mohou být také nemodifikované s malým množstvím asfaltu (PMB, 30/45, 50/70) a těžného kameniva (TK) a vyšším množstvím hrubého drceného kameniva (HDK) a poměrně vysokou mezerovitostí zhutněné směsi. Nejvyšší velikost zrna bývá 16 mm nebo 22 mm. Směsi charakterizující T jsou například ACL 16S, ACL 22S nebo ACP 16S a ACP 22S s vysokým množstvím drceného kameniva (DK);
- **velmi těžce zhutnitelné** (označení VT) bývají pouze modifikované směsi obsahující drcené kamenivo (DK), vysokým poměrem hrubého kameniva (HK), často s malým množstvím „tvrdého“ asfaltu a poměrně vyšší mezerovitostí. Směsi charakterizující VT jsou například ACL 22S, ACP 22S a modifikované směsi SMA 11, SMA 16 popřípadě speciální typy směsí.

Hodnoty τ_{cb} a η_m potřebujeme určit nejen pro stanovení kategorie zhutnitelnosti, ale také je vhodné znát jejich velikost pro posouzení efektivity navržené zhutňovací sestavy a výkonnosti válce. V současné době se výše uvedené materiálové charakteristiky, kvůli jejich náročnosti na výpočet, stanovují v programu na počítači. Touto problematikou se v této bakalářské práci nebudeme dále zabývat [1].

V tabulce 1 byly pro jednotlivé kategorie zhutnitelnosti vypočítány jejich charakteristické hodnoty.



Tabulka 1: Orientační rozdělení asfaltových směsí podle zhutnitelnosti [1; 3].

Typ směsi podle dílčí zhutnitelnosti	Označení směsi	Odpovídající „typický“ druh směsi	Druh drobného kameniva, poměr drce-né:těžce	Maximální velikost zrna směsi kameniva	Mezerovitost zhutněné směsi v % objemu	Informativní rozmezí hodnot Nijboerových materiálových charakteristik při teplotě 100 °C ³⁾	
						Počáteční tuhost τ_{cb} (N/mm ²)	Viskozita η_m (Pa.s)
1	2	3	4	5	6	7	8
Velmi lehce zhutnitelná	VL	štěrkopískové a pískové (ne-normované) směsi	0 : 1	4, 8	2,0–5,0	$< 6,5 \cdot 10^{-4}$	$< 1,50 \cdot 10^7$
Lehce zhutnitelná	L	ACO 8, ACO 8CH	1 : 2 až 1 : 1	8	1,0–4,0	6,5–8,0 · 10 ⁻⁴	1,50–2,00 · 10 ⁷
Středně těžce zhutnitelná	S	ACO 11+, ACO 11, ACO 16+, ACO 16	3 : 2 až 2 : 1	11, 16, (8)	2,5–4,0	8,0–9,5 · 10 ⁻⁴	1,65–2,30 · 10 ⁷
Polotěžce zhutnitelná	PT	ACL 16+, ACL 16, ACL 22+, ACL 22, ACO 16+(M), ACO 11+ (M)	2 : 1 až 1 : 0	16, 22 (16, 11)	4,0–6,0 (2,5–4,0)	9,5–11,5 · 10 ⁻⁴	1,90–2,70 · 10 ⁷
Těžce zhutnitelná	T	ACL 16S, ACL 22S, ACP 16S, ACP 22S	1 : 0 1 : 0 až 2 : 1	16, 22	4,0–6,0 5,0–7,0	11,5–14,5 · 10 ⁻⁴	2,30–3,00 · 10 ⁷
Velmi těžce zhutnitelná	VT	ACL 22S, ACP 22S, SMA 11S(M), SMA 16S(M), speciální směsi	1 : 0	22 (16), 11, 16	4,0–6,0 5,0–7,0 3,0–4,0	$> 14,5 \cdot 10^{-4}$	$> 3,00 \cdot 10^7$
<p>Poznámky [1]:</p> <p>1) (M)-modifikované směsi.</p> <p>2) Při stanovení Nijboerových materiálových charakteristik (τ_{cb} a η_m) při teplotě 100 °C byl použit nemodifikovaný asfalt 70/100. Při použití jiného asfaltu je nutná korekce teploty, čímž se změní hodnoty τ_{cb} a η_m.</p> <p>3) Pro určení zhutnitelnosti konkrétní směsi je základem vypočítaná hodnota počáteční tuhosti τ_{cb} a k ní následně přiřazená nejbližší hodnota zhutnitelnosti podle viskozity η_m ze stejné tabulky. Pokud hodnoty τ_{cb} a η_m mají rozdílné přiřazení podle zhutnitelnosti, vybíráme obtížněji zhutnitelnou skupinu. To platí pouze v případě, pokud rozdíl v přiřazení je maximálně o jednu skupinu. V případě většího rozdílu nelze zkoušku takto vyhodnotit a je nutné určit pouze odborný odhad na základě materiálových charakteristik τ_{cb} a η_m, popřípadě dalších poznatků a zkoušek.</p>							



3.2 Hutnění tuhých směsí

Za tuhé považujeme směsi velmi těžce zhutnitelné s poměrně malým množstvím tvrdých asfaltů a s vysokým množstvím hrubého drceného kameniva (HDK). U těchto směsí je velmi náročné dosáhnout normované míry zhutnění, a to především z důvodu jejich velké stability (převážně tzv. skeletový typ) a vysokého vnitřního tření. Při závěrečné fázi hutnění nebývají zpravidla problémy s dosažením požadované rovnosti [1].

Abychom co nejsnadněji dosáhli normované míry zhutnění, je nutné se držet následujících pravidel [1]:

- směsi udržovat jenom při nejvyšších možných teplotách, chránit je proti rychlému ochlazení, a to při všech možných situacích jako jsou výroba, doprava, rozprostírání a optimální čas pro hutnění;
- směsi pokládat pouze za příznivého počasí (vysoká teplota, malá rychlost větru);
- směsi pokládat výhradně ve vyšších tloušťkách, kde je chladnutí pozvolné;
- pomocí finišeru zajistit pokud možno co nejvyšší možnou míru předhutnění;
- zaměřit se na vhodný návrh nebo výběr hutnicí sestavy; vyhnout se lehkým statickým nebo pneumatikovým válcům s malým statickým lineárním zatížením. Nejvhodnějším výběrem můžou být těžké vibrační válce s pohonem obou běhounů s vysokým statickým lineárním zatížením běhounů (cca 25 N/mm až 35 N/mm) a vyšším koeficientem účinnosti běhounů C_w . Pro počáteční a závěrečnou fázi hutnění jsou vhodné třiběhounové dvouosé válce. Pro hlavní fázi hutnění jsou vhodné především kombinované válce s dynamickými účinky (vibrace, oscilace) a u vrstev do 80 mm připadají v úvahu také válce oscilační;
- pouze při použití finišerů s vysokou mírou předhutnění a při použití těžkých vibračních válců pro hlavní fázi hutnění je povoleno provádět hutnění ve 2 fázích, v ostatních případech se doporučují fáze 3;
- v průběhu hutnění a hlavně na jeho začátku je vhodné používat zařízení pro kontrolu zhutnitelnosti (například sondu Troxler) a případně rychle reagovat na změnu technologického postupu pro dosažení požadované



míry zhutnění;

- pro první dvě fáze hutnění (počáteční a hlavní) je vhodné udržovat teplotu směsi větší než 100 °C, aby byla docílena požadovaná míra zhutnění. Pro dosažení zhutnění v těchto teplotách je možné využít jízdu dvou válců těsně za sebou;
- pracovní rychlost válce při hutnění tuhých směsí bývá v porovnání s hutněním ostatních směsí nižší, přibližně 2,5 km/h až 4 km/h, a s vyšší amplitudou vibrace. Frekvence vibrace bývá nižší, zhruba 30 Hz až 40 Hz.

3.3 Hutnění nestabilních směsí

Za nestabilní považujeme směsi s vysokým množstvím těžného kameniva, jemných písků a filerů, kvůli kterým vznikají při hutnění problémy. Tyto směsi nejsou náročné na dosažení požadované míry zhutnění. Jejich problematika ovšem spočívá při hutnění, kdy se běhouny „boří“ do asfaltu, tím se vytvářejí vlny, asfaltová směs se hrne a vytlačuje okolo běhounů, také dochází ke zvýšenému tvoření trhlin na asfaltovém povrchu [1].

Při hutnění nestabilních směsí je potřeba se držet následujících pravidel, abychom co nejnárodněji dosáhli požadované rovnosti, kvality a míry zhutnění [1]:

- pomocí finišeru zajistit pokud možno co nejvyšší možnou míru předhutnění;
- tloušťky nestabilních asfaltových směsí by měly být co nejmenší. Dle Blumera [15] by tloušťka položené vrstvy neměla být větší než čtyřnásobek maximální velikosti zrna v asfaltové směsi;
- zaměřit se na vhodný návrh nebo výběr hutnicí sestavy. K nevhodným válcům se řadí všechny těžké třiběhounové dvouosé válce a těžké válce s hladkými ocelovými běhouny. K vhodným válcům patří především lehké tandemové vibrační válce s pohonem obou běhounů, velkým poloměrem běhounu a nízkou hodnotou koeficientu účinnosti běhounů C_w . Za vhodné lze považovat i lehké oscilační válce;
- pro I. fázi a II. fázi hutnění (počáteční a hlavní) jsou vhodné již výše uvedené lehké vibrační tandemové válce a pro III. fázi (závěrečnou) hutnění jsou vhodné hlavně pneumatikové válce, pomocí kterých lze snadno



odstraňovat vzniklé trhliny a nerovnosti na asfaltovém povrchu;

- při hutnění nestabilních směsí bývá vhodné nechat rozprostřenou směs nejdříve vychladnout a až potom zahájit zhutňování. Pracovní rychlost při začátku hutnění je od 1 km/h do 2 km/h a se zvýšenou mírou zhutnění můžeme rychlost zvětšovat až na 4 km/h. Průměrná rychlost je tedy menší než při zhutňování ostatních asfaltových směsí. První pojezd by měl být vždy bez zapnuté vibrace, ale při zvyšování tuhosti směsi je vhodné střídat pojezdy se zapnutou vibrací a s vibrací vypnutou podle potřeby. Stejně zásady jsou i pro válce oscilační, které mohou být pro tento druh směsi ještě vhodnější než válce vibrační;
- při použití vibračních válců se doporučuje amplituda vibrace do 0,4 mm a poměrně vysoká frekvence 40 Hz až 50 Hz;
- při hutnění nestabilních směsí je potřeba dbát zvýšené pozornosti na změnu směru jízdy a v žádném případě bychom na směsi neměli stát ani se obracet.

3.4 Základní parametry často používaných asfaltových směsí

Asfaltový beton jemnozrný (označení ACO 8, ACO 8CH) je vhodný pro použití do obrusných vrstev vozovek nebo parkovišť s TDZ V a VI (CH). Maximální tloušťka zhutněné vrstvy bývá do 50 mm. Vyrábějí se nejčastěji s dobře zhutnitelnými silničními asfalty 50/70 a 70/100 [16], i proto se jedná o směsi lehce zhutnitelné viz část 3.1 [1].

Asfaltový beton střednězrný (ACO 11S, ACO 11, ACO 11) je vhodný pro použití do obrusných vrstev vozovek a parkovišť. Směsi ACO 11S s modifikovaným asfaltem jsou určeny pro TDZ S a I, směsi ACO 11+ jsou vyráběny se silničními asfalty 50/70 nebo s modifikovanými asfalty PMB 45/80 atd. a jsou vhodné pro TDZ II až IV a směsi ACO 11 se vyrábějí s asfalty 50/70 nebo 70/100 a jsou vhodné pro TDZ V a VI. Maximální tloušťka zhutněné vrstvy bývá do 50 mm [16]. Jedná se zpravidla o směsi středně těžce až těžce zhutnitelné viz část 3.1 [1].

Asfaltový beton hrubozrný (ACO 16S, ACO 16+, ACO 16) má podobné použití i složení jako asfaltový beton střednězrný. Maximální tloušťka zhutněné



vrstvy bývá do 60 mm [16]. Jedná se zpravidla o směsi středně těžce až těžce zhutnitelné viz část 3.1 [1].

Asfaltový beton pro ložní vrstvy (ACL 16S, ACL 16+, ACL 16) se pokládá do tloušťky zhutněné vrstvy 70 mm. ACL 16S se vyrábí především s modifikovanými asfalty a je určený pro TDZ S a I. ACL 16+ se uplatní při výstavbě vozovek s TDZ II až IV, vyrábějí se zpravidla s modifikovanými asfalty nebo silničními asfalty 50/70 a ACL 16 je určený pro TDZ V a VI [16]. Tyto směsi zpravidla patří do skupiny polotěžce až těžce zhutnitelné viz část 3.1 [1].

Asfaltový beton pro ložné vrstvy (ACL 22S, ACL 22+ a ACL 22) je vhodný pro tloušťky zhutněné vrstvy do 90 mm. ACL 22S se vyrábí především s modifikovanými asfalty a je určený pro TDZ S a I. ACL 22+ se uplatní při výstavbě vozovek s TDZ II až IV a ACL 22 je určený pro TDZ V a VI [16]. Tyto směsi zpravidla patří do skupiny polotěžce až velmi těžce zhutnitelných viz část 3.1 [1].

Asfaltové betony pro podkladní vrstvy (ACP 16S, ACP 16+, ACP 22S a ACP 22+) jsou vhodné pro tloušťky zhutněné vrstvy do 80 mm resp. do 100 mm. Směsi s označením S jsou vhodné pro TDZ S až II a asfaltový beton s označením + je určený pro TDZ III až VI. Vyrábějí se s tvrdšími druhy asfaltů jako je 50/70 nebo 30/45, případně s modifikovanými asfalty [16] nebo s R-materiálem. Tyto směsi zpravidla patří do skupiny polotěžce až velmi těžce zhutnitelné viz část 3.1 [1].

Asfaltové směsi s vysokým modulem tuhosti (VMT) jsou určené převážně pro podkladní a ložní vrstvy. VMT 22 se pokládají maximálně do 100 mm a VMT 16 se pokládají maximálně do 80 mm. Tyto směsi jsou zpravidla vyráběny s tvrdými druhy asfaltových pojiv (20/30, PMB 10/40-65 atd.). Řadíme je do skupiny polotěžce až těžce zhutnitelných viz část 3.1 [1].

Asfaltové koberce tenké (BBTM) jsou vyráběné za účelem výstavby nebo obnovy obrusné vrstvy vozovky do tloušťky zhutněné vrstvy 35 mm. Využívají modifikovaných asfaltových pojiv [16], které se táhnou a lepí a s poměrně rychlým ochlazováním bývají potíže s dosažením požadované zhutnitelnosti. Vyrábějí se také s dobře zhutnitelnými silničními asfalty.

Asfaltové koberce mastixové (SMA 11 S, SMA 11+, SMA 8S, SMA 8+) jsou směsi vyráběné zpravidla z drceného kameniva (DK) a modifikovaného asfaltu. Jsou vhodné pro obrusné vrstvy do 40–50 mm [16]. Díky uvedeným



vlastnostem a složení je řadíme do skupiny těžce a velmi těžce zhutnitelné viz část 3.1 [1].

Asfaltové koberce drenážní (PA 8, PA 11 a PA 16) jsou směsi vyráběné pouze z drceného kameniva (DK) a modifikovaného asfaltu. Jsou vhodné pro obrusné vrstvy do 60 mm. Jedná se o směsi odlišující se od ostatních svou vysokou mezerovitostí (16 % až 30 %), která zajišťuje vysoký jízdní komfort díky výborným protihlukovým vlastnostem, dobrým protismykovým vlastnostem a příznivému odvádění vody z povrchu vozovky. Vysoká mezerovitost je nevhodná z důvodu náchylnosti na poruchovost, čímž se výrazně krátí její životnost a to je jeden z důvodů, proč se u nás tento typ směsi neosvědčil a ani v budoucnu se s ním nepočítá, podobně jako s AKO [1, 16].

Poznámka [16, s. 37]:

„S – asfaltové betony se zvýšenou odolností proti tvorbě trvalých deformací, nahrazující směsi podle dříve platného předpisu; tyto směsi jsou hutněny při laboratorním návrhu 2 x 75 údery Marshallova pěchu při použití do obrusných a ložních vrstev konstrukce vozovky a 2 x 50 údery při použití do vrstev podkladních;

+ – asfaltové betony pro použití v konstrukčních vrstvách vozovek s TDZ II až IV u obrusných a ložních vrstev a III až VI u horních podkladních vrstev, které jsou hutněny 2 x 50 údery Marshallova pěchu;

bez označení – asfaltové betony zpravidla určené pro TDZ V a VI, které jsou hutněny 2 x 50 údery Marshallova pěchu;

CH – asfaltové betony pro nemotoristické komunikace a chodníkové úpravy, směsi jsou hutněny 2 x 50 údery Marshallova pěchu.“



Tabulka 2: Tabulka shrnující vhodnost použití válce v závislosti na hutněné směsi – podle doporučení německého DAV [20].

Druh válců		Druh hutněné směsi						
		ACP	ACL	ACO	SMA	PA, AKO	BBTM	NV směsi
Statické tříkolové válce		•	•	+	++	+	++	+
Tandemové válce	bez vibrace hmotnost do 6 t	•	•	+	•	++	•	•
	bez vibrace hmotnost nad 6 t	+	++	++	++	++	++	++
	s vibrací	++	++	+	• až +	—	—	• až +
	s oscilací	(•) až ++	(•) až ++	++	• až +	(•)	•	• až ++
Kombinované válce		+	•	•	—	—	—	—
Vhodnost válců: ++ velmi vhodné; + vhodné; • podmíněčně vhodné; — obvykle málo vhodné								



4. Hutníčí technika

Pokládka asfaltové směsi se skládá z několika na sebe navazujících pracovních činností, kterými jsou výroba asfaltové směsi v obalovně, její doprava na staveniště, rozprostření směsi pomocí finišeru (popř. ručně nebo jinou mechanizací), hutnění směsi pomocí hutníčí techniky a závěrečné (popř. průběžné) kontroly položené a zhutněné asfaltové vrstvy vozovky. Tato bakalářská práce je ale zaměřená pouze na zhutnitelnost asfaltových směsí, proto se blíže budeme zabývat jen hutníčí technikou (zhutňováním asfaltových směsí).

Trendem současné hutníčí techniky je postupné vytlačování jednotlivých fází hutnění. Fázově to vede k úplnému odstranění samostatné zhutňovací techniky (válců), a to díky zdokonalování finišerů, které v současnosti bývají doplněny dohutňovacím zařízením, pomocí kterého dosahuje standardně míra zhutnění 85–95 %, v některých případech dosahují až normou předepsaných 97 %. Této hodnoty chceme dosahovat standardně, nejen ve výjimečných případech, dále odstranit nyní potřebnou hutníčí techniku a dosáhnout ekonomičtější, rychlejší a efektivnější výstavby komunikací [1].

Dnes se však pokládka asfaltových směsí bez hutníčí techniky neobejde, proto jsou trendem válce s dynamickými účinky (vibrace, oscilace), které nám značně zhutňování směsí ulehčují, v kombinaci se správným navržením zhutňovací sestavy a dostatečným obeznámením řidiče hutníčího stroje s problematikou zhutňování [1]. Rozhrnutí asfaltové směsi v závislosti na míře zhutnění najdeme v tabulce 3 Dozery, grejdry a rozhrnovače jsou vhodné pro podkladní případné ložné vrstvy asfaltových úprav [22].



Tabulka 3: Technologie rozprostření asfaltové úpravy v závislosti na míře předhutnění [2].

Technologie pokládky	Míra předhutnění
Ruční	70 %
Dozery	80 %
Grejdry	75 %
Rozhrnovače	70 %
Finišery bez dohutňovacího zařízení	80–85 %
Finišery s dohutňovacím zařízením	85–95 %

4.1 Statické válce s hladkými ocelovými běhouny

4.1.1 Základní údaje

Při použití těchto, v praxi nazývaných hladkých statických válců, dochází pod působením běhounů na hutněné asfaltové směsi ke smykovému napětí. Pokud se velikost napětí přibližuje ke smykové pevnosti směsi, tak dochází ke zvyšování objemové hmotnosti, nahušťování zrn kameniva, zvyšování tření jednotlivých zrn kameniva mezi sebou a také ke snižování mezerovitosti asfaltové směsi, která výrazně ovlivňuje vlastnosti asfaltové komunikace [3].

Statické válce působí na zhutňovací vrstvu svislými silami, ale také silami vodorovnými. Svislé síly mají zpravidla příznivý vliv na hutněnou vrstvu. Naproti tomu síly vodorovné mohou mít příznivý vliv na hutněnou vrstvu, ale také nemusí, což závisí na tom, zdali je běhoun poháněný, anebo nepoháněný. Poháněný běhoun asfaltovou směs vtlačuje pod sebe, a příznivě tak působí na hutněnou asfaltovou směs. Nepoháněný běhoun je pravým opakem, jelikož hrne asfaltovou směs před sebou, a vytváří tak nerovnosti na povrchu vozovky, které se těžko vyhlazují. Nutno podotknout, že se v dnešní době vyrábějí ve velké většině silniční válce s poháněnými běhouny [1].

Statické silniční válce mají malý hloubkový účinek, proto je vhodné je využívat pro menší tloušťky hutněné vrstvy. Doporučené zhutňovací tloušťky jsou do maximálně 80–100 mm. To je jedním z důvodů, proč válce statické nahrazují



válce s dynamickými účinky. S dosažením potřebné míry rovnosti asfaltové komunikace nebývají u statických válců potíže, jelikož je závěrečná fáze hutnění (žehlení) zpravidla bez dynamických účinků, aby nevznikaly na komunikaci nežádoucí nerovnosti. Dynamické válce mohou být zpravidla také použity jako hladké válce s vypnutými dynamickými účinky [1].

4.1.2 Charakteristiky statických válců s hladkými ocelovými běhouny

Rychlost těchto válců je optimálně do 5 km/h při hutnění v I. fázi (počáteční), při hutnění ve III. fázi (závěrečné) se mohou pohybovat rychlosti ještě výše. Pro II. fázi hutnění (hlavní) nebývají statické válce příliš vhodné. V závislosti na charakteristice válce je možné hutnit až ve sklonech do 15 % [1].

Jedna z nejdůležitějších charakteristik těchto válců je jejich celková hmotnost a zatížení na jednotlivé běhouny a následné přenesené zatížení na hutněnou vrstvu, rozměry běhounů, koeficient účinnosti jednotlivých běhounů, počet poháněných a nepoháněných běhounů, statické lineární zatížení běhounů a rychlost válce při práci [1].

Problematika běhounů spočívá v jejich šířce a průměru, kdy běhouny s větším průměrem jsou vhodné pro závěrečnou fázi hutnění z důvodu splnění požadavků na rovnost a uhlazení hutněné vrstvy. Běhouny s menším průměrem jsou vhodnější pro první fáze hutnění, protože mají vyšší účinek zhutnění. S širšími válci mohou být problémy v rovnoměrném zhutnění asfaltové vrstvy a s válci užšími pak problémy spojené s tvořením rýh a kolejí, případně trhlin po běhounu [1].

4.1.3 Druhy statických válců s hladkými ocelovými běhouny a jejich použití

Třiběhounové dvouosé válce se v současné době používají spíše výjimečně a jsou nahrazovány tandemovými válci s dynamickými účinky.

Tandemové dvouosé válce se vyznačují hmotností maximálně do 15 t, obvykle ale do 8 t. Šířka, průměr a zatížení předního i zadního běhounu bývají na rozdíl



od tříběhounového dvouosého válce přibližně stejné. Průměr obou běhounů bývá od 800 mm do 1 600 mm a jejich šířka od 1 000 mm do 2 000 mm. Statické lineární zatížení je podstatně menší než u tříběhounových dvouosých válců, a to od 20 N/mm do 50 N/mm. Využití spočívá především v I. fázi hutnění (počáteční), kdy jsou teploty asfaltové směsi vysoké, ale také ve III. fázi hutnění (závěrečné) pro vyhlazování asfaltové vrstvy [3].

