



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

MOŽNOSTI MÍSENÍ POJIV TYPU PMB RC S POJIVEM Z R-MATERIÁLU

POSSIBILITY OF MIXING PMB RC TYPE BINDERS WITH RECLAIMED BINDER
FROM RAP

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

Bc. Lukáš Trnka

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

doc. Ing. PETR HÝZL, Ph.D.

SUPERVISOR

BRNO 2021



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Lukáš Trnka
Název	Možnosti mísení pojiv typu PMB RC s pojivem z R-materiálu
Vedoucí práce	doc. Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2020
Datum odevzdání	15. 1. 2021

V Brně dne 31. 3. 2020

doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Předané vzorky materiálů

Zkušební normy pro asfaltová pojiva

Literatura z internetu

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem diplomové práce je popsat vliv přidání různého množství pojiva znovuzískaného z R-materiálu na změnu vlastností pojiva vhodného pro směsi s vyšším dávkováním R-materiálu (PMB RC). Bude využit R-materiál obsahující nemodifikované asfaltové pojivo i R-materiál získaný z asfaltové směsi, u které lze předpokládat, že obsahuje PMB. Pro hodnocení vlastností pojiv budou vybrány vhodné laboratorní zkoušky.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá možností mísení pojiv typu PMB RC s pojivem z R-materiálu. V teoretické části je uvedena výroba asfaltového pojiva, jeho modifikace a druhy asfaltových pojiv. Je zde vysvětlen princip funkce rejuvenátorů a druhy rejuvenátorů. Dále je zde popsán postup provádění zkoušek na asfaltových pojivech: znovuzískání asfaltového pojiva, penetrace jehlou, bod měknutí (metoda kroužek a kulička), vratná duktilita, bod lámavosti (dle Fraasse) a DSR. V praktické části jsou vyhodnoceny jednotlivé zkoušky a porovnaná jednotlivá asfaltová pojiva

KLÍČOVÁ SLOVA

Asfaltové pojivo, modifikační přísady, R-materiál, rejuvenátor, penetrace jehlou, bod měknutí, vratná duktilita, bod lámavosti, DSR.

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the possibility of mixing binders of the PMB RC type with a binder made of reclaimed asphalt. lists the types of asphalt binders, its production and modification are in the teoretical part. There is explained the principle of rejuvenators function, types of rejuvenators. The procedures for performing tests on asphalt binders: recovery of asphalt binder, needle penetration, softening point (ring and ball method), reversible ductility, breaking point (according to Fraass) and DSR. Individual tests are evaluated and asphalt mixtures are compared in the practical part of asphalt binder.

The diploma thesis deals with the possibility of mixing binders of the PMB RC type with a binder made of reclaimed asphalt. lists the types of asphalt binders, its production and modification are in the teoretical part. There is explained the principle of rejuvenators function, types of rejuvenators. The procedures for performing tests on asphalt binders: recovery of asphalt binder, needle penetration, softening point (ring and ball method), reversible ductility, breaking point (according to Fraass) and DSR. Individual tests are evaluated and asphalt mixtures are compared in the practical part of asphalt binder.

KEYWORDS

Asphalt binder, modifiers, reclaimed asphalt, rejuvenator, needle penetration, softening point, elastic recovery, breaking point, DSR.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP PODLE ČSN ISO 690

Bc. Lukáš Trnka *Možnosti mísení pojiv typu PMB RC s pojivem z R-materiálu*. Brno, 2020. 70 s., IX s. příl.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Hýzl, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Možnosti mísení pojiv typu PMB RC s pojivem z R-materiálu* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 15. 1. 2021

Bc. Lukáš Trnka

autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Možnosti mísení pojiv typu PMB RC s pojivem z R-materiálu* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 15. 1. 2021

Bc. Lukáš Trnka

autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu své diplomové práce doc. Ing. Petrovi Hýzlovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, kterými mi pomohl vypracovat tuto diplomovou práci. Dále bych poděkoval všem pracovníkům silniční laboratoře ústavu pozemních komunikací VUT v Brně, především Ing. Ondřejovi Daškovi, Ph.D. a panu Pavlovi Strakovi. Děkuji rodině za bezmeznou podporu a pomoc při studiu.