Poznámka: V současné době se tandemové válce vyrábějí zejména s regulujícími dynamickými účinky a s pohonem obou běhounů.

Třífosé válce byly dříve využívány pro III. fázi hutnění (závěrečnou) pro vyhlazování asfaltové vrstvy vzhledem k jejich konstrukci, která umožňovala vyrovnání nerovností na hutněné vrstvě [3].

4.2 Pneumatikové válce

4.2.1 Základní údaje

Pneumatikové válce se odlišují od ostatních typů válců poměrně velkým způsobem, protože vyvozují jiný zhutňovací účinek než válce klasické s ocelovými běhouny. Působí na hutněnou vrstvu relativně malým tlakem, který je ovlivňován typem pneumatiky a tlakem v pneumatikách. Příznivě působí tyto válce vznikajícími vodorovnými silami, které zpravidla nehrnou hutněnou asfaltovou směs před sebou, ale vtlačují ji pod sebe a vytvářejí tak optimální podmínky pro hutnění asfaltové vrstvy. Pneumatiky na válci působí hnětacím způsobem, který napomáhá k uzavírání povrchu, čímž vytváří jeho lepší vlastnosti, jako je například povrchová pevnost, ale i vyšší odolnost proti vodě [1].

Účinnost pneumatikových válců je závislá na dotykovém tlaku a velikosti doseďací plochy, která je regulovatelná tlakem v pneumatikách. Nejtěžší pneumatikové válce mohou mít účinnost až 200 mm. Tlak vzduchu v pneumatikách se pohybuje v rozmezích od 0,2 MPa do 0,9 MPa v závislosti na potřebě hutněního účinku [1].

Optimální rychlost pneumatikových válců je do 6 km/h a ve III. fázi hutnění



(závěrečné) může být rychlost válce až 10 km/h, přepravní rychlost je pak 20 km/h. Hmotnost tohoto typu válce je od 5 t do 35 t s 5 až 11 koly [1]. Mezi pneumatikovými běhouny jsou mezery, proto jsou pneumatiky na přední a zadní ose válce uspořádány tak, aby po pojezdu válcem pokryly celou zhutňovací plochu. Z toho důvodu bývá celkový počet pneumatikových běhounů lichý [4]. V současné době jsou ovšem pneumatikové válce nahrazovány tandemovými válci s dynamickými účinky.

Poznámka: V praxi je vhodné mít pneumatikový válec zařazen alespoň jako záložní, a to například novějším trendem pneumatikových válců s nižší hmotností a menším počtem kol a také s užšími pneumatikami s malým průměrem, aby byly co nejvíce účinné. Jejich vhodnost pak spočívá v zařazení do hutnicí sestavy při vzniklých nežádoucích povrchových nerovnostech a trhlinách na hutněné vrstvě, které může pneumatikový válec díky svým vlastnostem snadno odstranit.

4.2.2 Charakteristiky pneumatikových válců

Základními charakteristikami těchto válců jsou celková hmotnost, zatížení kola, počet a způsob zavěšení kol, typ pneumatiky, velikost dosedací plochy pneumatiky, tlak vzduchu v pneumatikách, pracovní šířka a optimální pracovní rychlost válce [1].

Celkovou hmotnost je důležité přepočítat na zatížení jednotlivých kol, pak se teprve může určit účinnost válce. Běžně se používají pneumatiky o velikosti 11,00 x 20 o zatížení kola od 15 kN do 25 kN, pro II. fázi hutnění (hlavní) je to až 30 kN. Pracovní šířka pneumatikového válce je od 1,0 m do 2,7 m a v závislosti na velikosti válce se vyrábí různé velikosti pneumatikových běhounů obvykle od 200 mm do 300 mm. Účinnost těchto válců je především ovlivňována tlakem v pneumatikách. Čím větší je tlak v pneumatikách, tím je i větší míra zhutnění. Dle typu pneumatiky existuje její optimální tlak, který se pohybuje v rozmezí od 0,4 MPa do 0,6 MPa. Nadměrné přehuštění by mohlo způsobit její vyboulení, čímž by došlo k bočnímu vytlačování asfaltové směsi a následnému tvoření vln na hutněné vrstvě. Moderní pneumatikové válce mají



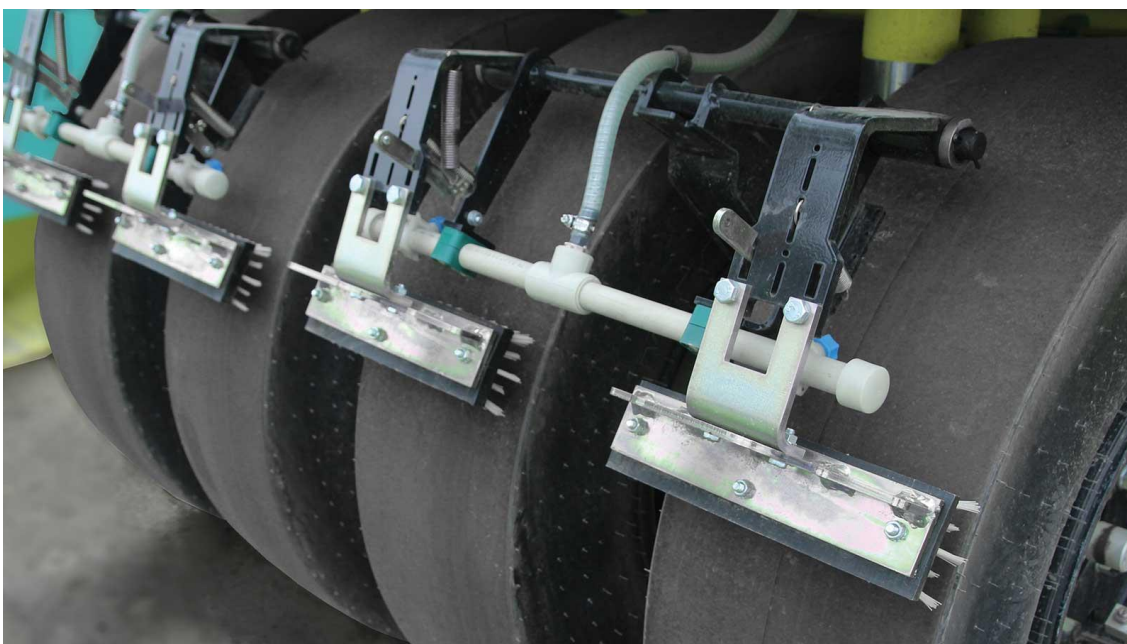
výhodu regulace tlaku vzduchu v pneumatikách přímo z kabiny. Rychlost válců ovlivňuje míru zhutnění a také hloubkový účinek. Čím vyšší je rychlost, tím menší je míra zhutnění a hloubkový účinek. Optimální pracovní rychlost závisí na fázi hutnění. V I. fázi (počáteční) je optimální rozmezí rychlostí 3 km/h až 5 km/h, pro II. fázi (hlavní) je to 4 km/h až 6 km/h a pro III. fázi (závěrečnou) je optimální rychlost 5 km/h až 10 km/h. Lze tedy říci, že s přibývajícím objemovou hmotností a tuhostí asfaltové směsi se pracovní rychlost zvyšuje [1, 4].

4.2.3 Použití pneumatikových válců

Pneumatikové válce jsou vhodné v I. fázi hutnění (počáteční), kdy teplota směsi je vysoká (nad 100 °C). Hlavní výhodou těchto válců je, že mohou hutnit těsně za finišerem, a to i při vysokých teplotách asfaltové směsi bez narušení hutněné vrstvy (trhliny, hrnutí směsi, vlny). Zvláště při první fázi hutnění je vhodné přehřát pneumatiková kola infrazářiči, aby nedocházelo k nalepování asfaltové směsi na kola válce. Pro II. fázi hutnění (hlavní) nebývají pneumatikové válce příliš vhodné vzhledem k jejich nízké účinnosti, a to platí zejména při hutnění směsí těžko zhutnitelných. Při hutnění tlustších a hůře zhutnitelných vrstev je důležité kola válce řádně nahustit tlakem vzduchu (0,5 MPa až 0,6 MPa). Pro III. fázi hutnění (závěrečnou) je vhodné pneumatikové válce opatřit speciálními plochými pneumatikami, které zjednodušují vyhlazování a odstraňování nerovností na poslední hutněné vrstvě asfaltové směsi [1].



Obrázek 1: Pneumatikový válec Ammann AP 240 Tier 3 [6].



Obrázek 2: Zařízení proti nalepování asphaltové směsi na pneumatiky [6].

4.3 Válce hutnící s dynamickými účinky

Princip vibrace funguje na základě pevně spojeného excentru s osou běhounu, který se otáčí kolem osy a vzniká vibrace (vertikální pohyb nahoru a dolů) [7].

V současné době je tento typ válců nejpoužívanější na trhu (cca 90 %), a to díky své efektivitě hutnění, která je až 3x větší než u válců statických při stejné



hmotnosti. Typově rozeznáváme tři druhy válců s dynamickými účinky – vibrační, oscilační a kombinované. Kmitání běhounů zajišťuje rychlejší a vyšší růst tuhosti a objemové hmotnosti asfaltové směsi a také těsnější uložení kamenných zrn mezi sebou. Nevýhodou těchto válců je, že jsou dražší a náročnější na výrobu, náchylnější na poruchovost, a navíc návrh hutnicí sestavy a obsluha těchto válců vyžaduje větší pozornost i znalosti [1].

4.3.1 Vibrační válce

4.3.1.1 Základní údaje

Při použití válců s dynamickými účinky dochází ke kombinaci účinků kmitání (vibrace, oscilace) a tlaku. Intenzitu dynamických účinků lze zpravidla regulovat nebo úplně vypnout. Statické lineární zatížení běhounů je 15 N/mm až 35 N/mm. Výhodou těchto válců je velký hloubkový účinek (až 300 mm), vysoký rozsah teplot pro hutnění asfaltové směsi a v porovnání se statickými válci je potřeba menší počet pojezdů. Vhodné jsou také pro směsi těžce zhutnitelné (označení T) [1, 8].

4.3.1.2 Charakteristiky vibračních válců

Charakteristika vibračních válců je stejná jako u statických válců s hladkými ocelovými běhouny viz část 4.1.2, tj. celková hmotnost, zatížení běhounů, rozměry běhounů (průměr, šířka), statické lineární zatížení běhounů, koeficient účinnosti běhounů, počet poháněných běhounů a pracovní rychlost válce. Doporučené hodnoty pro hutnění asfaltové úpravy nalezneme v tabulce 1.4 [1].

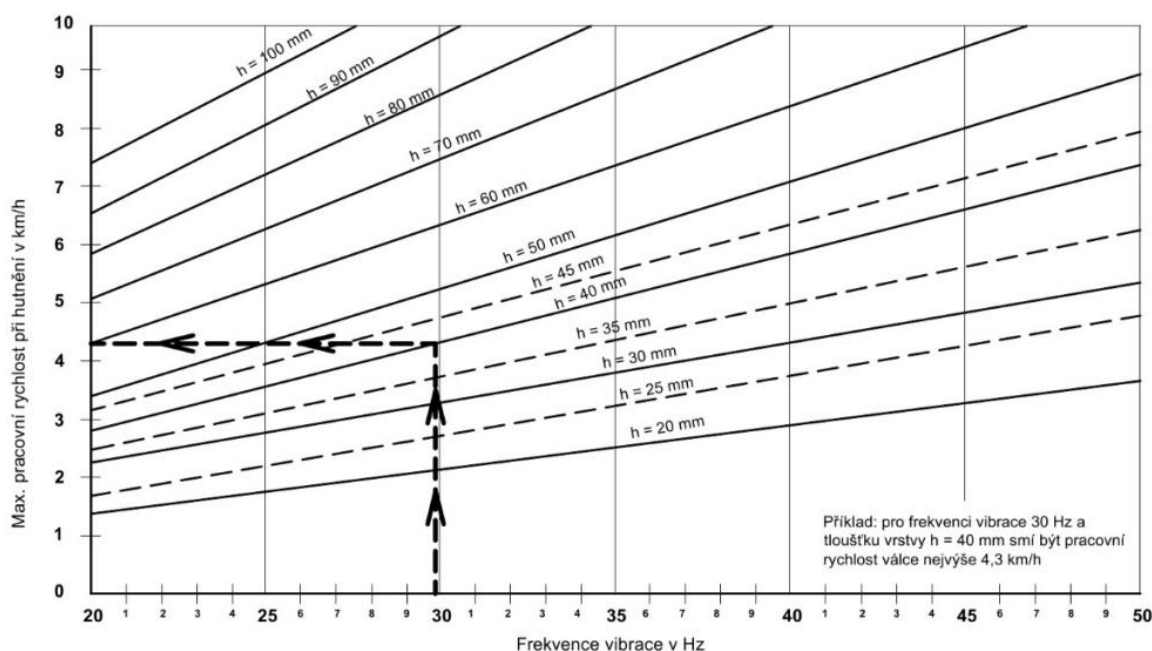


Tabulka 4: Doporučené hodnoty pro hutnění pomocí vibračních válců [1].

Zhutnitelnost směsi	Velmi lehce, lehce a středně těžce zhutnitelné směsi			Polotěžce, těžce a velmi těžce zhutnitelné směsi		
	Tloušťka vrstvy (mm)	> 60	40–60	20–40	> 60	40–60
Statické lineární zatížení (N/mm)	10–25			20–35		
Frekvence (Hz)	> 40			> 40 (30)		> 40
Amplituda (mm)	0,4–0,8	0,3–0,5	(0,2) 0,3–0,5	0,4–0,8	0,4–0,8	0,4–0,8 (0,3–0,5)
Rychlost válce při hutnění (km/h) ¹⁾	4–6			3–5		
Max. počet pojezdů s vibrací ²⁾	8	6	6	10	8	6

Poznámka [1]:

- 1) Maximální přípustnou pracovní rychlost pojezdu nutno specifikovat s ohledem na frekvenci vibrace a tloušťku hutněné vrstvy (obr. 3).
- 2) Optimální počet pojezdů s vibrací u směsi s vysokým obsahem hrubého drceného kameniva (směsi SMA aj.) bývá v praxi někdy nutné více omezit, např. u směsí SMA 11 se doporučují přibližně 3 pojezdy, protože při vyšším počtu pojezdů by mohlo docházet k drcení jednotlivých zrn a následnému znehodnocování asphaltové směsi.



Obrázek 3: Nomogram pro určení max. přípustné pracovní rychlosti při hutnění vibračním válcem (h = tloušťka vrstvy po zhutnění) [1].



4.3.1.3 Druhy vibračních válců

Nejčastěji používané vibrační válce jsou tandemové dvouosé a ručně vedené při menším rozsahu pokládané asphaltové vrstvy.

Tandemové dvouosé vibrační válce mají obvykle hmotnost od 2 t do 14 t, jejich statické lineární zatížení je od 10 N/mm do 35 N/mm. Zatížení na přední a zadní běhoun je přibližně stejné. Koeficient účinnosti C_w (bez dynamického účinku) je od 0,015 N/mm² do 0,030 N/mm² [1].

Poznámka [1]: V současné době jsou dvouosé vibrační (případně kombinace oscilace a vibrace) válce s pohonem a s dynamickými účinky obou běhounů nejvhodnější volbou pro hutnění asphaltových směsí.



Obrázek 4: Kloubový tandemový válec Ammann ARX 110 TIER 3 [8].

Vibrační válce ručně vedené mají obvykle hmotnost do 1,5 t a jejich pracovní šířka běhounu je do 1,0 m. Vyrábějí se buď s jedním nebo se dvěma běhouny, které je nutné při hutnění skrápět vodou, aby nedocházelo k nalepování asphaltové směsi na běhoun [1]. Hodí se pro menší stavby tam, kde je nevýhodné či není možné použít válce větší nebo také při opravách silnic, dálnic, hřišť atd. Jejich předností je přepravní hmotnost, jelikož je lze snadno převážet na přívěsu za autem [5].



Poznámka: V současné době se již vyrábějí tandemové válce na dálkové ovládní, které usnadňují hutnění podkladních vrstev, ale i asfaltových úprav.



Obrázek 5: Vibrační vedený válec Ammann ARW 65 s dieselovým motorem YANMAR [10].

Vibrační motorové tahačové válce jsou opatřeny vpředu jedním běhounem a vzadu dvěma koly. Vhodné jsou pro hutnění podkladních vrstev díky jejich vysoké hutnicí účinnosti [3].



Obrázek 6: Zeminový hutnicí tahačový válec Ammann ASC 110 TIER 4F [11].



4.3.1.4 Použití a zásady vibračních válců

- Vibrace by se měly zapínat až při konstantní rychlosti, ne když válec stojí nebo se rozjíždí.
- Při hutnění těžce zhutnitelných a vyšších asfaltových vrstev se doporučuje vyšší amplituda vibrace a je dovolená nižší frekvence. Při hutnění tenkých a snadno zhutnitelných asfaltových vrstev je vhodná nižší amplituda vibrace a vyšší frekvence (například amplituda vibrace 0,2 mm a frekvence až 70 Hz)
- S postupným ochlazováním směsi a uzavíráním povrchu asfaltové vrstvy by měla frekvence vibrace narůstat a amplituda postupně snižovat.
- První a poslední pojezd válcem by měl být bez vibrace (v závislosti na předhutnění finišerem).
- Vibrační válce nejsou vhodné pro velmi tenké asfaltové vrstvy na tvrdém podkladu, drenážní asfalty nebo pro vtlačování zdrsňovacího kameniva. Mohlo by dojít k porušení v hutněné vrstvě.
- Nemělo by se hutnit pomocí vibračních válců při teplotách nižších než 90 °C až 100 °C. Mohlo by dojít k porušení v hutněné vrstvě (drcení kameniva, trhliny, oddělení asfaltové vrstvy od podkladu nebo k porušení vibračního válce).
- Vibrační válce při vyšší frekvenci s nižší amplitudou vibrace jsou vhodné pro obrusné vrstvy, kdy koeficient účinnosti C_w je menší než při nižší frekvenci a vyšší amplitudě vibrace, kterou využijeme především při hutnění podkladních a ložních vrstev.
- Všechny tyto zásady [1], informace v tabulce 2, samotný návrh hutnicí sestavy a obecné zaškolení posádky stroje je nezbytnou součástí kvalitní asfaltové komunikace s dlouhou životností.

4.3.2 Oscilační válce

Princip oscilačních válců funguje na základě dvou ozubených řemenů nebo řetězů, které jsou připevněny na ose běhounu a na nejčastěji dvou hřídelích, na kterých jsou excentry. Oscilace vzniká díky rotaci excentrů kolem hřídelů a zároveň rotaci hřídelů kolem osy běhounu. Za oscilační válec považujeme každý,



který má alespoň jeden běhoun oscilační. Pomocí oscilačních válců namáháme hutněnou plochu tzv. tangenciálními silami, které vyvozují smykové napětí. V praxi si to můžeme představit tak, že kmitání běhounu není svislé nahoru a dolů, ale vodorovné, kdy se běhoun pohybuje ze strany na stranu a je tedy stále v kontaktu s hutněnou vrstvou [7].

Výhody oscilačních válců jsou [7]:

- potřebný počet pojezdů oscilačních válců je menší než u vibračních válců;
- lze hutnit i při relativně nízkých teplotách (cca 80 °C), aniž by docházelo k porušení hutněné vrstvy tak, jako to je u vibračních válců (drcení kameniva, trhliny, oddělování asfaltové vrstvy od podkladu);
- vysoký komfort pro posádku v kabině (nízké kmitání, hlučnost) v porovnání s válci vibračními a také delší životnost válců;
- vhodné pro všechny typy asfaltových směsí, a to i pro směsi těžce zhutnitelné;
- vhodné pro hutnění spojů, na mostech, v blízkosti inženýrských sítí i tenkých vrstev;
- vhodné pro II. fázi hutnění (hlavní) i pro III. fázi hutnění (závěrečnou);
- některé oscilační válce mají samonastavitelnou amplitudu oscilace, která se přizpůsobuje tuhosti materiálu, čímž se odstraňuje riziko porušení povrchu nesprávnou manipulací;
- hutnění pomocí oscilace vyvozuje dobré počáteční protismykové vlastnosti, protože oscilace běhounu odváží asfalt z horního povrchu vozovky.

Nevýhody oscilačních válců jsou [7]:

- hloubkový účinek oscilačních válců je optimálně do 80 mm;
- opotřebenění oscilačních běhounů je větší než u vibračních běhounů.



Obrázek 7: Princip oscilace [7].

Poznámka: Prodej a použití oscilačních válců stoupá a postupně vytlačuje, díky svým unikátním vlastnostem, válce vibrační, statické i pneumatikové.

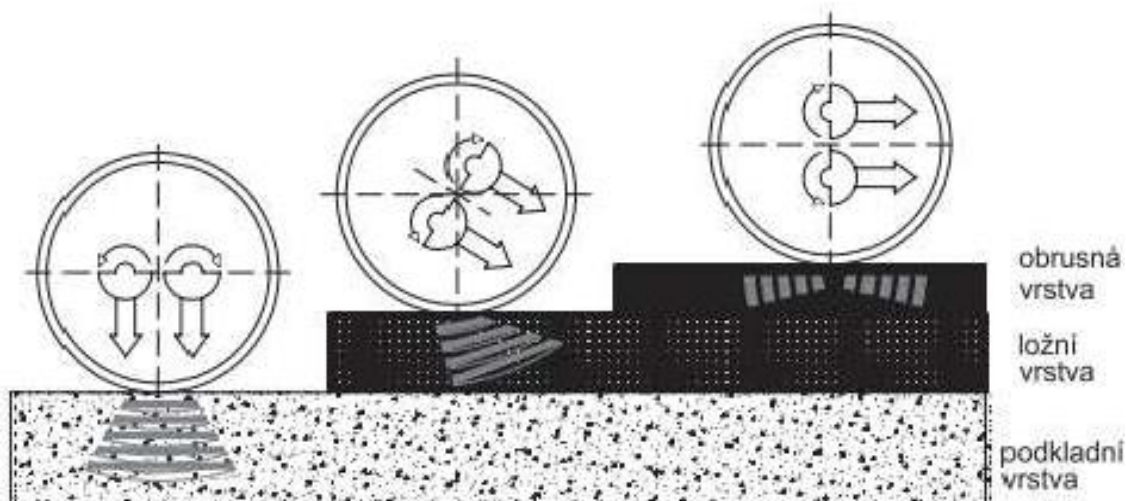
4.3.3 Válce s kombinovanými účinky

Jedná se o tandemové válce, jež lze zařadit do dvou skupin, kterými jsou:

- a) válce s jedním oscilačním běhounem a druhým vibračním běhounem. Tento typ válců lze využívat se zapnutím pouze vibrace nebo pouze oscilace, ale také v kombinaci najednou, a využívat tak této přednosti,
- b) válce se speciálně konstruovaným běhounem. Tento typ válce má jeden běhoun vibrační a druhý speciálně konstruovaný, který umožňuje vibraci i oscilaci, ale také řízené kmitání, které mění směr pod úhlem od 0° do 90° a následně vyvozuje horizontální i vertikální hutnicí účinek (obrázek 9). Kmitání běhounů je ve většině případů řízeno automaticky v závislosti na tuhosti hutněné vrstvy, zhutnitelnosti materiálu, tloušťce vrstvy a vlastnostech podkladu. Mimo automatického řízení kmitání je možnost také manuálního ovládání. Při hutnění ložních a podkladních vrstev je vhodnější hutnění vertikálními silami a při hutnění tenkých, obrusných a méně tuhých vrstev jsou příhodnější horizontální síly (obrázek 9) [1].



Obrázek 8: Schéma válce skupiny a) válec s jedním oscilačním běhounem (vpravo) a druhým vibračním běhounem (vlevo) [1].



Obrázek 9: Využití usměrněné vibrace v rámci systému Asphalt Manager, válce skupiny b) válce se speciálně konstruovaným běhounem [1].

4.4 Válce kombinované, vibrační desky a pěchy

4.4.1 Válce kombinované

Jedná se o typ válců, které mají na jedné ose hladký vibrační běhoun a na druhé ose je 3 až 5 pneumatikových kol. Tento typ válců využívá výhody pneumatikových válců (nasazení metodou „hot and dry“ a dalších viz část 4.2.3) a také výhod válců vibračních (vysoký hloubkový účinek, rychlý nárůst míry zhutnění



atd.). Hmotnost těchto válců se pohybuje v rozmezí od 2 t do 18 t a jsou vhodné do velkých sklonů (i více než 20 %) [1].

Poznámka [1]: Metoda „hot and dry“ znamená, že válec může najíždět ihned za finišer a nemusí čekat, až asfaltová směs vychladne, aniž by docházelo k porušování hutněné vrstvy (hrnutí směsi, trhliny).



Obrázek 10: Kombinovaný válec model ARX 16 K TIER 4I firmy Ammann [12].

4.4.2 Vibrační desky a pěchy

Využití těchto hutnicích strojů je především na méně rozsáhlých stavbách, dále jsou vhodné pro hutnění menších oprav na komunikacích, kterými jsou výtluky a výmoly. Doplňují také klasické hutnicí sestavy, kdy není možné se válci dostat do méně přístupných míst [1].

Vibrační desky, v praxi nazývané „žehličky“, mají standardně hmotnost do 200 kg, výjimečně až 600 kg, a proto se vyznačují poměrně malým měrným tlakem, který působí na hutněnou vrstvu. Velice vhodné jsou právě tehdy, pokud mají vysokou frekvenci vibrace (více než 65 Hz), která příznivě ovlivňuje míru zhutnění. Nutně se musí, zpravidla ručně, skrápět vodou, aby bylo zabráněno nalepování asfaltové směsi na dotykovou plochu vibrační desky [3].



Obrázek 11: Vibrační deska APR 2220 DIESEL firmy Ammann [13].

Mechanické pěchy, v praxi nazývané „žáby“, mají standardně hmotnost od 29 kg do 150 kg a jejich frekvence je od 9 Hz do 13 Hz [3]. Přednost v použití těchto pěchů je především při hutnění podkladních vrstev v málo dostupných místech. Pro hutnění asfaltových povrchů jsou vhodné pěchy s malou „výškou skoku“ do 30 mm, aby byla zajištěná požadovaná rovnost povrchů [1, 14].



Obrázek 12: Pěch Ammann ATR 30 [14].



5. Hutní sestavy

Každá asfaltová směs má různou zhutnitelnost (viz část 3.1) a různé vlastnosti, které ovlivňují průběh hutnění a dosahování požadované míry zhutnění, proto se každá směs hutní trochu jinak, a proto přizpůsobujeme hutní sestavy v závislosti na hutněné směsi, počasí nebo tloušťce vrstvy. Obecně lze říci, že pro hutnění tuhých směsí (viz část 3.2), obzvláště pokládaných ve velikých tloušťkách, jsou nezbytné těžké vibrační válce. Opakem toho jsou nestabilní směsi (viz část 3.3), které je nutné hutnit výhradně válci lehčími. Pro dosažení normované zhutnitelnosti a kvality je ale nutný nejen vhodný výběr hutnicí sestavy, ale také vhodný návrh počtu fází hutnění, rychlostí válců, počet pojezdů válců, intenzita vibrace (oscilace) apod. [1].

V dnešní době nejčastěji používáme tyto typy zhutňovacích sestav [1]:

- Zhutňovací sestava A (v Česku nazývaná jako německá) může být i dnes vhodná na hutnění nestabilních a lehce zhutnitelných směsí. Používá se spíše při menším předhutnění finišerem.
- Zhutňovací sestava B (nazývaná jako tzv. Hot and dry) je vhodná především při standardním a menším předhutnění finišerem. Tato metoda spočívá v hutnění, kdy hutnicí technika může najíždět ihned za finišer do těsné blízkosti a nemusí si od něj udržovat daný odstup.
- Zhutňovací sestava C je moderní sestava, která využívá vysokého předhutnění finišerem, a to jí umožňuje hutnit prakticky všechny druhy asfaltových směsí. Lehčí válce vibrační a oscilační najdou uplatnění zejména při hutnění nestabilních směsí. Výhodné mohou být pneumatikové válce (nejlépe se speciálními pneumatikami), které jsou vhodné pro závěrečnou fázi hutnění. Výhodou této sestavy je hutnění i ve velikých tloušťkách vozovky.
- Zhutňovací sestavy D a E mají výhodu při použití tandemových vibračních válců v možném vynechání III. fáze hutnění (závěrečné), zejména tedy při pokládce podkladních a ložních vrstev. Při použití vibračních válců se doporučuje využívat vibraci jen při vyšších teplotách asfaltové směsi. Zhutňovací sestava E se používá především při menší míře předhutnění finišerem.



Poznámka [1]: Dalšími známými zhutňovacími sestavami jsou tzv. klasický způsob Break down rolling a tzv. upravený způsob Break down rolling. Tyto sestavy ale využívají především tříběhounové dvouosé válce, které se vyskytují už jen zřídka a proto se jimi dále nebudeme zabývat.

Technologie hutnění se skládá zpravidla ze tří fází hutnění a to I. fáze (počáteční), II. fáze (hlavní) – dohutňování a III. fáze (závěrečná) – hlazení. V současné době lze při vysoké míře předhutnění finišerem vynechat počáteční fázi hutnění.



Tabulka 5: Doporučené typy zhutňovacích sestav a údaje potřebné ke zhutňování [1].

Typ zhutňovací sestavy	A	B	C	D	E
I. počáteční fáze hutnění	Tandemové vibrační válce 4–6 pojezdů rychlostí 3–5 km/h ²⁾⁹⁾	Pneumatikové válce 6–12 pojezdů rychlostí 3–5 km/h	Tandemové vibrační (oscilační) válce 6–10 pojezdů rychlostí 36 km/h	Tandemové válce ²⁾⁹⁾ bez zapnuté vibrace nebo s vibrací 2–4 pojezdy rychlostí 2–5 km/h	Tandemové válce ⁹⁾ bez vibrace cca 4 pojezdy rychlostí 2–5 km/h
II. hlavní fáze hutnění	Těžké pneumatikové válce ¹⁾ 6–10 pojezdů rychlostí 3–6 km/h	Tandemové oscilační (vibrační) válce ⁷⁾³⁾ 4–6 pojezdů rychlostí 3–5 km/h		Těžké tandemové válce ⁸⁾ 6–8 pojezdů rychlostí 2–5 km/h	Tandemové oscilační (vibrační) válce ⁷⁾ 4–8 pojezdů rychlostí 3–6 km/h
Celkový počet pojezdů I. a II. fáze	10–14 pojezdů	12–16 pojezdů	6–10 pojezdů	8–12 pojezdů	8–10 pojezdů
III. závěrečná fáze hutnění (hlazení)	Statické tandemové válce, tandemové vibrační válce bez zapnuté vibrace, oscilační válce, pneumatikové válce (vhodné se speciálními pneumatikami); V odůvodněných případech lze tuto fázi vynechat (např. sestavy D a E)!				
Maximální doporučená tl. vrstvy (mm) ¹⁰⁾	max. 100 (nestabilní směsi max. 60 mm)	max. 100 (120)	max. 100–150	max. 80	max. 120
Poznámky: 1) Zatížení kola minimálně 20 kN. 2) První pojezd bez vibrace. 3) Pro tl. vrstvy do 80 mm, resp. lehce až polotěžce zhutnitelné směsi je možné použít i těžké statické válce. 4) Použití pouze při vysoké míře předhutnění. 5) I. a II. fáze se obvykle slučují. 6) Při III. fázi hutnění (závěrečné) bývá vhodné použít válce pneumatikové nebo oscilační. 7) Při použití vibrace je potřeba zvýšit pozornost k teplotám směsi, aby nedošlo k porušení pokládaného povrchu. 8) Hmotnost tandemových válců je závislá na tloušťce, teplotě a druhu pokládané směsi. 9) Válce o hmotnosti 4–8 t (lehké až středně těžké válce). 10) Závisí na parametrech a charakteristikách hutnicích válců.					



6. Klimatické vlivy ovlivňující zhutňování

6.1 Klimatické vlivy při rozprostírání a hutnění

Důležitým faktorem správně zhutněné asfaltové vrstvy je také vliv klimatických podmínek. Je potřeba dodržovat zásady, které vymezují vhodné podmínky pro pokládku asfaltového povrchu, aby došlo ke spojení nově položené vrstvy s podkladem, dosažení požadované objemové hmotnosti, mezerovitosti a míry zhutnění. Pro zajištění těchto požadavků je nutné dodržovat určité zásady [1, 15]:

- dle ČSN 73 6121 nelze pokládat asfaltovou vrstvu za horka, pokud je na komunikaci vrstva ledu, sněhu nebo vody a pokud prší nebo sněží. Horká směs odpařuje vodu a zároveň ztrácí svoji teplotu, výsledkem mohou být vlny a trhliny na zhutněném povrchu;
- tenké asfaltové úpravy do 50 mm by neměly být pokládány při rychlosti větru nad 10 m/s (optimální rychlost do 5 m/s);
- v žádném případě by neměly být pokládány asfaltové směsi při rychlostech větru nad 15 m/s, směsi dopravní třídy (S, I, II) nelze pokládat při rychlostech větru vyšších než 7,5 m/s;
- podkladní vrstvy lze pokládat pouze při teplotách vyšších než cca 0 °C;
- ložní vrstvu s nemodifikovaným pojivem lze pokládat při teplotách vyšších než +3 °C;
- obrusnou ložní vrstvu s modifikovaným pojivem lze pokládat při teplotách vyšších než +5 °C a průměrné teplotě za posledních 24 hod. vyšší než +3 °C;
- obrusnou vrstvu do 30 mm (PA) lze pokládat při teplotách vyšších než +10 °C a průměrné teplotě za posledních 24 hod. vyšší než +5 °C;
- při tloušťkách vrstev větších než 60 mm je přípustné pokládat asfaltovou úpravu při teplotách ≥ 0 °C.

Minimální teploty asfaltové směsi bezprostředně před hutněním nalezneme v tabulce 6.

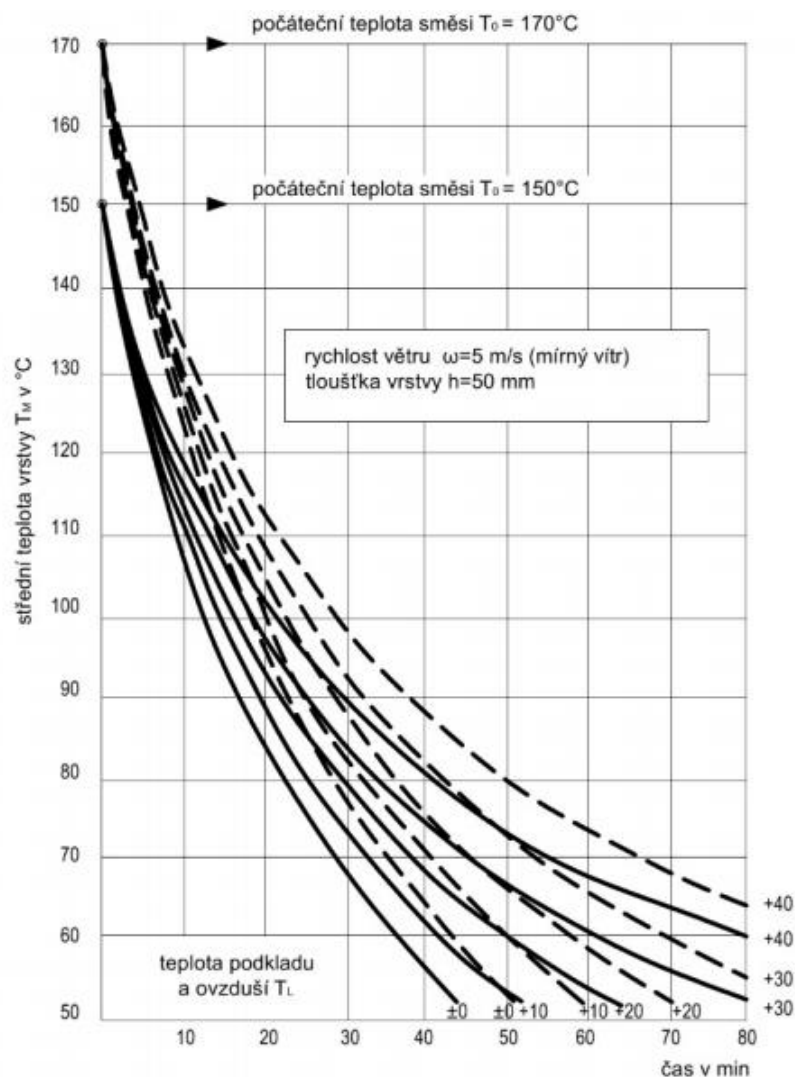


Tabulka 6: Minimální teploty asfaltové směsi bezprostředně před hutněním podle [15].

Silniční asfalt	Tloušťka vrstvy ≤ 50 mm	Tloušťka vrstvy > 50 mm
50/70	140 °C	130 °C
70/100	130 °C	120 °C

Při nepříznivém počasí by měly být pokládány vyšší vrstvy vozovky (nad 60 mm), poněvadž pomaleji chladnou. Směsi by se měly vyrábět při nejvyšších možných teplotách a pokládat v blízkosti obalovny, čímž by se minimalizovalo jejich chladnutí při převozu na staveniště. Dále je vhodné zajistit vysokou míru předhutnění finišerem a urychlit tak proces hutnění [1, 22]. Za nepříznivého počasí není žádoucí pokládat asfaltovou směs ručně. Obecně lze říci, že čím vyšší je vrstva asfaltové směsi, tím se nám prodlužuje doba pro zhutnění směsi a zároveň můžeme pokládat vozovku v širším spektru klimatických podmínek.

Poznámka [15, 1]: Nadměrně vysoké teploty mohou být i škodlivé v případě pokládání vysoké vrstvy směsi, rychlého uvedení komunikace do provozu nebo při okamžité pokládce další vrstvy. V tomto případě můžeme komunikaci skrátit studenou vodou a urychlit chladnutí vozovky. Žádná asfaltová komunikace nemůže být uvedena do provozu, pokud není dostatečně vychladlá (obvykle až druhý den).



Obrázek 13: Průběh ochlazování asfaltové vrstvy v závislosti na teplotě vzduchu a podkladu [1].

6.2 Klimatické vlivy na ochlazování směsi během přepravy na staveniště

V úvahu by se měly brát i zásady proti ochlazování směsi vlivem počasí při její přepravě z obalovny na staveniště, aby byla zajištěna nejvyšší možná teplota pro rozprostření a následné hutnění asfaltové úpravy. Proto je žádoucí, aby byla dodržována následující pravidla [22]:

- vozidlo přepravující směs by mělo být vždy opatřeno plachtou nebo speciálními zákryty, kterými se minimalizují teplotní ztráty;
- v závislosti na klimatických podmínkách lze u běžných vozidel s kapacitou větší než 10 t uvažovat o maximální době přepravy 1,5 hodiny (cca 80 km);



- u speciálně izolovaných vozidel lze dopravovat asfaltové směsi po dobu až 4 hodin, což ale není vhodné z důvodu segregace kameniva od asfaltového pojiva.

Příklad [21]: Počáteční teplota horké asfaltové směsi je 155 °C. Při přepravě v zaplachtovaném vozidle se směs ochladí za dobu 80 min. o 8 °C a při přepravě stejné směsi při stejné počáteční teplotě, avšak bez zákrytu, se ochladí za dobu 80 min. o 15 °C (teploty ochlazení jsou měřeny 300 mm pod povrchem převážené směsi).

Z tohoto příkladu je patrné, jak důležité je chránit směs při převozu na stavenišťě plachtami, aby se prodloužila doba ochlazování, která je nezbytná pro správné uzavření asfaltového povrchu. Vozidla bez plachet jsou tolerována pouze v případě pokládání vozovky v těsné blízkosti obalovny a za příznivých klimatických podmínek.

Poznámka [22]: U běžných nákladních vozidel přepravujících asfaltovou směs lze počítat s průměrným ochlazováním 10 °C za hod. U speciálně izolovaných vozidel lze uvažovat průměrné ochlazení směsi cca 5 °C za hod. v závislosti na klimatických podmínkách při přepravě.



7. Metody kontroly zhutnění asfaltových směsí a vrstev

Pro přejímku stavby jsou často nutným požadavkem kontroly hotových asfaltových vozovek, které musí splňovat normované hodnoty. Provádí se několik typů kontrol, kterými jsou rovnost povrchu, příčný sklon, odchylka od projektovaných výšek, tloušťka vrstvy, spojení vrstev, protismykové vlastnosti, míra zhutnění a mezerovitost [23]. V této bakalářské práci se ale zaměříme na zhutnitelnost a mezerovitost asfaltových směsí, proto se ostatními kontrolami nebudeme dále zabývat. Měření zhutnitelnosti provádíme destruktivními nebo nedestruktivními zkouškami. Na hotové úpravě provádíme zkoušky rovnoměrně po celé ploše tak, aby reprezentovaly příslušnou plochu.

7.1 Míra zhutnění asfaltové směsi

Míru zhutnění stanovíme pomocí následujících metod jako poměr [24, s. 14]:

„a) 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;

b) objemové hmotnosti zjištěné na hotové úpravě nedestruktivními metodami a vztažené objemové hmotnosti zjištěné při kontrolních zkouškách hodnoceného úseku, příslušné k místu odběru vzorku;

c) 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.“

Míra zhutnění asfaltové směsi se vyjadřuje v procentech.

S narůstající mírou zhutnění se zvyšuje únosnost, tuhost a životnost asfaltového povrchu a také se zlepšuje jeho odolnost proti únavě. Pro jednotlivé vrstvy asfaltové úpravy jsou stanoveny rozdílné požadavky podle ČSN 73 6121 viz tabulka 7.



Tabulka 7: Požadované míry zhutnění [16].

Vrstva	Označení směsi	Požadovaná hodnota míry 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
Ložná	ACL D (S)	min.96,0; e 98,0
	ACL D (+, bez)	min. 96,0
Podkladní	ACP D (S)	min.96,0; e 98,0
	ACP D (+)	min. 96,0
Poznámky: 1) Platí pouze pro vrstvy o projektované výšce ≥ 30 mm. 2) Požadovaná míra zhutnění se stanovuje na vývrtech destruktivní zkouškou. Pomocí nedestruktivní zkoušky (např. sonda Troxler) se stanovuje míra zhutnění na mostech, v průběhu výstavby asfaltové úpravy nebo po dohodě s investorem. 3) Na kontrolovaném úseku musí být alespoň 80 % výsledků míry zhutnění ≥ 97 %, zbylých 20 % výsledků může být v intervalu od 96 % do 97 %. 4) Průměrná hodnota se vztahuje ke kontrolovanému úseku s tloušťkou vrstvy 50 mm a více ($s D \geq 16$ mm) a 40 mm a větší ($s D \leq 11$ mm), v případě nesplnění požadované průměrné míry zhutnění je rozhodující mezerovitost hodnoceného úseku. 5) V případě destruktivní zkoušky provedené na přeformovaných zkušebních tělesech (vývrty, výseky) je dovolená minimální míra zhutnění 96 % a neplatí poznámka ³⁾ .		



7.1.2 Destruktivní metody kontroly zhutnění

Při destruktivní metodě kontroly zhutnění směsi dochází k narušení celistvosti vozovky. Tento druh zkoušky vykazuje nejpřesnější výsledky, proto se touto metodou prioritně řídíme v tabulce 7. Odebraný vzorek (vývrt, výsek) se převáží do laboratoře, kde se vyhodnocuje míra zhutnění vybrané části [26]. Pro odběr vzorku podle TKP kap. 7 je při ložních a podkladních vrstvách potřeba jeden vývrt na 1 500 m² a při obrusných vrstvách postačuje jeden vývrt na 5 000 m², minimálně však dva vývrty na hodnocený úsek [23]. Další vývrty se řídí podle požadavku investora.

Mezi destruktivní metody patří výše uvedené metody a) a c). Metoda podle bodu c) je často zatížena chybou z důvodu neznámosti míry zestárnutí asfaltového pojiva v hotové vrstvě a tím i neodpovídající teplotě při přehutňování, proto nedokážeme touto metodou zaručit přesně vztažnou objemovou hmotnost. Pro stanovení této zkoušky potřebujeme asfaltovou směs pro vytvoření dvou přeformovaných například Marshallových těles. V případě rozhodčích zkoušek stanovujeme objemovou hmotnost pomocí metody a), která vykazuje přesnější a spolehlivější výsledky [24].

Poznámka: Rozhodčí zkoušky jsou takové, které se provádí v případě sporů.



Obrázek 14: Vrtná souprava pro odběr vzorku [26].



7.1.3 Nedestruktivní metody kontroly zhutnění

Výhodou nedestruktivních zkoušek je okamžitá naměřená hodnota míry zhutnění, která slouží pro regulaci hutnicí techniky v průběhu stavby, případně pro určení míst ke stanovení destruktivní zkoušky nebo po dohodě s investorem jako konečná kontrola daného úseku. Tyto zkoušky bývají často zatíženy chybou [26]. Minimální počet měření nedestruktivní metodou podle TKP kap. 7 je jedno měření na 500 m² a na celý úsek alespoň dvě měření, případně po dohodě s investorem [23].

7.1.3.1 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa

Požadavky na vytvoření zkušebního tělesa z asfaltového betonu najdeme v ČSN EN 13 108-1. Stanovení referenční objemové hmotnosti se zpravidla provádí na Marshallově zkušebním tělese. Zjištěná objemová hmotnost v laboratoři je importována do měřicí sondy. Tuto hodnotu považujeme za 100% míru zhutnění a od ní se odvíjí naměřená objemová hmotnost na zkoušeném povrchu.

7.1.3.2 Radiometrická soustava pro měření objemové hmotnosti

Troxler Model 4640-B

Tato sonda využívá technologie zpětného rozptylu gama záření a slouží pro okamžité určení objemové hmotnosti na tenkém asfaltovém povrchu od 25,4 mm do 101,5 mm. Sonda je vhodná pro asfaltové směsi o objemové hmotnosti od 1 600 kg/m³ do 2 700 kg/m³ s odchylkou do 1,5 %. Získaná hodnota může být vypočítána z průměru dvou až dvanácti měření, kdy se přístroj vždy pokládá na stejnou pozici. V praxi se však standardně stanovuje míra zhutnění i pomocí jen jedné naměřené hodnoty. Měřidlo lze speciálně kalibrovat pro více druhů asfaltových směsí s různou velikostí zrn kameniva. Každý přístroj vlastní svůj certifikát a kalibrační list, což je nezbytné pro normované kontroly míry zhutnění. Povrch pod měřeným bodem musí být vždy suchý, plochý a hladký. Na přístroji se provádí pravidelná údržba, kdy se kontroluje jeho funkčnost a intenzita radiace pomocí dozimetru [27].



Postup měření [27]:

- před zahájením měření úseku ověříme kalibraci pro určenou povrchovou úpravu, platnost certifikátu a správnou funkci přístroje;
- nastavíme tloušťku měřené úpravy a cílovou objemovou hmotnost zjištěnou v laboratoři;
- položíme sondu na určené místo (minimálně 300 mm od kraje) a změříme objemovou hmotnost vozovky, naměřené hodnoty se ukládají do paměti sondy. Měření proběhne během několika desítek vteřin. Pro zvýšenou přesnost měření lze nastavit delší dobu snímání povrchové úpravy (maximálně na 60 minut);
- po ukončení měření sondu očistíme a vrátíme do speciálního pouzdra, čímž dojde ke splnění požadavku na radiační bezpečnost a zároveň se tím zabrání potenciálnímu úniku radioaktivního záření.