Obsah

1	ÚVOD.....	- 9 -
2	REŠERŠE LITERATURY.....	- 10 -
2.1	ASFALTOVÉ POJIVO	- 10 -
2.1.1	VLASTNOSTI POJIVA	- 10 -
2.1.2	ZÁKLADNÍ DRUHY ASFALTOVÉHO POJIVA	- 11 -
2.1.3	VÝROBA ASFALTOVÉHO POJIVA	- 13 -
2.1.4	MODIFIKOVANÉ ASFALTOVÉ POJIVO	- 14 -
2.1.5	MODIFIKAČNÍ PŘÍSAKY.....	- 14 -
2.1.6	ZNAČENÍ ASFALTOVÝCH POJIV	- 16 -
2.1.7	UŽITÍ ASFALTOVÝCH POJIV	- 17 -
2.2	R-MATERÁL	- 19 -
2.2.1	ZÍSKÁNÍ R-MATERÁLU.....	- 19 -
2.2.1	VÝROBA SMĚSI S R-MATERIÁLEM NA OBALOVNĚ.....	- 20 -
2.2.2	OŽIVOVÁNÍ ASFALTOVÝCH POJIV	- 24 -
2.2.3	POUŽITÍ R-MATERÁLU	- 26 -
3	CÍL PRÁCE.....	- 27 -
4	POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ METODY	- 28 -
4.1	ZNOVUZÍSKÁNÍ ASFALTOVÉHO POJIVA	- 28 -
4.2	SMÍŠENÍ POJIV	- 29 -
4.3	PŘÍPRAVA VZORKŮ	- 30 -
4.4	PENETRACE JEHLOU	- 30 -
4.5	BOD MĚKNUTÍ.....	- 32 -
4.6	VRATNÁ DUKTILITA	- 33 -
4.7	BOD LÁMAVOSTI	- 34 -
4.8	DSR.....	- 36 -
5	POUŽITÉ MATERIÁLY	- 39 -
6	VÝSLEDKY ZKOUŠEK.....	- 40 -
6.1	PENETRACE JEHLOU	- 40 -
6.2	BOD MĚKNUTÍ.....	- 42 -
6.3	VRATNÁ DUKTILITA	- 43 -
6.4	BOD LÁMAVOSTI	- 44 -
6.5	DSR.....	- 46 -
6.6	TEPLOTNÍ CITLIVOST	- 58 -
6.7	KORELACE VÝSLEDKŮ	- 59 -
7	ZÁVĚR	- 60 -

1 ÚVOD

Jak celosvětově, tak i v České Republice je nejvíce zastoupená doprava silniční. V Evropě je více než 5,5 milionů kilometrů komunikací, z toho je přibližně 90 % asfaltových vozovek. Tyto komunikace jsou každodenně vystavovány stále většímu a většímu zatížení způsobeným zvyšujícím se počtem dopravních prostředků. Snahou tedy je navrhnout směsi, které budou dobře odolávat vzrůstajícímu zatížení, klimatickým podmínkám, směsi s dostatečnou životností a zůstanou i ekonomicky výhodné. Asfaltová směs se skládá ze dvou hlavních složek. Je tím kamenivo a asfaltové pojivo. Asfalt jakožto organický materiál postupem času ztrácí své původní vlastnosti, stává se tvrdší a méně odolný deformacím. Pro prodloužení životnosti asfaltové směsi se již běžně používají nejrůznější modifikační přísady do asfaltových pojiv, které nám k tomu dopomáhají. Po skončení životnosti lze ovšem asfaltová směs znovu použít. Lze ji použít jako výplňový materiál, což je značně neekonomické, nebo jí lze použít jako složku pro výrobu směsi nové. Obecně se tento materiál označuje jako R-materiál. Bohužel v letech 2015-2019 byl R-materiál použit pro stavbu nových komunikací na našem území pouze ze 3 % celkového objemu nových asfaltových směsí. Používáním R-materiálu nezatěžujeme přírodu novým zpracováním ropy a s její stále vzrůstající cenou za barel, se jeví využívání R-materiálu za logický a ekonomicky výhodný krok, jak ušetřit finanční prostředky, ovšem ne na úkor kvality. [11] [13] [32]

2 REŠERŠE LITERATURY

2.1 ASFALTOVÉ POJIVO

Asfaltové pojivo společně s kamenivem tvoří dvě nejzákladnější složky asfaltové směsi. Cílem je jednotlivá zrna kameniva obalit asfaltovým pojivem, k tomu dopomáhá vliv adhezních sil a pomocí kohezních sil je zajištěno požadované stmelení směsi. [1]