Poznámka [27]: Při běžném používání nedochází k žádnému radiačnímu nebezpečí, ale při poruše přístroje nebo jeho nesprávném používání existuje potenciální nebezpečí radioaktivního záření. Proto by se při používání sondy měl vždy používat dozimetr pro kontrolu záření v blízkosti přístroje.



Obrázek 15: Sonda Troxler Model 4640-B.



Obrázek 16: Sonda Troxler Model 4640-B.

7.1.3.3 Neradiometrická soustava pro měření objemové hmotnosti

Troxler Model 2701-B, PaveTracker™ Plus

Jedná se o zařízení pro měření relativní objemové hmotnosti, míry zhutnění a obsahu dutin asfaltové směsi. Sonda vyhodnocuje minimální, maximální, průměrné i okamžité hodnoty na daném úseku měření. Napomáhá k odhalení nedostatečně zhutněných míst nebo naopak míst nadměru zhutněných, a díky tomu můžeme regulovat hutnicí soustavu. Jedná se o soustavu, která funguje na základě dielektriky. Měří se dielektrická charakteristika asfaltu, jež se mění v závislosti na míře zhutnění, a díky tomu se určí jeho objemová hmotnost. Dielektrikum se stanoví jako obsah vzduchových dutin, kameniva a asfaltu. Vyhodnocení výsledku měření je každou vteřinu a naměřené hodnoty se ukládají do paměti přístroje, kterou lze připojit k počítači. Jelikož není tento způsob založen na radiometrickém měření, tak není nutné mít ke zkoušce žádné úřední povolení a netřeba se obávat radioaktivního záření. Přístroj Troxler Model 2701-B, PaveTracker™ Plus funguje na základě referenční hodnoty analogicky jako sonda Troxler Model 4640-B, kdy se nejprve laboratorně zjistí srovnávací objemová hmotnost, která se zadá do paměti sondy a naměřené výsledky hustoty a míry zhutnění se vztahují k laboratorně stanovené referenční hodnotě. Postup měření je podobný jako při stanovení



zhutnitelnosti pomocí sondy Troxler Model 4640-B viz část 7.1.3.2 [9].



Obrázek 17: Sonda Troxler Model 2701-B, PaveTrackerTM Plus a přepravní kufr [26].

7.2 Zkouška mezerovitosti

Míra zhutnění a mezerovitost asfaltového betonu jsou na sobě závislé. S přibývajícím mírou zhutnění se snižuje mezerovitost směsi. Obecně lze říci, že čím nižší mezerovitost, tím je asfaltová úprava odolnější vůči klimatickým vlivům a prodlužuje se životnost vozovky. Ovšem vozovky s mezerovitostí nižší než 2 % jsou náchylné k tvorbě trvalých deformací, protože asfaltové pojivo se nemá kam roztahovat a dochází k vyplavování pojiva na povrch vozovky (teplotní roztažnost asfaltového pojiva je přibližně 20x vyšší než roztažnost kameniva) [25]. Mezerovitost lze spočítat ze vzorce [24]:

$$M = \left(1 - \frac{\rho_{bssd}}{\rho_{max}}\right) \times 100 \quad (1.7)$$

kde je

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];

Poznámka: V případě výpočtu mezerovitosti směsi typu PA a AKO neplatí označení ρ_{bssd} . Místo toho se použije označení $\rho_{b,dim}$.



$\rho_{b,dim}$ objemová hmotnost zhutněné směsi určená podle ČSN EN 12697-6 na vývrtnu nebo výseku [kg/m^3].

Podle ČSN 73 6121 je požadovaná mezerovitost [16]:

- u obrusné vrstvy 2,0–7,0 % (7,5 %);
- u ložní vrstvy 2,5–8,0 % (8,5 %);
- u podkladní vrstvy 3,0–10,0 % (2,0–10,5 %).

Poznámka [16]: Hodnoty v závorkách jsou uvedeny v závislosti na typu konkrétní asfaltové úpravy.



PRAKTICKÁ ČÁST

8. Provedení monitoringu hutnění na stavbě

V následující praktické části se budeme zabývat monitorováním vybraných úseků a seznámíme se se stavbami, kde probíhalo měření vybraných údajů. Sledování bude spočívat v měření objemové hmotnosti po každém hutním cyklu, případně pojezdu a v měření teploty položené asfaltové úpravy v intervalech tří minut. Zaznamenávat budeme také parametry ovlivňující teplotu a míru zhutnění asfaltové směsi. Sledovanými údaji jsou – typ asfaltové směsi, teplota směsi, teplota podkladu, tloušťka pokládané vrstvy, šířka pokládaného pruhu, míra zhutnění, objemová hmotnost směsi, hutnicí sestava, rychlost hutnicí sestavy, rychlost finišeru, intenzita dynamických účinků běhounů, rychlost větru a teplota vzduchu v průběhu pokládky. Rychlost vzduchu jsme měřili pomocí anemometru a tento přístroj jsme také využili pro měření teploty vzduchu ve stínu. Míru zhutnění a objemovou hmotnost jsme zaznamenávali pomocí radiometrické soustavy Troxler Model 4640-B viz část 7.1.3.2. Teplota podkladu byla odhadnuta z průměrné teploty za posledních 24 hodin. Tloušťka vrstvy, šířka pruhu a typ asfaltové směsi byly sledovány po konzultaci se stavebním technikem prováděné stavby. Rychlost hutnicí sestavy a finišeru byla naměřena pomocí GPS. Teplota položené asfaltové úpravy byla zjišťována cca 20 mm pod povrchem vozovky pomocí speciálního teploměru na asfalt. Cílem našeho monitoringu na stavbě je porovnání teoretického předpokladu hutnění a ochlazování směsi se skutečnými hodnotami naměřenými v terénu.

Poznámka: Všechny asfaltové směsi použité na níže uvedených stavbách jsou s R-materiálem v nspecifikované objemové hmotnosti, množství a vlastností.



Obrázek 18: Anemometr – zařízení pro měření rychlosti vzduchu a teploty.

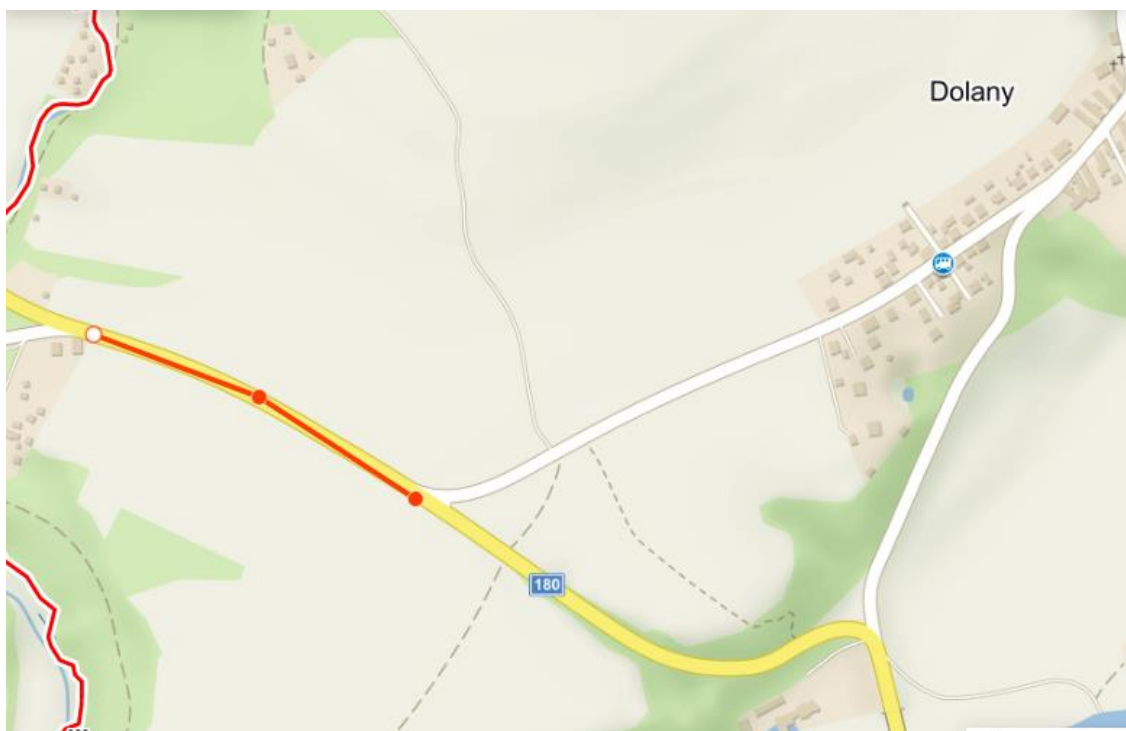


Obrázek 19: Speciální teploměr na měření teploty asfaltové úpravy.



8.1 Rekonstrukce komunikace – Dolany

Měřený úsek se nachází v blízkosti obce Dolany v Plzeňském kraji. Jednalo se o rekonstrukci komunikace II. třídy s označením 180. Délka opravovaného pruhu vozovky byla cca 450 m a jeho šířka 3,25 m. Monitoring proběhl přibližně v polovině délky rekonstruované komunikace.



Obrázek 20: Rekonstruovaný úsek – Dolany, vyznačený červenou čarou na komunikaci 180.

Rekonstrukce spočívala ve vyfrézování poškozené obrusné vrstvy a v položení nové asphaltové úpravy ACO 16+ 50/70 s proměnnou výškou 40 mm až 50 mm, kdy pětcentimetrová vrstva byla rozprostřena při napojení stávající komunikace k nově položené asphaltové úpravě a v dalších rizikových místech komunikace. Rekonstrukce byla provedena s omezením dopravy, kdy byl uzavřen jeden jízdní pruh, na kterém probíhaly stavební práce a v druhém jízdním pruhu byl umožněn průjezd vozidel.

Asfaltová směs ACO 16+ 50/70 byla dovezena z obalovny Brant vozidly MB Actros V8 a položena finišerem Dynapac SD 2500CS. Hutnicí sestava se sklá-



dala ze dvou typů válců, a to ze silničního válce HAMM DV 90i VO-S a z HAMM HD+ 120i. Tato hutnicí sestava odpovídá výše uvedené sestavě D viz kapitola 5.

Hutnění monitorovaného úseku probíhalo ve dvou fázích:

- I. fáze hutnění (počáteční), kdy lehčí válec HAMM DV 90i VO-S pojížděl asfaltovou směs vysoké teploty. Pojezdů bylo v této etapě celkem pět. První dva pojezdy byly statické, následující dva byly se zapnutými dynamickými účinky a poslední pojezd byl opět statický;
- II. fáze hutnění (hlavní) probíhala pomocí těžšího tandemového válce HAMM HD+ 120i, který pojížděl částečně uzavřený asfaltový povrch, a díky tomu došlo k jeho úplnému uzavření a vyhlazení. Pojezdů v této fázi hutnění bylo celkem sedm, kdy první čtyři pojezdy byly statické a následující tři pojezdy byly se zapnutými dynamickými účinky;
- III. fáze hutnění (závěrečná) nebyla nutná z důvodu malé tloušťky pokládané asfaltové úpravy viz kapitola 5 (hutnicí sestava D).

Poznámka: Pojezdy s dynamickými účinky v I. fázi hutnění probíhaly se zapnutou vibrací předního běhounu na druhý převodový stupeň (frekvence 50 Hz s amplitudou 0,40 mm) a současně s oscilací zadního běhounu (36 Hz s amplitudou 1,25 mm), což způsobovalo vyšší hutnicí účinek. V II. fázi hutnění byly využity vibrační dynamické účinky obou běhounů současně, kdy válec pojížděl směs na II. převodový stupeň vibrace (frekvence 50 Hz s amplitudou 0,35 mm). Z důvodu hutnění obrusné vrstvy byla využita vyšší frekvence a nižší amplituda vibrace viz část 4.3.1.4.

8.1.1 Provedení monitoringu hutnění – Dolany

Naměřené hodnoty při monitoringu vybraného úseku:

- teplota vzduchu ve stínu byla 14 °C za jasné oblohy;
- průměrná rychlost větru byla 2,7 m/s;
- teplota podkladu byla odhadnuta na 10 °C;
- průměrná rychlost válců na sledovaném úseku byla 3,4 km/h při konstantní rychlosti;

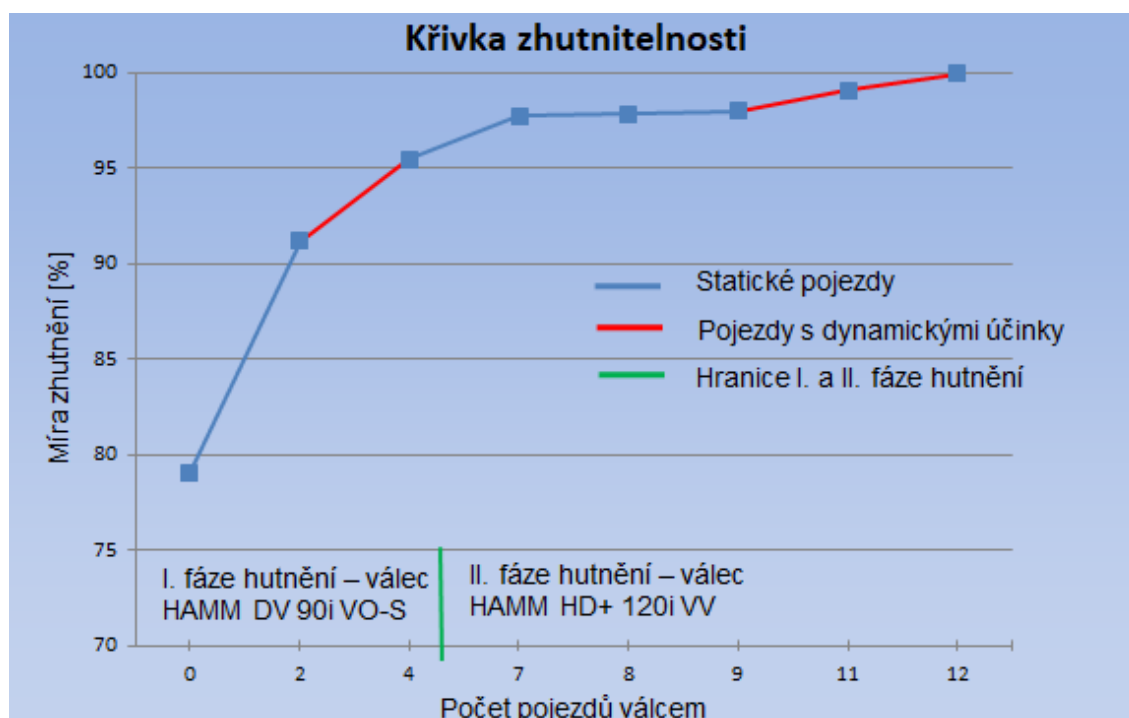


- rychlost finišeru byla 1,2 km/h při konstantní rychlosti;
- míra předhutnění finišerem byla 79,08 %, což odpovídá 1 867 kg/m³;
- referenční objemová hmotnost laboratorně stanovena na 2 361 kg/m³ (100% vztažná míra zhutnění);
- tloušťka pokládané vrstvy 50 mm a šířka pokládaného pruhu 3 250 mm;
- typ asfaltové směsi ACO 16+ 50/70.

Zhutnitelnost jsme zaznamenávali každý hutnicí cyklus a časové intervaly pro měření teploty byly tři minuty. Celkově monitoring trval 37 min.

Tabulka 8: Monitorované hodnoty – rekonstrukce Dolany.

	předhutnění finišerem	I. FÁZE HUTNĚNÍ (POČÁTEČNÍ)					II. FÁZE HUTNĚNÍ (HLAVNÍ)							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
číslo pojezdu [-]	—	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
míra zhutnění [%]	79,08	—	91,20	—	95,47	—	—	97,71	—	97,98	—	99,06	99,92	
objemová hm. [kg/m ³]	1867	—	2158	—	2254	—	—	2307	—	2313	—	2339	2359	
teplota asf. sm. [°C]	141	129	120	117	115	109	103	101	97	93	72	71	63	
dynamické úč. [-]	—	NE	NE	ANO	ANO	NE	NE	NE	NE	NE	ANO	ANO	ANO	
čas od nulté min. [min]	0	2	4	5	6	9	12	13	17	19	29	30	37	

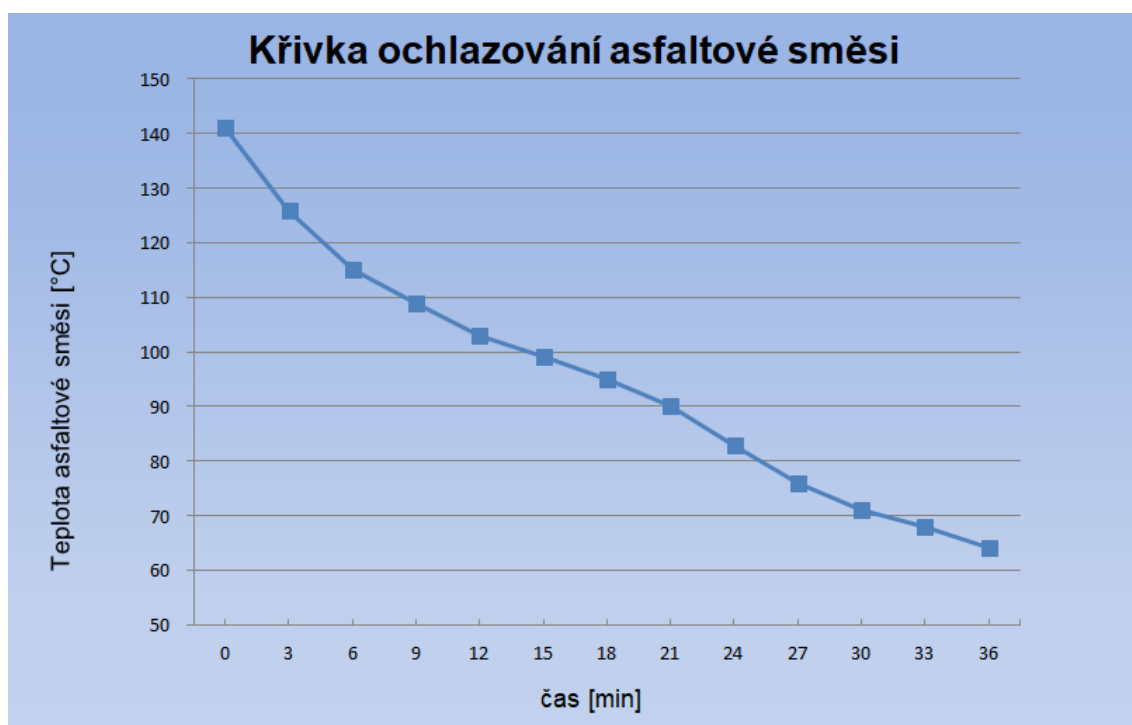


Obrázek 21: Graf závislosti míry zhutnění na počtu pojezdů.

Poznámka: Podle obrázku 21 a tabulky 8 si můžeme všimnout, že nárůst míry zhutnění při 8. a 9. pojezdu je takřka nulový (0,27 %). Dle obrázku 21 je zřejmé, že při těchto pojezdech nedocházelo k hutnění pomocí dynamických účinků, naproti tomu při 10. a 11. pojezdu došlo k výraznému nárůstu míry zhutnění (1,08 %) v porovnání s hodnotou při 8. a 9. pojezdu, protože zde bylo využito dynamických účinků hutnicí techniky. Dynamické účinky byly tedy 4násobně efektivnější v porovnání s pouze statickými pojezdy.

Tabulka 9: Monitorované teploty v 3minutových intervalech.

3minutové intervaly[min]	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36
teplota směsi [$^{\circ}\text{C}$]	141	126	115	109	103	99	95	90	83	76	71	68	64



Obrázek 22: Graf ochlazování asfaltové směsi v závislosti na čase.

8.1.2 Hutnící mechanizace

Průběh míry zhutňování je závislý na hutnící mechanizaci, a proto si následující dva tandemové válce použité při hutnění obrusné vrstvy krátce představíme.

Válec HAMM DV 90i VO-S je tandemový dvouosý válec s kombinovanými dynamickými účinky, který využívá na předním běhounu vibraci a na zadním běhounu oscilaci [29].

Základní technické údaje k tomuto válci jsou následující [29]:

- hmotnost je 9 350 kg;
- šířka obou běhounů je 1 680 mm a průměr obou běhounů je 1 200 mm;
- statické liniové zatížení vpředu/vzadu 28,9/26,7 N/mm;
- frekvence vibrace vpředu je na první převodový stupeň 42 Hz a na druhý 50 Hz;
- amplituda vibrace vpředu je na první převodový stupeň 0,61 mm a na druhý 0,40 mm;
- frekvence oscilace vzadu je 36 Hz a její tangenciální amplituda vzadu je 1,25 mm.



Tento válec je vhodný, díky své relativně menší hmotnosti, pro I. fázi hutnění k částečnému uzavření horké asfaltové úpravy. V odůvodněných případech, lze tento typ válců použít i pro II. fázi hutnění, například při méně rozsáhlých stavbách a menší výšce obrusné vrstvy. Výhodou je kombinace oscilačního a vibračního běhounu, kdy vibrace je vhodné využít zejména při podkladních a ložních vrstvách asfaltové úpravy a účinky oscilační pro vrstvy obrusné.



Obrázek 23: Tandemový Válec HAMM DV 90i VO-S [29].

Válec HAMM HD+ 120i VV je tandemový dvouosý válec s dvěma vibračními běhouny [28].

Základní technické údaje k tomuto válci jsou následující [28]:

- hmotnost je 12 475 kg;
- šířka obou běhounů je 1 980 mm a průměr obou běhounů je 1 400 mm;
- statické liniové zatížení vpředu/vzadu 31,6/31,4 N/mm;
- frekvence vibrace vpředu i vzadu je na první převodový stupeň 40 Hz a na druhý 50 Hz;
- amplituda vibrace vpředu i vzadu je na první převodový stupeň 0,89 mm a na druhý 0,35 mm.

Tento typ válce je vhodný, díky své vyšší hmotnosti, pro II. a III. fázi hutnění,



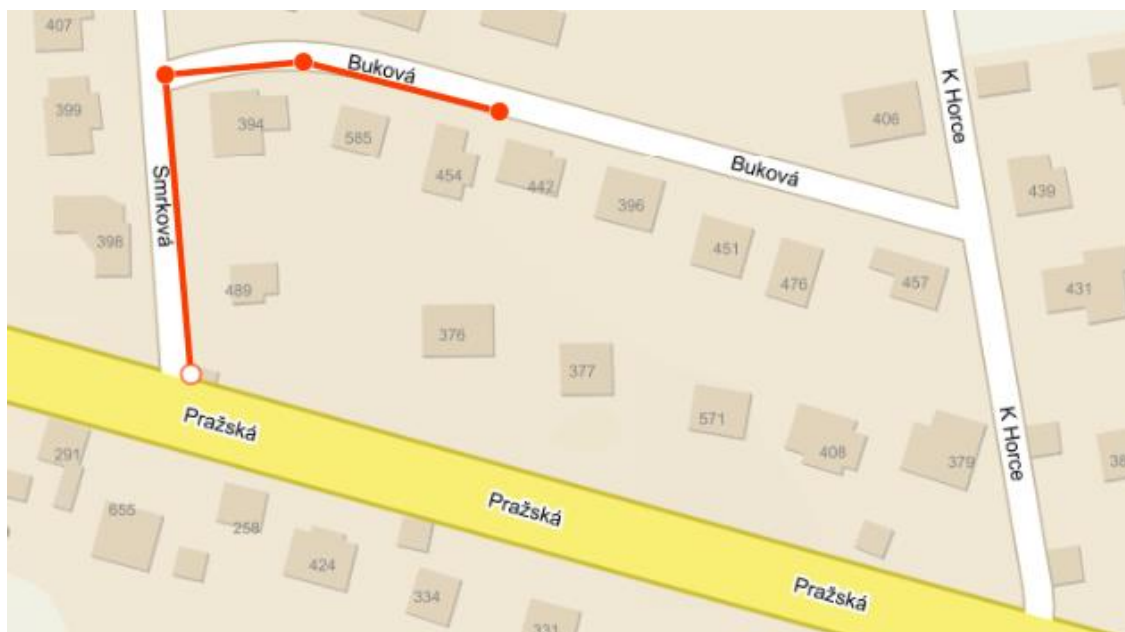
kdy válec pojíždí již částečně uzavřený povrch a postupně dochází k dosažení cílové míry zhutnění a vyhlazení povrchu. Výhodou tohoto válce je možnost využití vibrací obou běhounů zároveň a dosažení normované míry zhutnění za poměrně malý počet pojezdů. Frekvence vibrace je vhodná u tohoto typu válce při nižší teplotě asfaltové směsi (cca 100 °C), kdy statické účinky válce už nejsou efektivní.