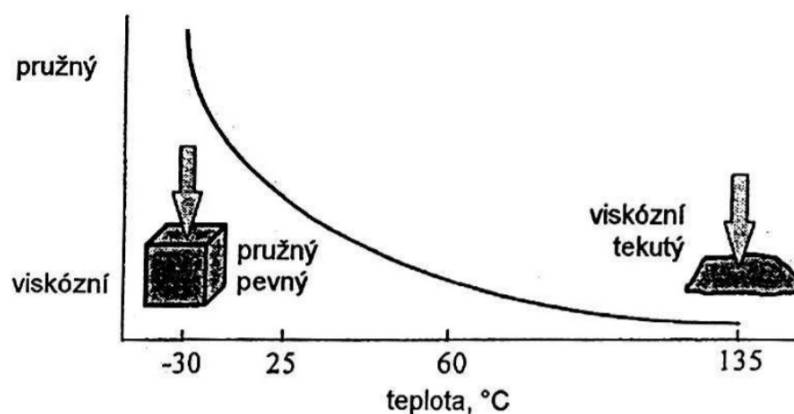
Asfaltové pojivo je definováno jako směs uhlovodíků, které se změnou teploty mění své vlastnosti. Tato směs je tvořena až tisícem různých sloučenin. Ty můžeme rozdělit do dvou skupin, na asfaltény a maltény. Asfaltény tvoří pevné částice asfaltu, tyto částice zahušťují asfalt a považují se za nositele tvrdosti asfaltu. Maltény tvoří tekutou složku asfaltu a dají se považovat za nositele plastických a lepivých vlastností. [1] [2] [3]

2.1.1 VLASTNOSTI POJIVA

Vlastnosti asfaltových pojiv se rozdělují do dvou skupin, na vlastnosti fyzikální a na vlastnosti chemické. Mezi fyzikální vlastnosti zahrnujeme teplotní citlivost a viskozitu. Jako chemickou vlastnost považujeme oxidaci asfaltového pojiva. [2] [4]

2.1.1.1 TEPLITINÍ CITLIVOST

Vlastnosti asfaltového pojiva jsou závislé na teplotě. Za nejdůležitější vlastnost se tudíž považuje teplotní citlivost, proto se standardně u všech zkoušek na asfaltovém pojivu udává i teplota, při které byla zkouška prováděna. Při běžných teplotách se asfaltové pojivo chová jako visko – elastický materiál. Při nízké teplotě se chová jako pružná látka a při vysokých teplotách se chová jako kapalina charakterizována svou viskozitou. Změna vlastností asfaltového pojiva v závislosti na teplotě je patrná z grafu závislosti vlastnosti na teplotě (obr. 1). [1] [2]



Obr. 1 – Změna vlastností asfaltového pojiva v závislosti na teplotě [2]

2.1.1.2 VSKOZITA

Viskozita vyjadřuje silový odpor proti deformacím. Velikost vzniklé deformace závisí na délce zatížení a na viskozitě daného asfaltového pojiva. Velmi důležitá závislost pro volbu asfaltového pojiva do asfaltové směsi je chování asfaltových směsí v závislosti na rychlosti zatěžování. Zde se nejvíce projevuje viskózní složka asfaltového pojiva. Při nízkých rychlostech vznikají výrazně větší deformace než při vyšších rychlostech. [2]

2.1.1.3 OXIDACE ASFALTU

Asfalt je organickou látkou, tudíž dochází k reakci s kyslíkem z okolního prostředí. Vlivem reakce s kyslíkem dochází k oxidativnímu tvrdnutí a stárnutí asfaltu, takže postupem času vzniká tvrdší a křehčí struktura. K rychlejší oxidaci dochází při vyšších teplotách. [2]

2.1.2 ZÁKLADNÍ DRUHY ASFALTOVÉHO POJIVA

Základní druhy asfaltového pojiva lze rozdělit podle původu na přírodní asfalty a ropné asfalty.