Obrázek 24: Tandemový válec HAMM HD+ 120i VV [28].

8.2 Rekonstrukce komunikace – Velká Dobrá

Měřený úsek se nachází v blízkosti obce Velká Dobrá ve Středočeském kraji. Jednalo se o rekonstrukci MK II. třídy. Délka opravované komunikace byla cca 150 m a její šířka byla 6,0 m. Monitoring proběhl přibližně v polovině délky MK v ulici Smrkové.



Obrázek 25: Rekonstruovaný úsek – Velká Dobrá, vyznačený červenou čarou v ulici Smrková a Buková.

Rekonstrukce spočívala v položení nové podkladní a obrusné vrstvy. Výzkum byl proveden při pokládce obrusné vrstvy typu ACO 11 50/70 s výškou 40 mm. Oprava probíhala za plného uzavření ulic, a to v celé jejich šířce 6 m.

Asfaltová směs ACO 11 50/70 byla dovezena z obalovny Brant vozidly MB Actros V8 a položena finišerem Dynapac SD 2500CS. Hutníčí sestava se skládala pouze z jednoho silničního válce HAMM DV 90i VO-S a neodpovídá žádné z výše uvedených sestav z tabulky 5, jedná se spíše o ekonomickou improvizaci. Tato sestava složená z 1 válce byla přípustná díky rozsahu pokládané asfaltové úpravy.

Hutnění monitorovaného úseku lze rozdělit do dvou fází, podle poježdění se statickými nebo dynamickými účinky:

- I. fáze hutnění (počáteční), kdy válec HAMM DV 90i VO-S poježděl asfaltovou směs vysoké teploty. V I. fázi byly celkem dva statické pojezdy a došlo k částečnému uzavření povrchu;
- II. fáze hutnění (hlavní) probíhala pomocí stejného válce. V této etapě hutnění byly celkem čtyři dynamické pojezdy a došlo k úplnému uzavření a vyhlazení povrchu;



- III. fáze hutnění (závěrečná) nebyla nutná z důvodu malé tloušťky pokládané asfaltové úpravy a využití efektivní hutnicí techniky.

Poznámka: Ve II. fázi hutnění byly využity pouze oscilační dynamické účinky zadního běhounu (36 Hz s amplitudou 1,25 mm), přední běhoun pojížděl směs pouze staticky. Oscilační účinky byly upřednostněny před vibračními z důvodu hutnění v blízkosti obrubníků, kde vibrační účinky nebývají příliš vhodné.

8.2.1 Provedení monitoringu hutnění – Velká Dobrá

Naměřené hodnoty při monitoringu vybraného úseku jsou:

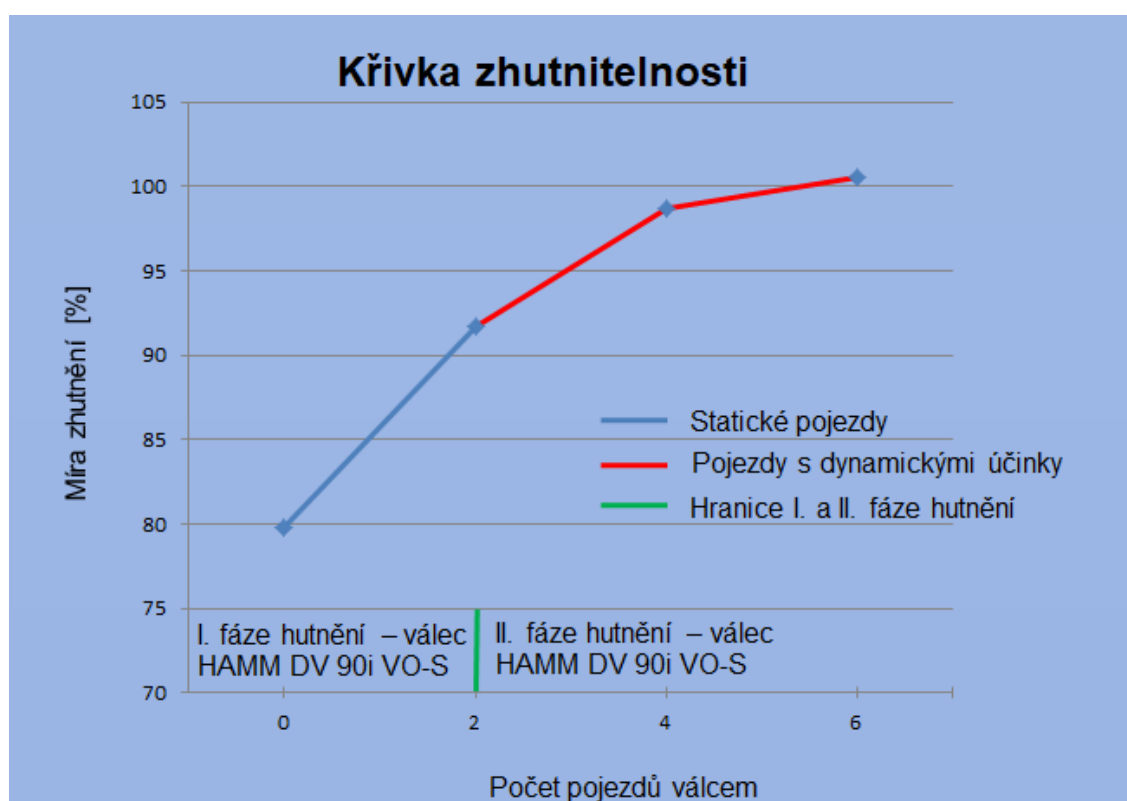
- teplota vzduchu ve stínu byla 10 °C při zatažené obloze;
- průměrná rychlost větru byla 0,7 m/s;
- teplota podkladu byla odhadnuta na 7 °C;
- rychlost válce na sledovaném úseku byla 3,2 km/h při konstantní rychlosti;
- rychlost finišeru byla 1,2 km/h při konstantní rychlosti;
- míra předhutnění finišerem naměřena 79,82 %, což odpovídá 1 889 kg/m³;
- referenční objemová hmotnost laboratorně stanovena na 2 367 kg/m³ (100% vztažná míra zhutnění);
- tloušťka pokládané vrstvy 40 mm a šířka pokládaného pruhu 6 000 mm;
- typ asfaltové směsi ACO 11 50/70.

Měření zhutnitelnosti bylo zaznamenáváno každý hutnicí cyklus a časové intervaly pro měření teploty byly tři minuty. Celkově monitoring trval 36 min.



Tabulka 10: Monitorované hodnoty – rekonstrukce Velká Dobrá.

	před- hutně- ní fini- šerem	I. FÁZE HUTNĚNÍ (POČÁTEČ- NÍ)		II. FÁZE HUTNĚNÍ (HLAVNÍ)			
		1	2	3	4	5	6
číslo pojezdu [-]	—	1	2	3	4	5	6
míra zhutnění [%]	79,82	—	91,72	—	98,65	—	100,51
objemová hm. [kg/m ³]	1889	—	2171	—	2335	—	2379
teplota asf. sm. [°C]	148	141	137	119	116	95	93
dynamické úč. [-]	—	NE	NE	ANO	ANO	ANO	ANO
čas od nulté min. [min]	0	2	3	7	8	16	17



Obrázek 26: Graf závislosti míry zhutnění na počtu pojezdů.

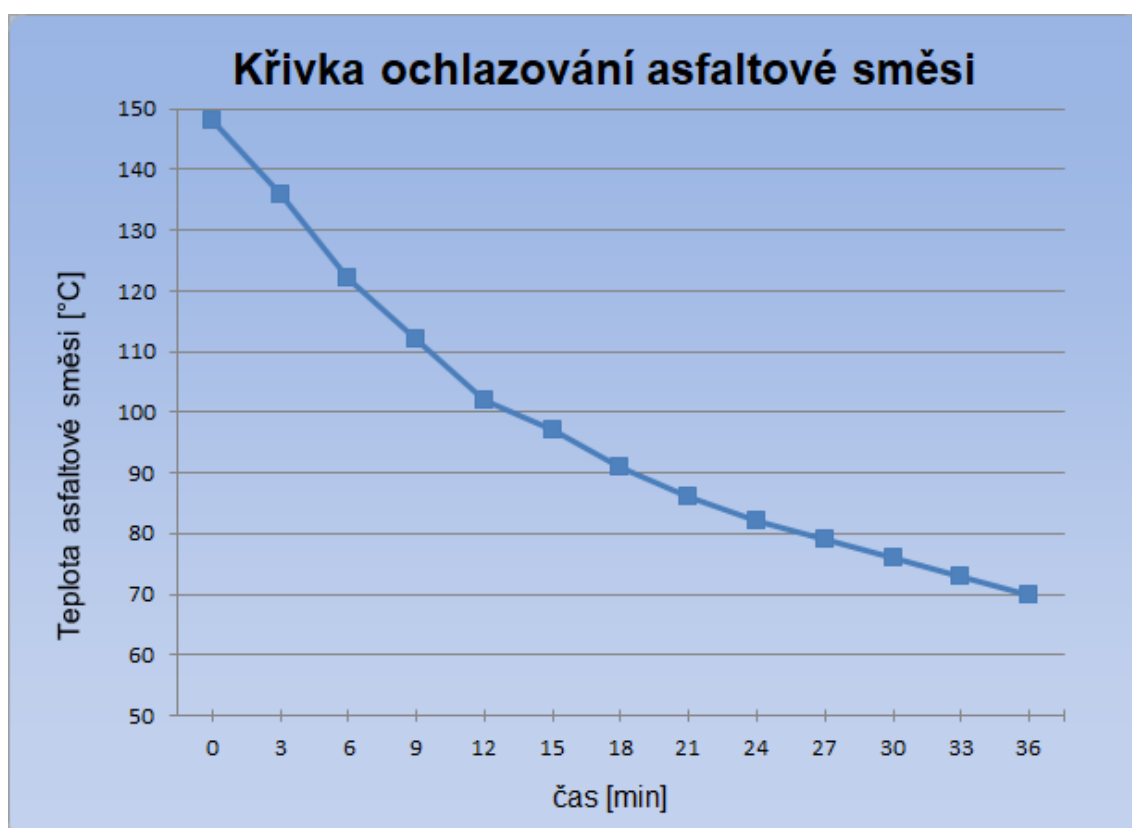
Poznámka: Požadované míry zhutnění bylo dosaženo poměrně malým počtem pojezdů, díky hutnění za vysokých teplot asfaltové směsi a využití z velké části dynamických účinků. Podle tabulky 10 si můžeme všimnout, že konečná míra



zhutnění přesáhla hranici 100 %, což znamená, že míra zhutnění na staveništi byla vyšší než míra zhutnění na Marshallově tělese v laboratoři a tato hodnota je tedy příznivá.

Tabulka 11: Monitorované teploty v 3minutových intervalech.

3minutové intervaly [min]	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36
teplota směsi [°C]	148	136	122	112	102	97	91	86	82	79	76	73	70



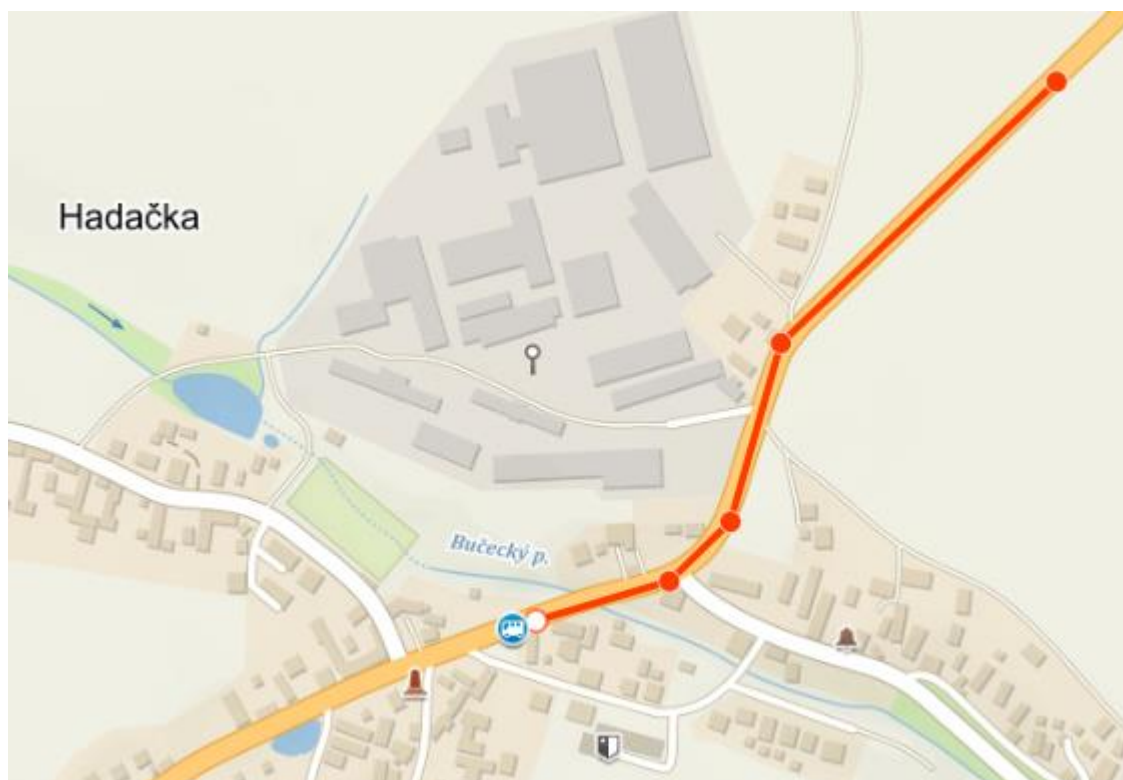
Obrázek 27: Graf ochlazování asfaltové směsi v závislosti na čase.

8.2.2 Hutnicí mechanizace

Viz část 8.1.2 válec HAMM DV 90i VO-S

8.3 Rekonstrukce komunikace – Hadačka

Měřený úsek se nachází v obci Hadačka v Plzeňském kraji. Jednalo se o rekonstrukci komunikace I. třídy s označením 27. Délka opravovaného pruhu vozovky byla cca 700 m a jeho šířka 4,0 m. Monitoring proběhl přibližně v polovině rekonstruovaného úseku.



Obrázek 28: Rekonstruovaný úsek – Hadačka, vyznačený červenou čarou.

Oprava spočívala ve vyfrézování poškozené obrusné, ložní i podkladní vrstvy a položení nových asphaltových úprav. Výzkum měření byl stanoven na ložné vrstvě typu ACL 22S PmB 25/55-60 s výškou 65 mm. Rekonstrukce byla provedena s omezením dopravy, kdy byl uzavřen jeden jízdní pruh, na kterém probíhaly stavební práce a v druhém jízdním pruhu byl umožněn průjezd vozidel.

Asfaltová směs ACL 22S PmB 25/55-60 byla dovezena z obalovny Brant vozidly MB Actros V8 a položena finišerem Dynapac SD 2500CS. Hutnicí sestava se skládala ze dvou válců a to ze silničních válců typu HAMM DV 90i VO-S.



Hutnění monitorovaného úseku probíhalo ve dvou fázích hutnění:

- I. fáze (počáteční) hutnění, kdy válec HAMM DV 90i VO-S zhutnil asfaltovou směs vysoké teploty 3 statickými pojezdy;
- II. fáze (hlavní) hutnění probíhala pomocí stejného tandemového válce, který pojížděl částečně uzavřený asfaltový povrch, čímž došlo k jeho úplnému uzavření a částečnému vyhlazení. Pojezdů v této fázi hutnění bylo celkem sedm a jednalo se převážně o pojezdy se zapnutými dynamickými účinky;
- III. fáze (závěrečná) hutnění nebyla nutná z důvodu hutnění podkladní vrstvy, která překryla obrusnou vrstvu a ta prezentuje rekonstruovanou komunikaci a udává její jízdní vlastnosti.

Poznámka: Pojezdy s dynamickými účinky probíhaly se zapnutou vibrací předního běhounu na druhý převodový stupeň (frekvence 50 Hz s amplitudou 0,40 mm) a současně s oscilací zadního běhounu (36 Hz s amplitudou 1,25 mm), což způsobovalo vyšší hutnicí účinek.

8.3.1 Provedení monitoringu hutnění – Hadačka

Naměřené hodnoty při monitoringu vybraného úseku:

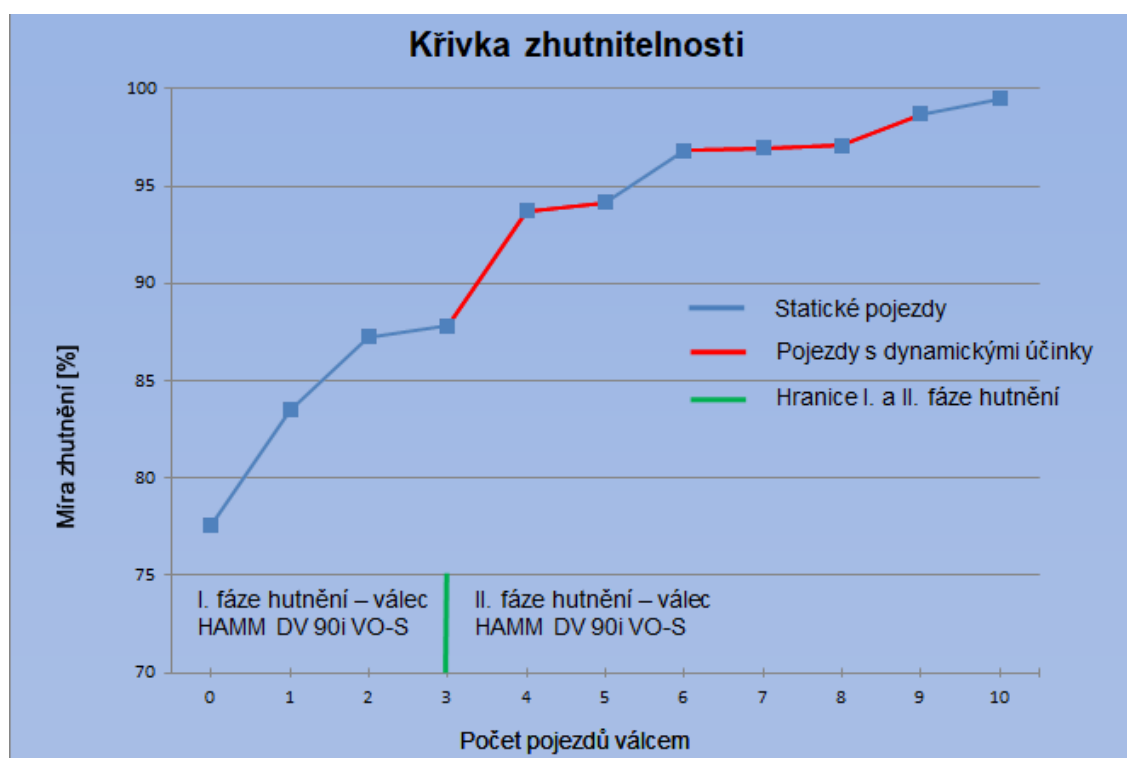
- teplota vzduchu ve stínu byla 13 °C za polojasné oblohy;
- průměrná rychlost větru byla 3,5 m/s;
- teplota podkladu byla odhadnuta na 10 °C;
- průměrná rychlost válců na sledovaném úseku byla 3,5 km/h;
- rychlost finišeru byla 1,2 km/h při konstantní rychlosti;
- míra předhutnění finišerem naměřena 77,61 %, to odpovídá 1 867 kg/m³;
- referenční objemová hmotnost laboratorně stanovena na 2 416 kg/m³ (100% vztažná míra zhutnění);
- tloušťka pokládané vrstvy 65 mm a šířka pokládaného pruhu 4 000 mm;
- typ asfaltové směsi ACL 22S PmB 25/55-60.

Měření zhutnitelnosti bylo zaznamenáváno každý pojezd a časové intervaly pro měření teploty byly tři minuty. Celková doba monitoringu byla 36 min.



Tabulka 12: Monitorované hodnoty – rekonstrukce Hadačka.

	před- hutnění finiše- rem	I. FÁZE HUTNĚNÍ (POČÁTEČNÍ)			II. FÁZE HUTNĚNÍ (HLAVNÍ)							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
číslo pojezdu [-]	—	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
míra zhutnění [%]	77,61	83,48	87,24	87,82	93,74	94,16	96,82	96,95	97,07	98,7	99,49	
objemová hm. [kg/m ³]	1876	2017	2108	2122	2266	2276	2340	2342	2346	2385	2404	
teplota asf. sm. [°C]	149	148	147	144	143	132	126	124	114	109	102	
dynamické úč. [-]	—	NE	NE	NE	ANO	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	NE	
čas od nulté min. [min]	0	2	2	6	7	11	14	15	19	22	26	



Obrázek 29: Graf závislosti míry zhutnění na počtu pojezdů.

Poznámka: Požadované míry zhutnění bylo dosaženo vyšším počtem pojezdů, díky hutnění velké vrstvy asfaltové úpravy i přes využití z velké části dynamických účinků a hutněním asfaltové směsi za vysokých teplot. Z tohoto grafu lze usoudit, že je výhodné kombinovat dynamické účinky se statickými, kdy zrna ve směsi dostávají různý impuls hutnění a tím se lépe dosahuje požadované míry zhutnění směsi. Příkladem tomu jsou pojezdy 2–6, kdy se různě střídá efektivnost dynamických a statických účinků.



Tabulka 13: Monitorované teploty v 3minutových intervalech.

3minutové intervaly[min]	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36
teplota směsi [°C]	149	147	144	138	130	124	117	111	105	100	96	92	89



Obrázek 30: Graf ochlazování asfaltové směsi v závislosti na čase.

8.3.2 Hutní mechanizace

Viz část 8.1.2 válec HAMM DV 90i VO-S



9. Porovnání teoretických předpokladů se získanými výsledky

Cílem praktické části BP bylo ověření teoretických předpokladů se získanými hodnotami na stavbě. V následující kapitole si ukážeme pomocí grafů a tabulek, zdali se předpoklady naplnily anebo nikoliv, případně jakých nových poznatků či zajímavostí jsme dosáhli.