2.1.2.1 PŘÍRODNÍ ASFALT

Přírodní asfalt se vyskytuje málo, můžeme ho nalézt na ostrově Trinidad, viz obr. č. 2, ve Venezuele, Kanadě, Mrtvém moři a podobně. V nepatrném množství se nachází i na našem území. V přírodě se vyskytuje v podobě asfaltitu nebo jako asfaltová hornina. Asfaltit je asfalt s vysokou tvrdostí a nízkým obsahem minerálních látek a asfaltová hornina obsahuje vysoké množství minerálních látek a nízký obsah vlastního asfaltu. Přírodní asfalt byl využíván již ve starověku pro své dobré hydroizolační vlastnosti a postupně našel své uplatnění i v budování komunikací. Přírodní asfalt ve srovnání s ropným asfaltem je příliš tvrdý a tedy nevhodný jako pojivo do asfaltové směsi, proto se k němu většinou přimíchává měkčí ropný asfalt. [2] [3] [4] [5]



Obr. 2 – Asfaltové jezero Pitch Lake na ostrově Trinidad [6]

2.1.2.2 ROPNÉ

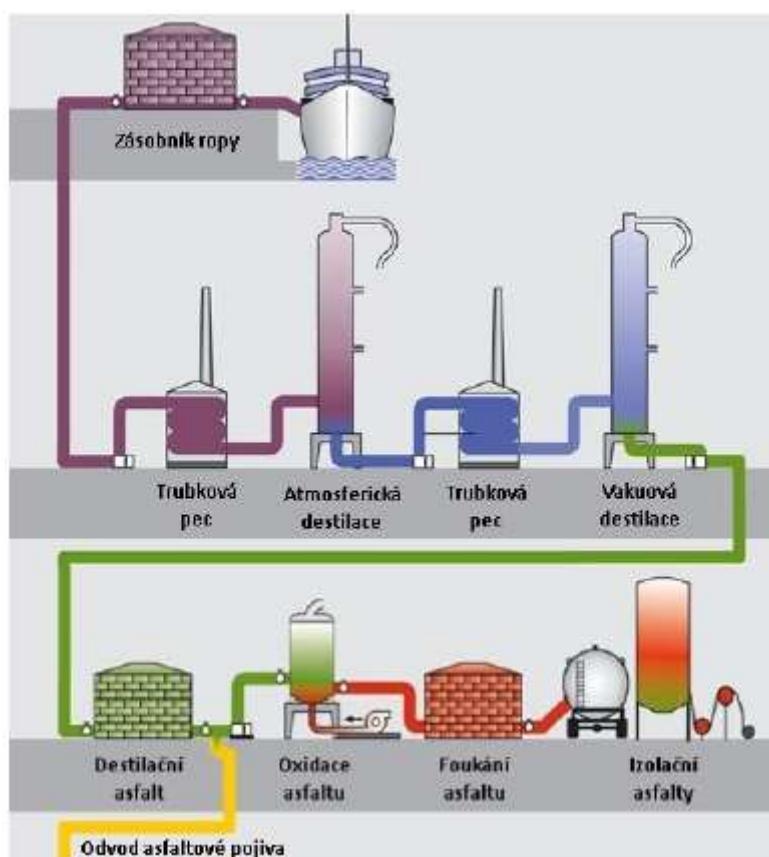
Ropné asfalty vznikají destilací surové ropy v rafineriích. Podle složení rozlišujeme tři základní druhy ropy na asfaltické ropy, poloasfaltické ropy a neasfaltické ropy. Na obr. č. 3 je znázorněna rafinérie v Kralupech nad Vltavou. Výsledné vlastnosti asfaltového pojiva jsou dány vstupním materiálem a zvolenou technologií zpracování. Podle skupinového rozboru, který z chemického pohledu dělí asfalt na jednotlivé skupinové složky, rozlišujeme karboidy, karbény, asfaltény a maltény. [2] [7]



Obr. 3 – Rafinérie v Kralupech nad Vltavou [12]

2.1.3 VÝROBA ASFALTOVÉHO POJIVA

Aby se asfaltové pojivo získalo z ropy, je potřeba ropu správně a kvalitně zpracovat v rafinerii. Zjednodušené schéma rafinerie je znázorněno na obr. č. 4. Ropa uložená v zásobníku se přečerpá do odsolovací komory, zde dochází k odstranění převážné části solí. Odsolená ropa putuje do atmosférické destilační kolony, kde se oddělují jednotlivé frakce podle jejich bodu varu. Postupně se oddělí plyny, benzinová frakce, petrolejová frakce, naftová frakce. Odstraněním těchto frakcí získáme mazut. Mazut putuje do vakuové destilační kolony. Pomocí snížení tlaku je možné ještě z mazutu oddělit další frakce, aniž bychom byli nuceni přistupovat k termickému rozkladu. Z celkového objemu mazutu během vakuové destilace vzniká 45 % vakuového destilačního zbytku. Ten lze považovat za surový silniční asfalt. Pokud takto získaný silniční asfalt nesplňuje požadované vlastnosti, přechází se k dalšímu zpracování a to pomocí kontinuální oxidace, kde se během tohoto procesu mění struktura jednotlivých složek uhlovodíku, čímž se ovlivňují požadované vlastnosti asfaltu. Takto upravený asfalt se nazývá polofoukaný. Asfalt, který je upraven pomocí přidané přísady za účelem zlepšení jeho vlastností, se nazývá modifikovaný. [2] [7] [8]