9.1 Ověření ochlazování asfaltové směsi

9.1.1 Monitoring teploty stavby – Dolany

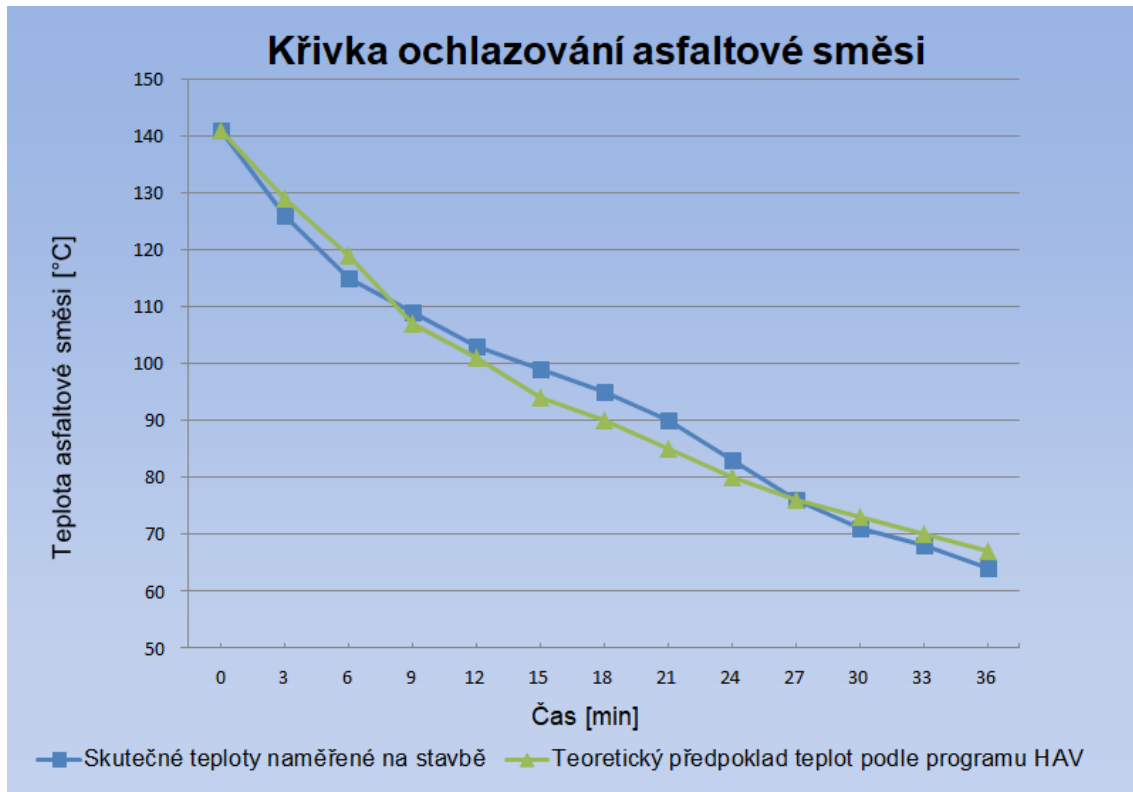
Teoretické stanovení průběhu ochlazování asfaltové vrstvy bylo provedeno pomocí počítačového programu HAV. Ochlazovací křivka na obrázku 31 byla určena interpolací teplot z obrázku 32 vygenerovaného z programu HAV.

Vstupní naměřené hodnoty ovlivňující průběh ochlazování asfaltové vrstvy:

- Počáteční teplota směsi 141 °C;
- teplota vzduchu ve stínu byla 14 °C za jasné oblohy;
- průměrná rychlost větru byla 2,7 m/s \approx 3,0 m/s;
- teplota podkladu byla odhadnuta na 10 °C;
- tloušťka pokládané vrstvy 50 mm;
- typ asfaltové směsi ACO 16+ 50/70.

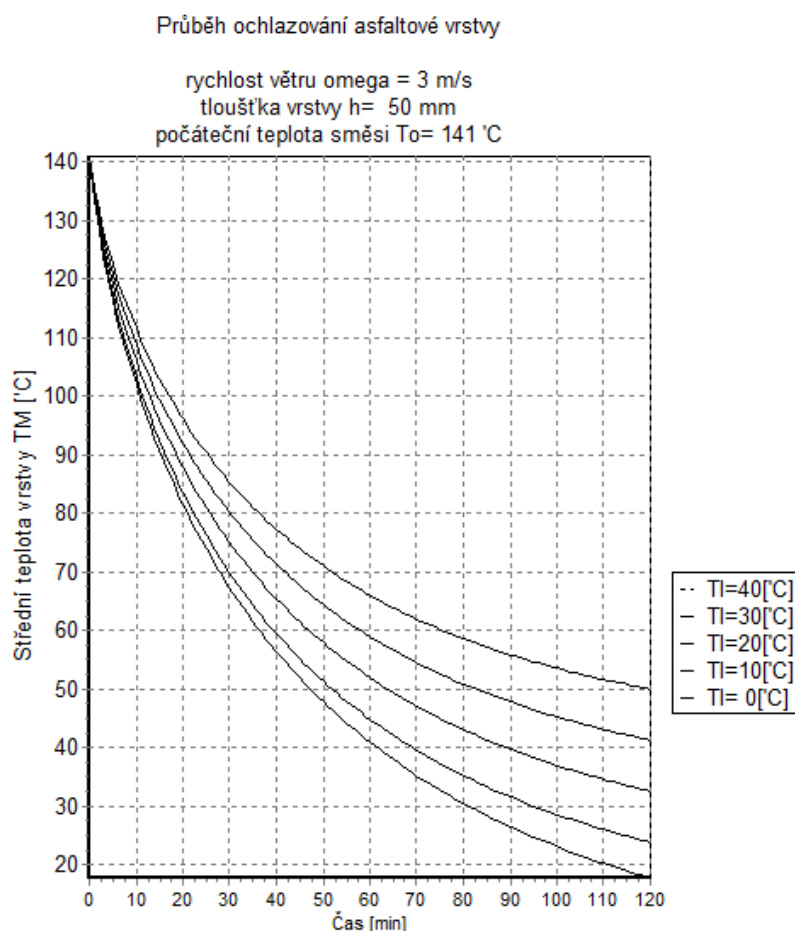
Tabulka 14 : Srovnání teoretického předpokladu ochlazování asfaltové směsi s naměřenými hodnotami v terénu.

3minutové intervaly [min]	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36
Teplota směsi zaznamenaná na stavbě [°C]	141	126	115	109	103	99	95	90	83	76	71	68	64
Teoretický předpoklad teplot podle programu HAV [°C]	141	129	119	107	101	94	90	85	80	76	73	70	67



Obrázek 31: Srovnání teoretického předpokladu ochlazování asfaltové směsi s naměřenými hodnotami v terénu.

Poznámka: Z obrázku 31 a tabulky 14 lze vyčíst, že předpokládané teploty asfaltové směsi jsou přibližně správné a teoretický předpoklad je tedy ověřen. Odchylka teoreticky stanovených teplot je maximálně 5 °C.



Obrázek 32: Průběh ochlazování asphaltové vrstvy stanovené pomocí počítačového programu HAV.

9.1.2 Monitoring teploty stavby – Velká Dobrá

Teoretické stanovení průběhu ochlazování asphaltové vrstvy bylo provedeno pomocí počítačového programu HAV. Ochlazovací křivka na obrázku 33 byla určena interpolací teplot z obrázku 34 vygenerovaného z programu HAV.

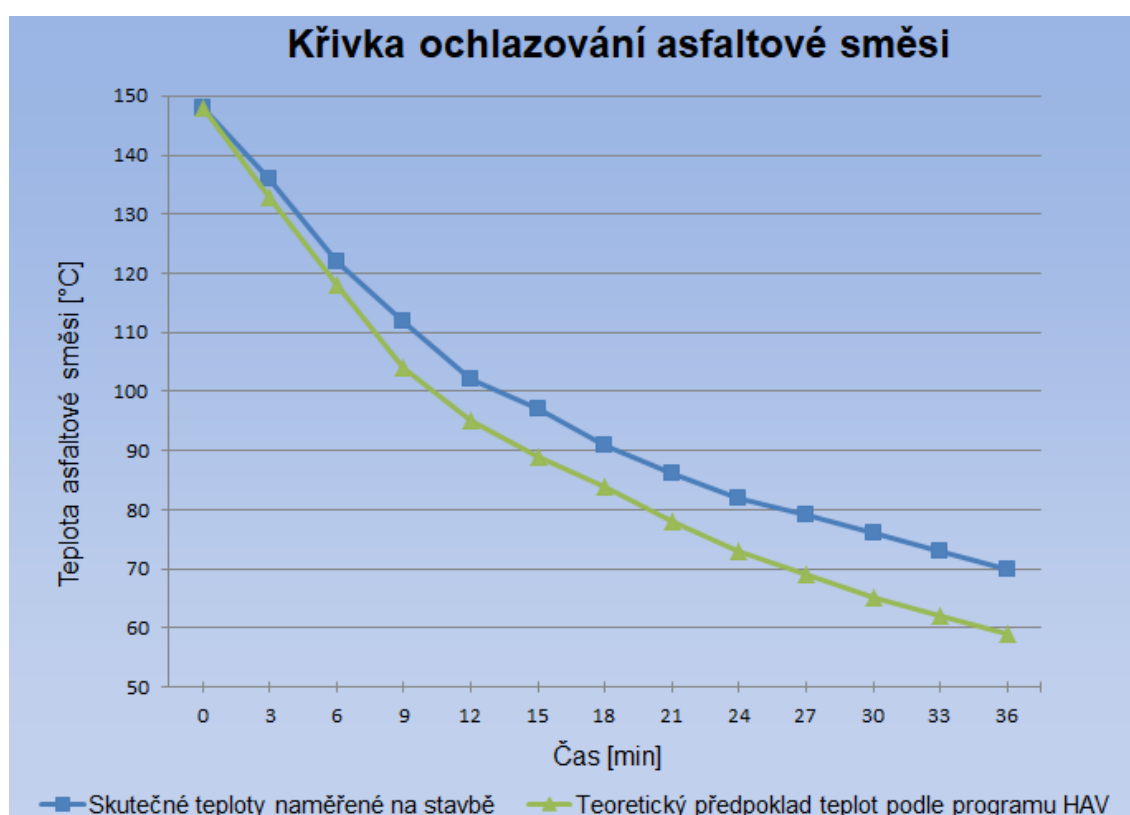
Vstupní naměřené hodnoty ovlivňující průběh ochlazování asphaltové vrstvy:

- Počáteční teplota směsi 148 °C ;
- teplota vzduchu ve stínu byla 10 °C při zatažené obloze;
- průměrná rychlost větru byla $0,7 \text{ m/s} \approx 1,0 \text{ m/s}$;
- teplota podkladu byla odhadnuta na 7 °C ;
- tloušťka pokládané vrstvy 40 mm ;
- typ asphaltové směsi ACO 11 50/70.



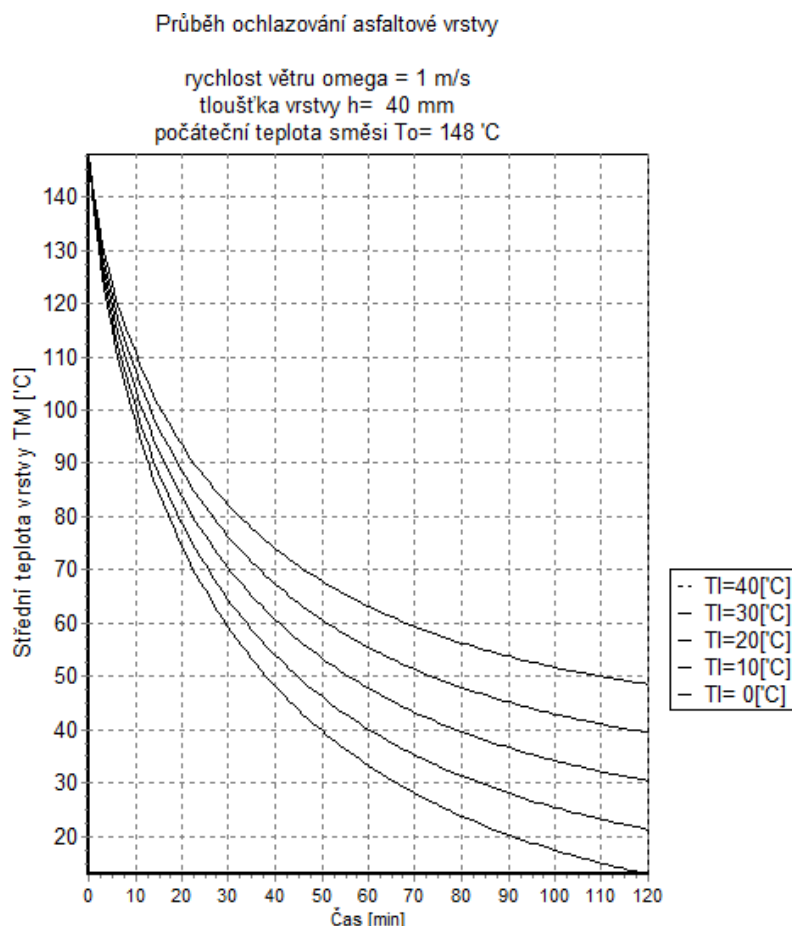
Tabulka 15: Srovnání teoretického předpokladu ochlazování asphaltové směsi s naměřenými hodnotami v terénu.

3minutové intervaly [min]	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36
Teplota směsi zaznamenaná na stavbě [°C]	148	136	122	112	102	97	91	86	82	79	76	73	70
Teoretický předpoklad teplot podle programu HAV [°C]	148	133	118	104	95	89	84	78	73	69	65	62	59



Obrázek 33: Srovnání teoretického předpokladu ochlazování asphaltové směsi s naměřenými hodnotami v terénu.

Poznámka: Z obrázku 33 a tabulky 15 lze vyčíst, že předpokládané teploty asphaltové směsi se liší od naměřených teplot na stavbě poměrně velkým způsobem, a to zejména při konečné teplotě ochlazování, kdy je naměřena nejvyšší odchylka 11 °C. Teoretický předpoklad ochlazování asphaltové úpravy v tomto případě není splněn. Důvodem tomu může být nepřesnost teoreticky stanoveného průběhu ochlazování. Například příčinou nespecifikovaných vlastností a množství R-materiálu, který je v námi použitém asphaltovém betonu obsažen.



Obrázek 34: Průběh ochlazování asphaltové vrstvy stanovené pomocí počítačového programu HAV.

9.1.3 Monitoring teploty stavby – Hadačka

Teoretické stanovení průběhu ochlazování asphaltové vrstvy bylo provedeno pomocí počítačového programu HAV. Ochlazovací křivka na obrázku 35 byla určena interpolací teplot z obrázku 36 vygenerovaného z programu HAV.

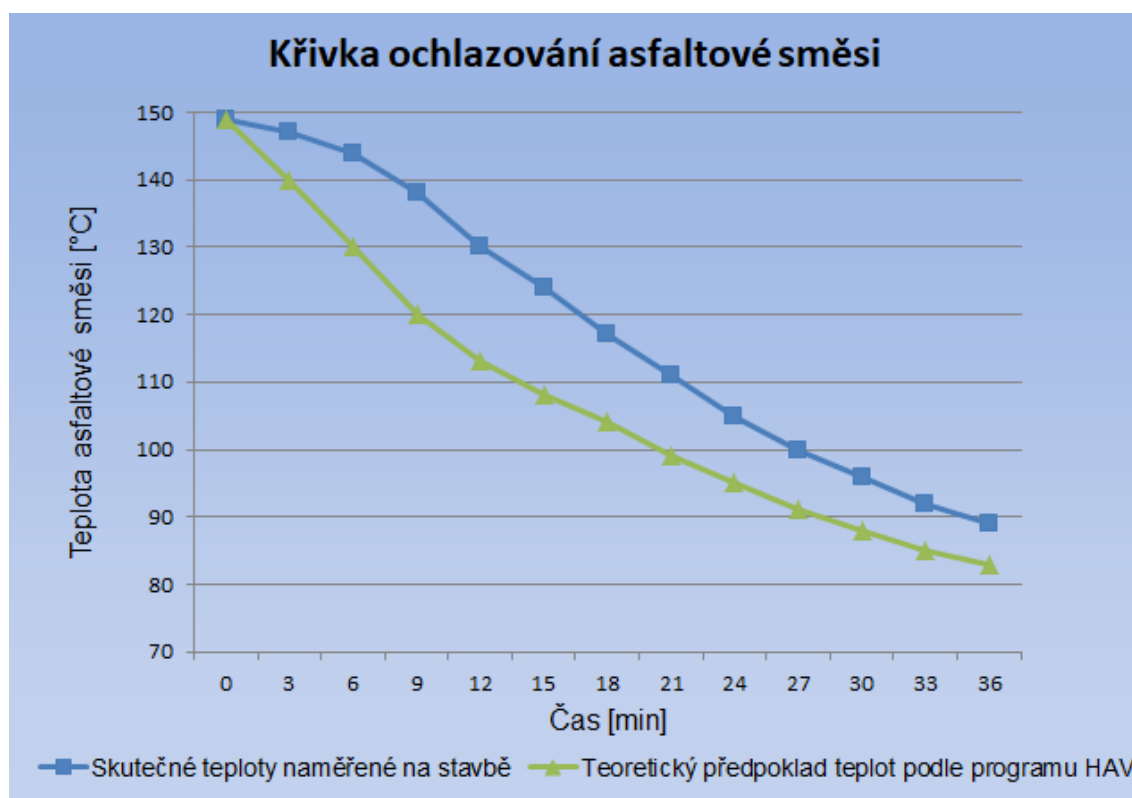
Vstupní naměřené hodnoty ovlivňující průběh ochlazování asphaltové vrstvy:

- Počáteční teplota směsi 149 °C ;
- teplota vzduchu ve stínu byla 13 °C za polojasné oblohy;
- průměrná rychlost větru byla $3,5 \text{ m/s} \approx 4,0 \text{ m/s}$;
- teplota podkladu byla odhadnuta na 10 °C ;
- tloušťka pokládané vrstvy 65 mm ;
- typ asphaltové směsi ACL 22S PmB 25/55-60.



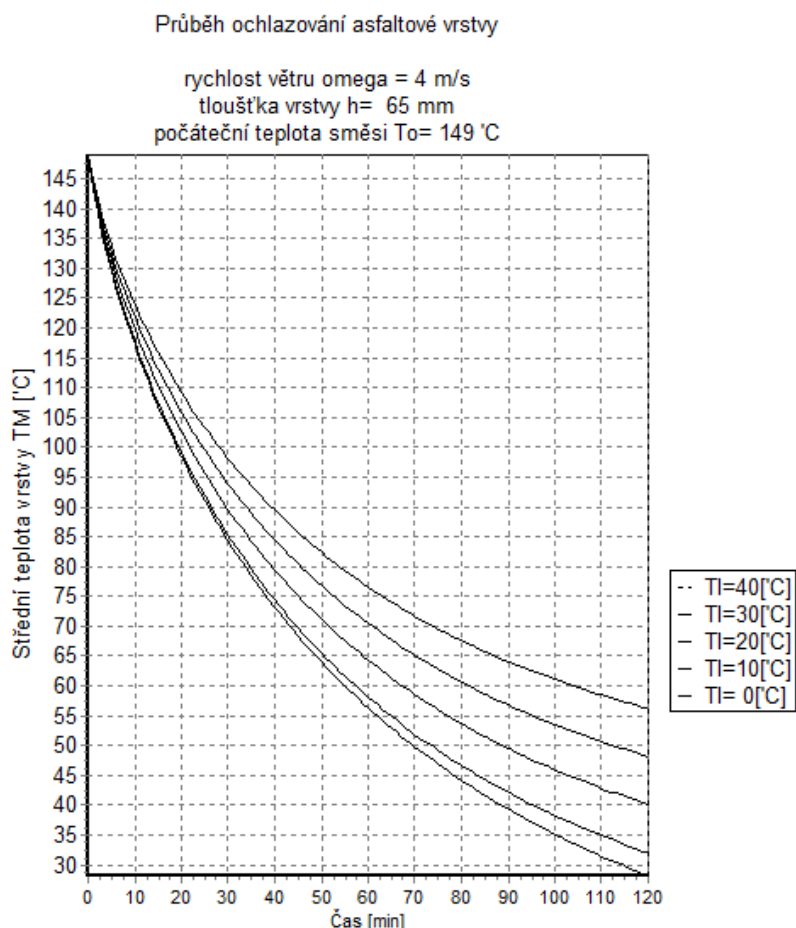
Tabulka 16: Srovnání teoretického předpokladu ochlazování asfaltové směsi s naměřenými hodnotami v terénu.

3minutové intervaly [min]	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36
Teplota směsi zaznamenaná na stavbě [°C]	149	147	144	138	130	124	117	111	105	100	96	92	89
Teoretický předpoklad teplot podle programu HAV [°C]	149	140	130	120	113	108	104	99	95	91	88	85	83



Obrázek 35: Srovnání teoretického výpočtu ochlazování asfaltové směsi s naměřenými hodnotami v terénu.

Poznámka: Z obrázku 35 a tabulky 16 lze vyčíst, že předpokládané teploty asfaltové směsi se liší od naměřených teplot na stavbě poměrně velkým způsobem, a to po celou dobu ochlazování asfaltové úpravy, nejvyšší odchylka byla naměřena 18 °C. Teoretický předpoklad ochlazování asfaltové úpravy v tomto případě není splněn. Důvodem tomu může být nepřesnost teoreticky stanoveného průběhu ochlazování. Například příčinou nespecifikovaných vlastností a množství R-materiálu, který je v námi použitém asfaltovém betonu obsažen.



Obrázek 36: Průběh ochlazování asphaltové vrstvy stanovené pomocí počítačového programu HAV.

Shrnutí k části 9.1

Průběh ochlazování asphaltové úpravy se přiblížil k teoreticky stanovenému průběhu ochlazování pouze v jednom ze tří případů (stavba – Dolany), a to s přesností 5 °C v dalších dvou situacích byly odchylky od teoreticky stanoveného průběhu ochlazování vyšší (11 °C a 18 °C). Nepřesnosti mohly být zapříčiněny z těchto důvodů – nespecifikované vlastnosti a množství R-materiálu v asphaltovém betonu, rozmanitou rychlostí větru, odchýlením tloušťky vrstvy v místě měření, vliv oblačnosti s kterým program HAV nepočítá, případně nepřesností teoreticky stanoveného průběhu ochlazování. Můžeme tedy říci, že průběh asphaltové směsi stanovený programem HAV je spíše orientační, ale ne směrodatný, protože nelze zajistit optimální a stabilní podmínky pokládky asphaltové úpravy.



9.2 Ověření zhutňovacích sestav

V následujících částech stanovíme pomocí příslušného grafu vygenerovaného programem HAV (obrázky 37–44) hodnotu R_f (zhutňovací faktor) pro každý běhoun a pojezd zvlášť. Hodnoty R_f kompetentní stavby sečteme a získáme celkový zhutňovací faktor R_f , ten porovnáme s hodnotou $R_{f,tab}$ z tabulky 17. V případě, že námi spočítaná hodnota R_f bude větší než požadovaná, lze považovat použitou hutnicí sestavu za dostatečně účinnou a normovaná hodnota míry zhutnění bude dosažena jak z teoretického hlediska, tak z hlediska praktického. V případě, že celková hodnota R_f příslušné stavby bude menší než požadovaná hodnota $R_{f,tab}$, lze považovat použitou hutnicí sestavu za nedostatečně účinnou a normovaná míra zhutnění nastala pouze z praktického hlediska.

Tabulka 17: Požadavky na minimální výslednou (celkovou) hodnotu zhutňovacího faktoru R_f [1].

Počet úderů pěchu podle Marshalla při ZT	Míra předhutnění směsi finišerem [%]		
	80–85	>85–90	nad 90 (až 95 %)
2 x 50	$R_f \geq 5,6 \cdot 10^{-5}$	$R_f \geq 5,3 \cdot 10^{-5}$	$R_f \geq 5,0 \cdot 10^{-5}$
2 x 75	$R_f \geq 5,8 \cdot 10^{-5}$	$R_f \geq 5,5 \cdot 10^{-5}$	$R_f \geq 5,2 \cdot 10^{-5}$

Poznámky:
Požadavky na minimální hodnoty $R_{f,tab}$ jsou předpokládány pro dosažení míry zhutnění 98 %. Pokud jsou tyto požadavky zvýšeny, je nutné minimální požadované hodnoty na $R_{f,tab}$ také zvýšit. Hodnoty v této tabulce jsou nezávazné, není nutné se jimi striktně řídit, ale v praxi by měly být dodržovány.

Teoretické stanovení průběhu zhutňovací práce příslušných válců (běhounů) bylo provedeno v počítačovém programu HAV a z něj byly vygenerovány kompetentní grafy pro určení zhutňovacího faktoru R_f .

9.2.1 Ověření zhutňovací sestavy – Dolany

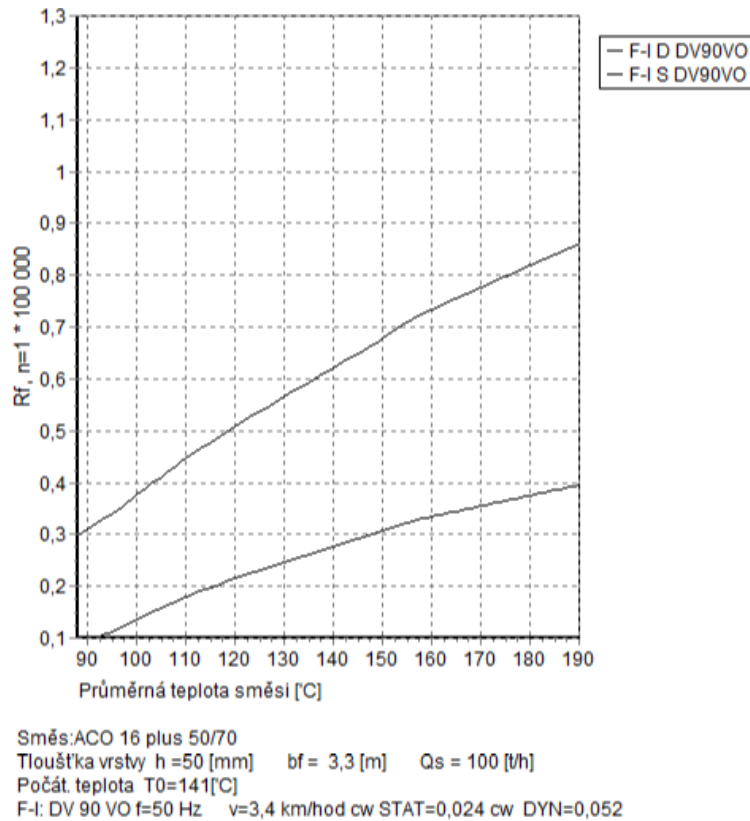
Údaje o stavbě potřebné k vygenerování grafu programem HAV pro stanovení hodnoty R_f :



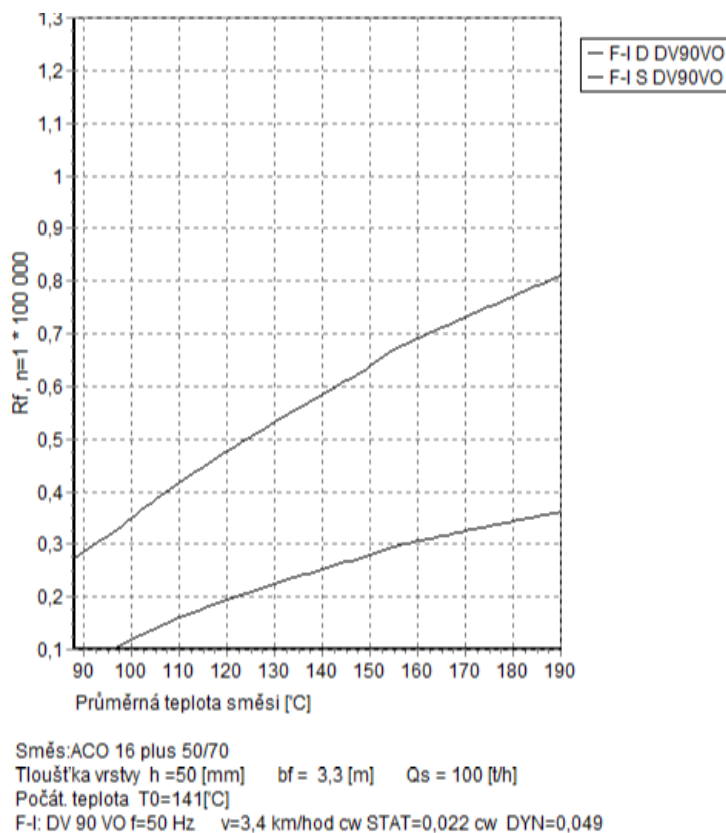
- typ asfaltové směsi ACO 16+ 50/70;
- tloušťka pokládané vrstvy 50 mm a šířka pokládaného pruhu 3 250 mm;
- průměrná rychlost válců na sledovaném úseku byla naměřena 3,4 km/h při konstantní rychlosti;
- více informací v části 8.1.

Vstupní data válce HAMM DV 90i VO-S potřebná k vygenerování grafu programem HAV pro stanovení hodnoty R_f [29, 1]:

- hmotnost válce 9 350 kg;
- koeficient účinnosti $c_{w,stat}$ pro přední běhoun válce bez vibrace 0,024 [N/mm²];
- koeficient účinnosti $c_{w,dyn}$ pro přední běhoun válce s vibrací 0,049 [N/mm²];
- koeficient účinnosti $c_{w,stat}$ pro zadní běhoun válce bez vibrace 0,022 [N/mm²];
- koeficient účinnosti $c_{w,dyn}$ pro zadní běhoun válce s oscilací 0,052 [N/mm²];
- více informací v části 8.1.2.



Obrázek 37: Graf stanovení hodnot R_f pro přední statický běhoun (křivka dole) a zadní oscilační běhoun (křivka nahoře) válce typu HAMM DV 90i VO-S.

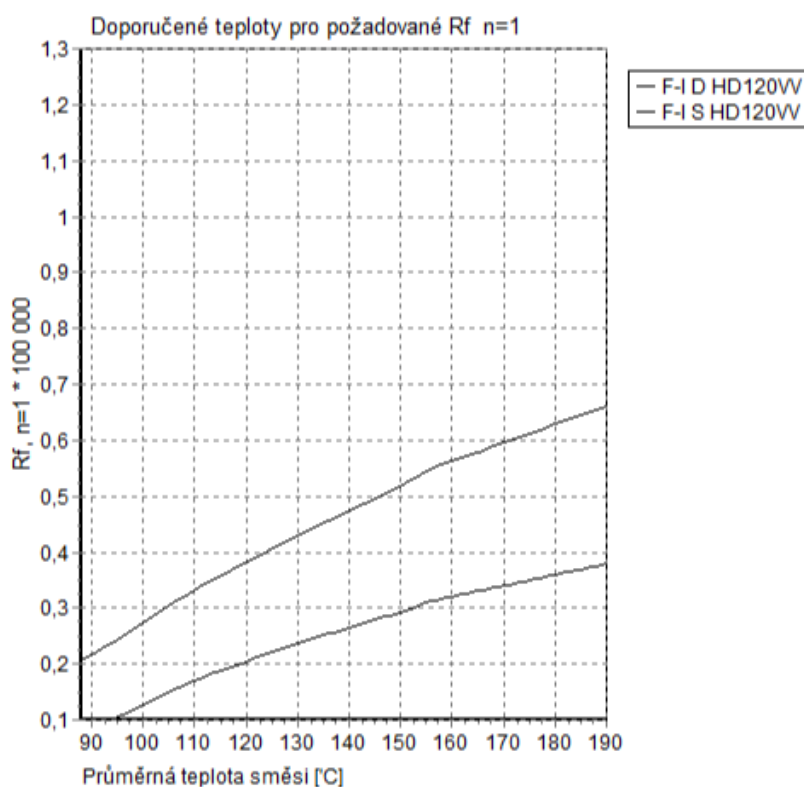


Obrázek 38: Graf stanovení hodnot R_f pro přední vibrační běhoun (křivka nahoře) a zadní statický běhoun (křivka dole) válce typu HAMM DV 90i VO-S.



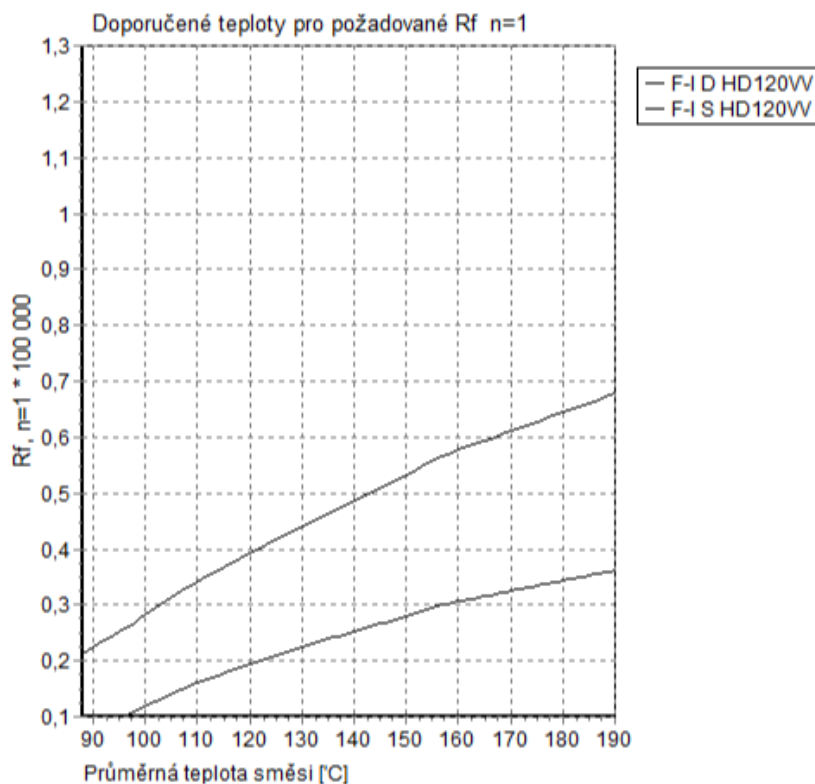
Vstupní data válce HAMM HD+ 120i potřebná k vygenerování grafu programem HAV pro stanovení hodnoty R_f [28, 1]:

- hmotnost válce 12 475 kg;
- koeficient účinnosti $c_{w,stat}$ pro přední běhoun válce bez vibrace 0,023 [N/mm²];
- koeficient účinnosti $c_{w,dyn}$ pro přední běhoun válce s vibrací 0,041 [N/mm²];
- koeficient účinnosti $c_{w,stat}$ pro zadní běhoun válce bez vibrace 0,022 [N/mm²];
- koeficient účinnosti $c_{w,dyn}$ pro zadní běhoun válce s vibrací 0,040 [N/mm²];
- více informací v části 8.1.2.



Směs: ACO 16 plus 50/70
Tloušťka vrstvy $h = 50$ [mm] $bf = 3,3$ [m] $Q_s = 100$ [t/h]
Počát. teplota $T_0 = 141$ [°C]
F-I: HD 120 VV $f = 50$ Hz $v = 3,4$ km/hod $c_w STAT = 0,023$ $c_w DYN = 0,040$

Obrázek 39: Graf stanovení hodnot R_f pro přední statický běhoun (křivka dole) a zadní vibrační běhoun (křivka nahoře) válce typu HAMM HD+ 120i.



Směs: ACO 16 plus 50/70
 Tloušťka vrstvy $h = 50$ [mm] $bf = 3,3$ [m] $Q_s = 100$ [t/h]
 Počát. teplota $T_0 = 141$ [°C]
 F-I: HD 120 VV $f = 50$ Hz $v = 3,4$ km/hod cw STAT = 0,022 cw DYN = 0,041

Obrázek 40: Graf stanovení hodnot R_f pro zadní statický běhoun (křivka dole) a přední vibrační běhoun (křivka nahoře) válce typu HAMM HD+ 120i.

Tabulka 18: Vstupní data pro stanovení zhutňovacího faktoru R_f – Dolany.

	I. FÁZE HUTNĚNÍ (HAMM DV 90i VO-S)					II. FÁZE HUTNĚNÍ (HAMM HD+ 120i VV)						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
číslo pojezdu [-]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
míra zhutnění [%]	—	91,20	—	95,47	—	—	97,71	—	97,98	—	99,06	99,92
teplota asf. sm. [°C]	129	120	117	115	109	103	101	97	93	72	71	63
dynamické úč. [-]	NE	NE	ANO	ANO	NE	NE	NE	NE	NE	ANO	ANO	ANO
statické účinky předního běhounu	✓	✓	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×
vibrační účinky předního běhounu	×	×	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×
statické účinky zadního běhounu	✓	✓	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×
oscilační účinky zadního běhounu	×	×	✓	✓	×	×	×	×	×	×	×	×
vibrační účinky předního i zadního běhounu	×	×	×	×	×	×	×	×	×	✓	✓	✓
Poznámka: Míra předhutnění finišerem 79,08 %.												



Celkový zhutňovací faktor běhounů spočítáme ze vzorce [1]

$$\sum_{n=1}^k R_{f,n} \geq R_{f,tab} \quad (1.9)$$

kde je

$R_{f,n}$ zhutňovací faktor podle Nijboera pro n pojezdů příslušných běhounů [-];

$R_{f,tab}$ mezní hodnota zhutňovacího faktoru R_f podle tabulky 17 [-].

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^{12} R_{f,n} &= [(0,24 + 0,23) \cdot 10^{-5} + (0,22 + 0,20) \cdot 10^{-5} + (0,47 + 0,49) \cdot 10^{-5} \\ &+ (0,45 + 0,47) \cdot 10^{-5} + (0,17 + 0,16) \cdot 10^{-5}] \\ &+ [(0,13 + 0,13) \cdot 10^{-5} + (0,12 + 0,12) \cdot 10^{-5} + (0,11 + 0,10) \cdot 10^{-5} \\ &+ (0,08 + 0,09) \cdot 10^{-5} + (0,00 + 0,00) \cdot 10^{-5} + (0,00 + 0,00) \cdot 10^{-5} \\ &+ (0,00 + 0,00) \cdot 10^{-5}] = 3,85 \cdot 10^{-5} \leq 5,6 \cdot 10^{-5} \text{ podmínka nesplněna} \end{aligned}$$

Použitou zhutňovací sestavu lze považovat za dostatečně účinnou pouze z praktického hlediska, kdy zhutňovací sestava dosáhla míry zhutnění podle naměřených hodnot na stavbě (99,92 %). Podle teoretického výpočtu by tato zhutňovací sestava neměla být v praxi použita, protože nedosahuje požadované míry zhutnění (podle rovnice 1.9). Teorie nemusela být potvrzena z důvodu nspecifikovaných vlastností a hmotností v přidávaném R-materiálu, který jak již bylo zmíněno v námi použitým asfaltovém betonu je obsažen. Příčinou může být také neuvažování R_f při teplotách nižších jak 90 °C, při kterých se nedoporučuje hutnit vibračními účinky podle obrázku 37–41 nebo části 4.3.1.4, byť určitý R_f vyvozují, ovšem může poškozovat povrch vozovky, proto se s těmito hodnotami v teorii neuvažuje. V neposlední řadě nemusela být teorie potvrzena z důvodu nepřesnosti hodnot $R_{f,tab}$ z tabulky 17 ve které, jak sám autor tabulky uvádí, je potřeba pro možnost širokého použití počítat s určitou rezervou.

Poznámka: Vzhledem k míře předhutnění 79,08 % na této stavbě by měl být $R_{f,tab}$ navýšen v řádech několika setin (např. $5,64 \cdot 10^{-5}$), protože hodnoty $R_{f,tab}$ z tabulky 17 jsou uvedeny pouze pro míru předhutnění 80–95 %. $R_{f,tab}$ se



zvyšuje se snižující se mírou předhutnění finišerem.

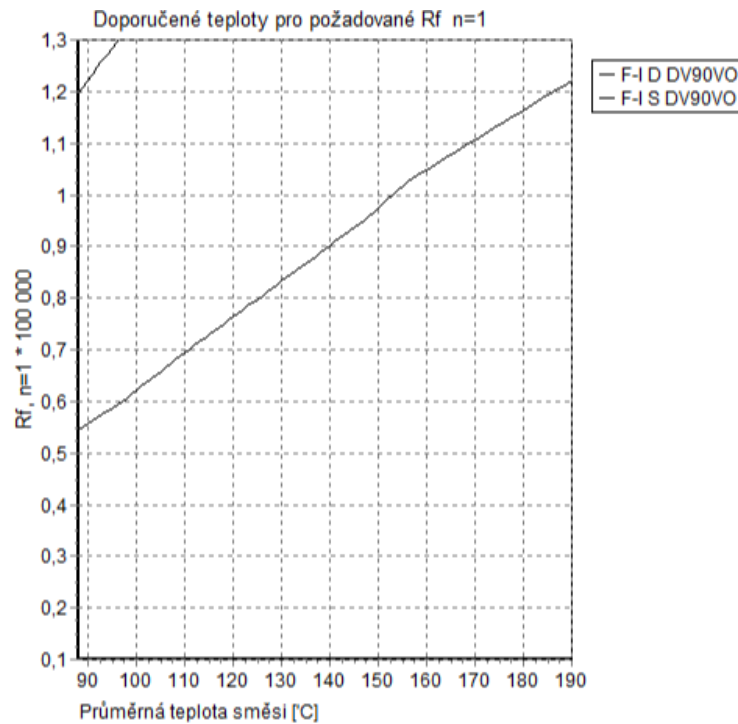
9.2.2 Ověření zhutňovací sestavy – Velká Dobrá

Údaje o stavbě potřebné k vygenerování grafu programem HAV pro stanovení hodnoty R_f :

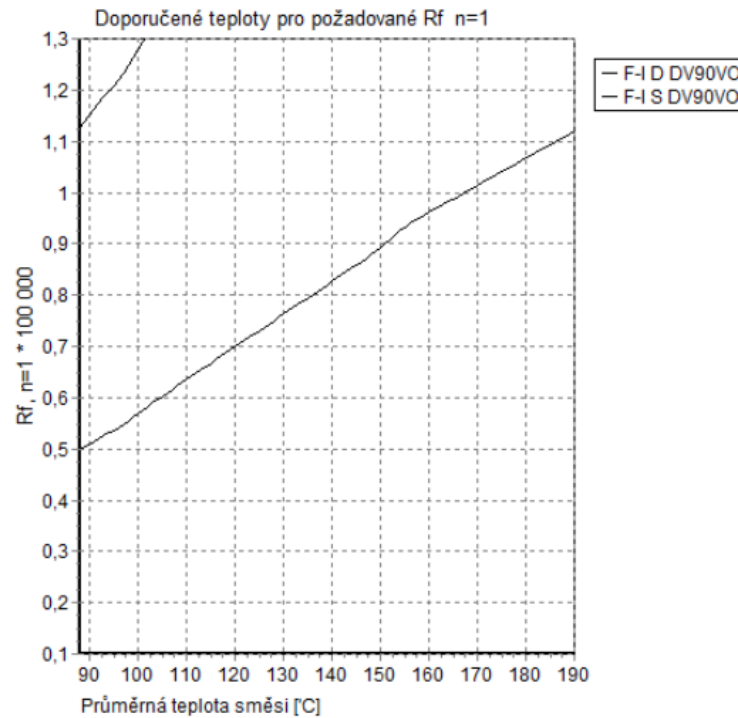
- typ asfaltové směsi ACO 11 50/70;
- tloušťka pokládané vrstvy 40 mm a šířka pokládaného pruhu 6 000 mm;
- průměrná rychlost válců na sledovaném úseku byla naměřena 3,2 km/h při konstantní rychlosti;
- více informací v části 8.2.

Vstupní data válce HAMM DV 90i VO-S potřebná k vygenerování grafu programem HAV pro stanovení hodnoty R_f [28, 1]:

- hmotnost válce 9 350 kg;
- koeficient účinnosti $c_{w,stat}$ pro přední běhoun válce bez vibrace 0,024 [N/mm²];
- koeficient účinnosti $c_{w,dyn}$ pro přední běhoun válce s vibrací 0,049 [N/mm²];
- koeficient účinnosti $c_{w,stat}$ pro zadní běhoun válce bez vibrace 0,022 [N/mm²];
- koeficient účinnosti $c_{w,dyn}$ pro zadní běhoun válce s oscilací 0,052 [N/mm²];
- více informací v části 8.1.2.



Obrázek 41: Graf stanovení hodnot R_f pro přední statický běhoun (křivka dole) a zadní oscilační běhoun (křivka nahoře) válce typu HAMM DV 90i VO-S.



Obrázek 42: Graf stanovení hodnot R_f pro přední vibrační běhoun (křivka nahoře) a zadní statický běhoun (křivka dole) válce typu HAMM DV 90i VO-S.

Tabulka 19: Vstupní data pro stanovení zhutňovacího faktoru R_f – Velká Dobrá.

	I. FÁZE HUTNĚNÍ (HAMM DV 90i VO-S)		II. FÁZE HUTNĚNÍ (HAMM DV 90i VO-S)			
	1	2	3	4	5	6
číslo pojezdu [-]						
míra zhutnění [%]	—	91,72	—	98,65	—	100,51
teplota asf. sm. [°C]	141	137	119	116	95	93
dynamické úč. [-]	NE	NE	ANO	ANO	ANO	ANO
statické účinky předního běhounu	✓	✓	✓	✓	✓	✓
vibrační účinky předního běhounu	✗	✗	✗	✗	✗	✗
statické účinky zadního běhounu	✓	✓	✗	✗	✗	✗
oscilační účinky zadního běhounu	✗	✗	✓	✓	✓	✓
Poznámka: Míra předhutnění finišerem 79,82 %.						

Celkový zhutňovací faktor běhounů spočítáme z rovnice (1.9).

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^6 R_{f,n} &= [(0,82 + 0,9) \cdot 10^{-5} + (0,80 + 0,87) \cdot 10^{-5}] \\ &+ [(0,76 + 1,44) \cdot 10^{-5} + (0,74 + 1,40) \cdot 10^{-5} + (0,58 + 1,29) \cdot 10^{-5} \\ &+ (0,56 + 1,24) \cdot 10^{-5}] = 11,4 \cdot 10^{-5} \geq 5,6 \cdot 10^{-5} \text{ podmínka splněna} \end{aligned}$$

Použitou zhutňovací sestavu lze považovat za dostatečně účinnou z praktického i teoretického hlediska, kdy zhutňovací sestava dosáhla míry zhutnění podle naměřených hodnot na stavbě (100,51 %). V tomto případě je splněna teorie v plném rozsahu, protože $R_{f,tab}$ je stanovena na požadovanou míru zhutnění 98 % (viz tab. 17). Tato míra zhutnění je dosažena po 4. pojezdu válcem (viz tab. 19), stejně tak se potvrdila teorie (podle rovnice 1.9), kdy $\sum_{n=1}^4 R_{f,n} = 7,73 \cdot 10^{-5} \geq 5,6 \cdot 10^{-5}$ a $\sum_{n=1}^3 R_{f,n} = 5,59 \cdot 10^{-5} \leq 5,6 \cdot 10^{-5}$ z toho vyplývá, že pro dosažení 98% míry zhutnění jsou potřeba 4 pojezdy, což se potvrdilo i podle monitoringu míry zhutnění na staveništi.



Poznámka: Vzhledem k míře předhutnění 79,82 % na této stavbě by měl být $R_{f,tab}$ navýšen v řádech několika setin (např. $5,62 \cdot 10^{-5}$), protože hodnoty $R_{f,tab}$ z tabulky 17 jsou uvedeny pouze pro míru předhutnění 80–95 %. $R_{f,tab}$ se zvyšuje se snižující se mírou předhutnění finišerem.

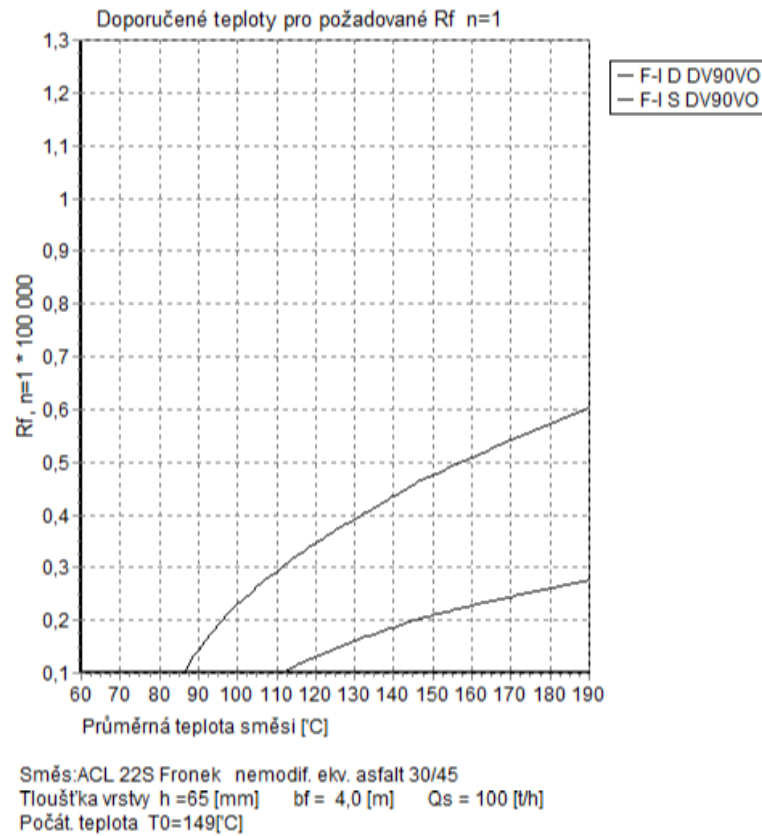
9.2.3 Ověření zhutňovací sestavy – Hadačka

Údaje o stavbě potřebné k vygenerování grafu programem HAV pro stanovení hodnoty R_f :

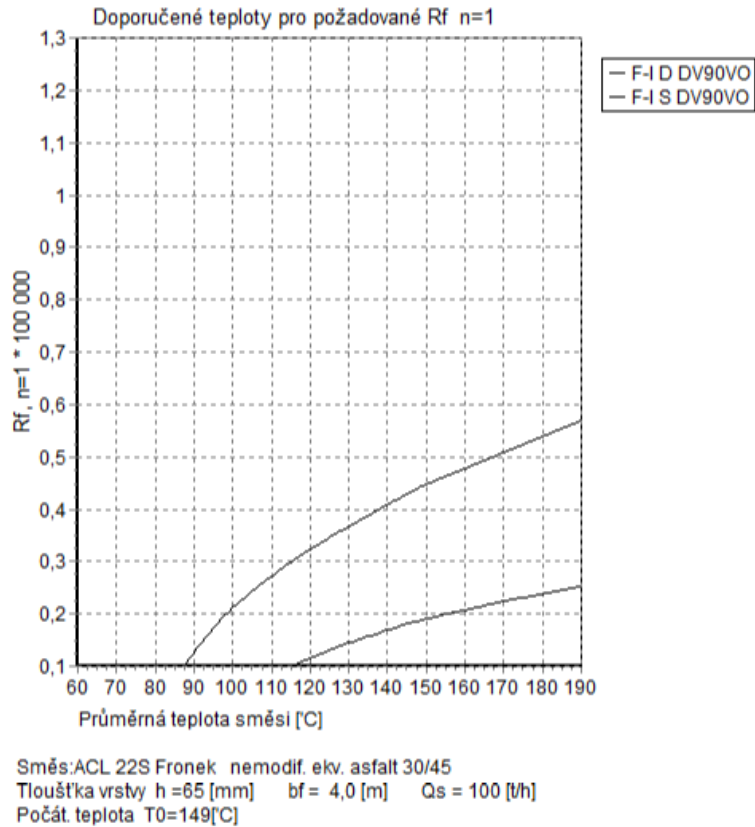
- typ asfaltové směsi ACP 22S PmB 25/55-60;
- tloušťka pokládané vrstvy 65 mm a šířka pokládaného pruhu 4 000 mm;
- průměrná rychlost válců na sledovaném úseku byla naměřena 2,8 km/h při konstantní rychlosti;
- více informací v části 8.2.

Vstupní data válce HAMM DV 90i VO-S potřebná k vygenerování grafu programem HAV pro stanovení hodnoty R_f [28, 1]:

- hmotnost válce 9 350 kg;
- koeficient účinnosti $c_{w,stat}$ pro přední běhoun válce bez vibrace 0,024 [N/mm²];
- koeficient účinnosti $c_{w,dyn}$ pro přední běhoun válce s vibrací 0,049 [N/mm²];
- koeficient účinnosti $c_{w,stat}$ pro zadní běhoun válce bez vibrace 0,022 [N/mm²];
- koeficient účinnosti $c_{w,dyn}$ pro zadní běhoun válce s oscilací 0,052 [N/mm²];
- více informací v části 8.1.2.



Obrázek 43: Graf stanovení hodnot R_f pro přední statický běhoun (křivka dole) a zadní oscilační běhoun (křivka nahoře) válce typu HAMM DV 90i VO-S.



Obrázek 44: Graf stanovení hodnot R_f pro přední vibrační běhoun (křivka nahoře) a zadní statický běhoun (křivka dole) válce typu HAMM DV 90i VO-S.



Tabulka 20: Vstupní data pro stanovení zhutňovacího faktoru R_f – Hadačka.

	I. FÁZE HUTNĚNÍ (HAMM DV 90i VO-S)			II. FÁZE HUTNĚNÍ (HAMM DV 90i VO-S)						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
číslo pojezdu [-]										
míra zhutnění [%]	83,48	87,24	87,82	93,74	94,16	96,82	96,95	97,07	98,7	99,49
teplota asf. sm. [°C]	148	147	144	143	132	126	124	114	109	102
dynamické úč. [-]	NE	NE	NE	ANO	ANO	NE	ANO	ANO	ANO	NE
statické účinky předního běhounu	✓	✓	✓	×	×	✓	×	×	×	✓
vibrační účinky předního běhounu	×	×	×	✓	✓	×	✓	✓	✓	×
statické účinky zadního běhounu	✓	✓	✓	×	×	✓	×	×	×	✓
oscilační účinky zadního běhounu	×	×	×	✓	✓	×	✓	✓	✓	×
Poznámka: Míra předhutnění finišerem 77,61 %.										

Celkový zhutňovací faktor běhounů spočítáme z rovnice (1.9).

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^{10} R_{f,n} &= [(0,20 + 0,19) \cdot 10^{-5} + (0,20 + 0,18) \cdot 10^{-5} + (0,20 + 0,17) \cdot 10^{-5}] \\ &+ [(0,43 + 0,44) \cdot 10^{-5} + (0,40 + 0,38) \cdot 10^{-5} + (0,15 + 0,13) \cdot 10^{-5} \\ &+ (0,37 + 0,34) \cdot 10^{-5} + (0,32 + 0,30) \cdot 10^{-5} + (0,28 + 0,27) \cdot 10^{-5} \\ &+ (0,00 + 0,00) \cdot 10^{-5}] = 4,95 \cdot 10^{-5} \leq 5,8 \cdot 10^{-5} \text{ podmínka nesplněna} \end{aligned}$$

Použitou zhutňovací sestavu lze považovat za dostatečně účinnou pouze z praktického hlediska, kdy zhutňovací sestava dosáhla míry zhutnění podle naměřených hodnot na stavbě (99,49 %). Podle teoretického výpočtu by tato zhutňovací sestava neměla být v praxi použita, protože nedosahuje požadované míry zhutnění (podle rovnice 1.9). Teorie nemusela být potvrzena z důvodu nspecifikovaných vlastností a hmotností v přidávaném R-materiálu, který jak již bylo zmíněno v námi použitém asfaltovém betonu je obsažen. Další z příčin nenaplnění teorie mohla být nepřesnost hodnot $R_{f,tab}$ z tabulky 17 ve které, jak sám autor tabulky uvádí, je potřeba pro možnost širokého použití počítat s určitou rezervou.

Poznámka: Vzhledem k míře předhutnění 77,61 % na této stavbě by měl být



$R_{f,tab}$ navýšen v řádech několika desetín (např. $5,95 \cdot 10^{-5}$), protože hodnoty $R_{f,tab}$ z tabulky 17 jsou uvedeny pouze pro míru předhutnění 80–95 %. $R_{f,tab}$ se zvyšuje se snižující se mírou předhutnění finišerem.

Shrnutí k části 9.2

Ověření teoretického předpokladu účinnosti zhutňovací sestavy se potvrdilo v jednom ze tří případů, a to na stavbě Velká Dobrá, kde podmínky teorie byly splněny v dalších dvou situacích se hypotéza teorie neprokázala. Nenaplnění teoretického předpokladu mohlo být zapříčiněno z těchto důvodů – nespecifikované vlastnosti a množství R-materiálu v asfaltovém betonu, odchýlením tloušťky vrstvy v místě měření, nerovnoměrné rychlosti válce, odchylka měření přístroje Troxler, nepřesnost $R_{f,tab}$. Všechny tyto parametry ovlivňují míru zhutnění nebo výpočet účinnosti zhutňovací sestavy. Závěrem můžeme tedy říci, že teoretické předpoklady účinnosti zhutňovací sestavy jsou spíše orientační, ale ne směrodatné, protože nelze zajistit optimální a stabilní podmínky pokládky asfaltové úpravy.



10. Závěr

Cílem praktické části této práce bylo ověření teoretických předpokladů ochlazování asfaltové úpravy a zároveň ověření účinnosti zhutňovacích sestav. Údaje potřebné k ověření teorie byly zaznamenány na následujících stavbách – Dolany, Velká Dobrá a Hadačka. Výzkum byl proveden na třech různých asfaltových směsích ACO 16+ 50/70, ACO 11 50/70 a ACL 22S PmB 25/55-60. Na staveništi byly zaznamenávány všechny faktory ovlivňující průběh ochlazování a míru zhutnění (typ asfaltové směsi, teplota směsi, teplota podkladu, tloušťka pokládané vrstvy, šířka pokládaného pruhu, hutnicí sestava, rychlost hutnicí sestavy, rychlost finišeru, intenzita dynamických účinků běhounů, rychlost větru a teplota vzduchu v průběhu pokládky). V souladu s těmito parametry pro ověření průběhu ochlazování asfaltové úpravy jsme vytvořili grafy a tabulky, které byly následně konfrontovány s teoretickými předpoklady vygenerované programem HAV z čehož vyplynulo, že teoretická hypotéza je spíše orientační ale ne směrodatná, protože nelze zajistit optimální a stabilní podmínky pokládky. Podobně tomu tak bylo i v případě ověření účinnosti zhutňovacích sestav, kdy námi použité sestavy naplnily teoretické předpoklady pouze v jedné situaci ze tří. V ostatních případech jsme se k teoretické hypotéze alespoň přiblížili. Z toho analogicky vyplývá, že je nelze považovat za rozhodující, ale pouze za orientační, protože nelze zajistit optimální a stabilní podmínky pokládky.



- Oscillation Compaction. In: *Lectura press* [online]. c1984–2019 [cit. 2019-05-3]. Dostupné z:
<https://lectura.press/en/article/three-decades-of-experience-makes-hamm-the-worldleader-in-oscillation-compaction/36660>.
- [8] Kloubový tandemový válec Ammann ARX 110 TIER 3. In: *Langenthal, Switzerland* [online]. 2019 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z:
<https://www.ammann.com/cz-cz/machines/soil-and-asphalt-combactors/tandem-rollers/arx-110-tier-3>.
- [9] Sonda Troxler model 2701-B. In: Durham, U.S.A. [interní materiál]. C2004, 2005 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z:
<https://fccid.io/S6QTROXLER2701-B/User-Manual/User-Manual-564553.html>.
- [10] Vibrační vedený válec Ammann ARW 65. In: *Langenthal, Switzerland* [online]. 2019 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z:
<https://www.ammann.com/cz-cz/machines/light-equipment/walk-behind-rollers/arw-65-with-yanmar-diesel-engine>.
- [11] Zeminový hutní tahačový válec Ammann ASC 110 TIER 4F. In: *Langenthal, Switzerland* [online]. 2019 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z:
<https://www.ammann.com/cz-cz/machines/soil-and-asphalt-combactors/single-drum/asc-110-tier-4f>.
- [12] Kombinovaný hutní válec Ammann ARX 16 K TIER 4I. In: *Langenthal, Switzerland* [online]. 2019 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z:
<https://www.ammann.com/cz-cz/machines/soil-and-asphalt-combactors/tandem-rollers/arx-16-k-tier-4i>.
- [13] Vibrační deska Ammann APR 2220 DIESEL. In: *Langenthal, Switzerland* [online]. 2019 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z:
<https://www.ammann.com/cz-cz/machines/light-equipment/vibratory-plates/apr-2220-diesel>.



- [14] Pěch Ammann ATR 30. In: *Langenthal, Switzerland* [online]. 2019 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://www.ammann.com/cz-cz/machines/light-equipment/rammers/atr-30>.
- [15] BLUMER, Mathias. *Einbauen + Verdichten* [online]. Rothenburg: SMI, c2005 [cit. 2019-05-7]. Dostupné z: http://www.beragrubigen.ch/2011/downloads/SMI_Deutsch_2005.pdf.
- [16] ČSN 73 6121: *Stavba vozovek – Hutněné asfaltové vrstvy – Provádění a kontrola shody*. ČAS, 2019.
- [17] TP 151: *Asfaltové směsi s vysokým modulem tuhosti*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2010.
- [18] ČSN EN 13108-2: *Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 2: Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy*. Praha: ČNI, 2008.
- [19] ČSN EN 13108-5: *Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 5: Asfaltový koberec mastixový*. Praha: ČNI, 2008.
- [20] MILSTER, Roland, Walter EMPERHOFF, Klaus GRAF, Carsten LIPS a Richard MANSFELD. Ratschläge für den Einbau von Walzasphalt. In: *Asphalt* [online]. Bonn: Deutscher Asphaltverband, c2016 [cit. 2019-05-7]. Dostupné z: https://www.asphalt.de/fileadmin/user_upload/downloads/dav/ratschlaege-2016.pdf.
- [21] HANZÍK, Václav, Petr MONDSCHHEIN. *Pokládka hutněných asfaltových směsí* [přednáška]. Praha, 12. ledna 2016. Dostupné z: <http://www.sdruzeni-silnice.cz/Download.aspx?param=jx3godhnp7M1LWTdfUhReNIF68PD1cweqhxRjKVfZt1OvjAD1P9WjqHo6lbkUK5mzyeTK5RyDVRPSKBjwpxi6w>



QVIWFfs90cAWArclHNIB4pOZ9%2fjCxZQa8iD8o0GM1tr6NaDHVDez3
%2fCeHprSu0jEz2S8YfJ1mMI86DPqKfvpfipByHQR2viQH8uw40y0WNo
Vwq7dvq5Fonush6xaK8ujLaBHa6l9Ql6xt8iac89fm68p4cg6F4l55iJTof81
SV5jYcvd2bsHxYi2w9boRJwRK8w820fMzwqvSUO60MThZRVGqxSDBi
egwfqL9QNo6kqKbxLJebqM5tw0ZL9tDdJ5FsDq5fL3a8U8%2bogNcmoq
qgcVa55VuKVKE%2bnxKHGblkQ4rfhHHC8IPmu3hTD72U5WbBiatnUq
U%2b1d2aBF10JNwEHoSHXKgD6hFRWWC0XC3VzWMARtG4JJKQUT
g6Ob5XQv6POMlD4Yyra33WU5zE9d8%2fIEtS0XKz1mF2m%2baEbQIU
NL%2bDKi1VfSc%2fi5AdSv8apQ%3d%3d&tname=SiteContent.aspx.

- [22] MONDSCHNEIN, Petr. *Asfaltové směsi 2/2* [přednáška]. Praha: ČVUT v Praze, 11. dubna 2018.
- [23] TKP: *Hutněné asfaltové vrstvy – kapitola 7*. Praha: MD, duben 2008.
- [24] ČSN 73 6160: *Zkoušení asfaltových směsí*. Praha: ČNI, 2008.
- [25] MONDSCHNEIN, Petr. *Asfaltové směsi 1/2* [přednáška]. Praha: ČVUT v Praze, 4. dubna 2018.
- [26] ŠPILÁK, Lubomír. *Stanovenie miery zhutnenia asfaltových vrstiev de štruktívnymi a nedeštruktívnymi metódami a ich porovnávaním*. Ostrava, 2014. Diplomová práce. VŠB v Ostravě, Fakulta stavební, katedra dopravního stavitelství.
- [27] Sonda Troxler model 4640-B. In: Durham, U.S.A. [interní materiál]. c1989–2009 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.troxlerlabs.com/downloads/pdfs/4640/4640bmanual.pdf>.
- [28] Tandemový hutníčí válec HAMM HD+ 120i VV. In: *Tirschenreuth, Deutschland* [online]. 2019 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.hamm.eu/cs/products~1/tandem-rollers/series-hd/hd-120i-vv.176060.php>.



- [29] Tandemový hutní válec HAMM DV 90i VO-S. In: *Tirschenreuth, Deutschland* [online]. 2019 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z:
<https://www.hamm.eu/cs/products~1/tandem-rollers/series-dv/dv-90i-vo-s.185425.php>.



Seznam obrázků

Obrázek 1: Pneumatikový válec Ammann AP 240 Tier 3.....	31
Obrázek 2: Zařízení proti nalepování asfaltové směsi na pneumatiky.	31
Obrázek 3: Nomogram pro určení max. přípustné pracovní rychlosti při hutnění vibračním válcem (h = tloušťka vrstvy po zhutnění).	33
Obrázek 4: Kloubový tandemový válec Ammann ARX 110 TIER 3.	34
Obrázek 5: Vibrační vedený válec Ammann ARW 65 s dieselovým motorem YANMAR.....	35
Obrázek 6: Zeminový hutnící tahačový válec Ammann ASC 110 TIER 4F.....	35
Obrázek 7: Princip oscilace.....	38
Obrázek 8: Schéma válce skupiny a) válec s jedním oscilačním běhounem (vpravo) a druhým vibračním běhounem (vlevo).	39
Obrázek 9: Využití usměrněné vibrace v rámci systému Asphalt Manager, válce skupiny b) válce se speciálně konstruovaným běhounem. ...	39
Obrázek 10: Kombinovaný válec model ARX 16 K TIER 4I firmy Ammann.	40
Obrázek 11: Vibrační deska APR 2220 DIESEL firmy Ammann	41
Obrázek 12: Pěch Ammann ATR 30.	41
Obrázek 13: Průběh ochlazování asfaltové vrstvy v závislosti na teplotě vzduchu a podkladu.	49
Obrázek 14: Vrtná souprava pro odběr vzorku.....	53
Obrázek 15: Sonda Troxler Model 4640-B.....	55
Obrázek 16: Sonda Troxler Model 4640-B.....	56
Obrázek 17: Sonda Troxler Model 2701-B, PaveTrackerTM Plus a přepravní kufr.....	57
Obrázek 18: Anemometr – zařízení pro měření rychlosti vzduchu a teploty. ...	60
Obrázek 19: Speciální teploměr na měření teploty asfaltové úpravy.	60
Obrázek 20: Rekonstruovaný úsek – Dolany, vyznačený červenou čarou na komunikaci 180.	61
Obrázek 21: Graf závislosti míry zhutnění na počtu pojezdů.	64



Obrázek 22: Graf ochlazování asfaltové směsi v závislosti na čase.....	65
Obrázek 23: Tandemový Válec HAMM DV 90i VO-S.....	66
Obrázek 24: Tandemový válec HAMM HD+ 120i VV.....	67
Obrázek 25: Rekonstruovaný úsek – Velká Dobrá, vyznačený červenou čarou v ulici Smrková a Buková.	68
Obrázek 26: Graf závislosti míry zhutnění na počtu pojezdů.....	70
Obrázek 27: Graf ochlazování asfaltové směsi v závislosti na čase.....	71
Obrázek 28: Rekonstruovaný úsek – Hadačka, vyznačený červenou čarou. ...	72
Obrázek 29: Graf závislosti míry zhutnění na počtu pojezdů.....	74
Obrázek 30: Graf ochlazování asfaltové směsi v závislosti na čase.....	75
Obrázek 31: Srovnání teoretického předpokladu ochlazování asfaltové směsi s naměřenými hodnotami v terénu.	78
Obrázek 32: Průběh ochlazování asfaltové vrstvy stanovené pomocí počítačového programu HAV.	79
Obrázek 33: Srovnání teoretického předpokladu ochlazování asfaltové směsi s naměřenými hodnotami v terénu.	80
Obrázek 34: Průběh ochlazování asfaltové vrstvy stanovené pomocí počítačového programu HAV.	81
Obrázek 35: Srovnání teoretického výpočtu ochlazování asfaltové směsi s naměřenými hodnotami v terénu.	82
Obrázek 36: Průběh ochlazování asfaltové vrstvy stanovené pomocí počítačového programu HAV.	83
Obrázek 37: Graf stanovení hodnot R_f pro přední statický běhoun (křivka dole) a zadní oscilační běhoun (křivka nahoře) válce typu HAMM DV 90i VO-S.....	86
Obrázek 38: Graf stanovení hodnot R_f pro přední vibrační běhoun (křivka nahoře) a zadní statický běhoun (křivka dole) válce typu HAMM DV 90i VO-S.....	86
Obrázek 39: Graf stanovení hodnot R_f pro přední statický běhoun (křivka dole) a zadní vibrační běhoun (křivka nahoře) válce typu HAMM HD+ 120i.....	87
Obrázek 40: Graf stanovení hodnot R_f pro zadní statický běhoun (křivka dole) a přední vibrační běhoun (křivka nahoře) válce typu HAMM HD+ 120i.....	88



- Obrázek 41: Graf stanovení hodnot R_f pro přední statický běhoun (křivka dole) a zadní oscilační běhoun (křivka nahoře) válce typu HAMM DV 90i VO-S. 91
- Obrázek 42: Graf stanovení hodnot R_f pro přední vibrační běhoun (křivka nahoře) a zadní statický běhoun (křivka dole) válce typu HAMM DV 90i VO-S 91
- Obrázek 43: Graf stanovení hodnot R_f pro přední statický běhoun (křivka dole) a zadní oscilační běhoun (křivka nahoře) válce typu HAMM DV 90i VO-S. 94
- Obrázek 44: Graf stanovení hodnot R_f pro přední vibrační běhoun (křivka nahoře) a zadní statický běhoun (křivka dole) válce typu HAMM DV 90i VO-S. 94



Seznam tabulek

Tabulka 1: Orientační rozdělení asfaltových směsí podle zhutnitelnosti.	17
Tabulka 2: Tabulka shrnující vhodnost použití válce v závislosti na hutněné směsi – podle doporučení německého DAV.	23
Tabulka 3: Technologie rozprostření asfaltové úpravy v závislosti na míře předhutnění	26
Tabulka 4: Doporučené hodnoty pro hutnění pomocí vibračních válců.....	33
Tabulka 5: Doporučené typy zhutňovacích sestav a údaje potřebné ke zhutňování.....	45
Tabulka 6: Minimální teploty asfaltové směsi bezprostředně před hutněním podle.	48
Tabulka 7: Požadované míry zhutnění.	52
Tabulka 8: Monitorované hodnoty – rekonstrukce Dolany.	63
Tabulka 9: Monitorované teploty v 3minutových intervalech.	64
Tabulka 10: Monitorované hodnoty – rekonstrukce Velká Dobrá.	70
Tabulka 11: Monitorované teploty v 3minutových intervalech.	71
Tabulka 12: Monitorované hodnoty – rekonstrukce Hadačka.	74
Tabulka 13: Monitorované teploty v 3minutových intervalech.	75
Tabulka 14 : Srovnání teoretického předpokladu ochlazování asfaltové směsi s naměřenými hodnotami v terénu.....	77
Tabulka 15: Srovnání teoretického předpokladu ochlazování asfaltové směsi s naměřenými hodnotami v terénu.....	80
Tabulka 16: Srovnání teoretického předpokladu ochlazování asfaltové směsi s naměřenými hodnotami v terénu.....	82
Tabulka 17: Požadavky na minimální výslednou (celkovou) hodnotu zhutňovacího faktoru R_f	84
Tabulka 18: Vstupní data pro stanovení zhutňovacího faktoru R_f – Dolany.	88
Tabulka 19: Vstupní data pro stanovení zhutňovacího faktoru R_f – Velká Dobrá.	92
Tabulka 20: Vstupní data pro stanovení zhutňovacího faktoru R_f – Hadačka. .	95