Obr. 4 – Zjednodušené schéma rafinerie [8]

2.1.4 MODIFIKOVANÉ ASFALTOVÉ POJIVO

Pokud z různých důvodů není možné použít běžné silniční asfalty (např. vysoké dopravní zatížení, nevhodné klimatické podmínky, zvyšování životnosti za účelem snížení nákladů na nutnou údržbu, atd.), volí se modifikované asfaltové pojivo. Za modifikované asfaltové pojivo považujeme asfaltové pojivo, do kterého bylo záměrně přidána přísada, která ovlivňuje jeho chemické nebo fyzikálně mechanické vlastnosti. Modifikační přísady se používají ke zlepšení přilnavosti asfaltu ke kamenivu, zlepšení teplotní citlivosti, tím se sníží teplota bodu lámavosti a zvýší teplota bodu měknutí, dále pak zlepšení odolnosti proti trvalým deformacím a snížení stárnutí asfaltu. Modifikovaná asfaltová pojiva se v hojném počtu začala používat v 70. letech při první ropné krizi. Byla snaha prodloužit životnost asfaltu a tím snížit náklady při opravách. Při použití modifikovaného asfaltu je potřeba striktně dodržet technologické předpisy, protože jsou většinou výrazně viskóznější než běžné silniční asfalty. [2] [9]

2.1.5 MODIFIKAČNÍ PŘÍSADY

Mezi nejběžněji používané modifikace se řadí modifikace polymerem. Asfalt modifikovaný polymery se značí PmB – Polymer Modified Bitumen. Polymery, které se za vysokých teplot přimíchávají do asfaltů, rozlišujeme na termosetické polymery, které se pro modifikaci nepoužívají, a na termoplastické polymery. Termoplastické polymery dělíme na elastomery a plastomery. [2]

Pojivo, do kterého je přidán elastomer, se chová pružněji a zvyšuje teplotu bodu měknutí a odolává poruchám i za nižších teplot. Mají větší odolnost proti tvoření trvalých deformací. Nevýhodou je možnost degradace vypadáváním polymeru z modifikovaného asfaltu, horší oxidační stabilita a nutnost promíchávat tato pojiva během skladování. Nejběžněji používaný elastomer k modifikaci pojiva je termoplastický kaučuk označován SBS – Styren Butadien Styren (obr. č. 5), který se používá až v 15 % objemu pro dosažení požadovaného modifikačního efektu. Další, dnes už ne tak běžnou modifikační přísadou je, SBR - Styren Butadien. Obranou proti degradaci tohoto pojiva je přidání síry, která vytváří tzv. sirný můstek. Při použití síry vzniká sirovodík, který je nutné odčerpávat. [9]



Obr. 5 – SBS [13]

Pojivo, do kterého je přidán plastomer, je hustší a zlepšuje teplotu bodu měknutí na úkor zvýšení bodu lámavosti. Mezi plastomery řadíme APP – Ataktický Polypropylen, PE – Polypropylen, EVA - Etylen Vinyl Acetát. [9]

Kombinací elastomeru a plastomeru vzniká modifikační přísada s názvem RET-Reaktivní Elastomerní Terpolymer, který se řadí mezi jedny z nejrozšířenějších modifikačních přísad. Výhodou této modifikační přísady je schopnost provázet jednotlivé části pojiva, zabraňuje oddělování polymeru a vzniká homogenní pojivo. [9]

Další běžně používanou modifikační přísadou je pryžový granulát (obr. č. 6). Asfalt modifikovaný pryžovým granulátem se značí CRmB – Crumb Rubber Modified Butumen. Tato modifikační přísada vzniká drcením starých ojetých pneumatik. Obrovskou výhodou je využití již nepotřebných gumových výrobků a zároveň vylepšení vlastností asfaltového pojiva. Musí se však dbát na obtíže s pojené se skladováním. Se zvyšujícím se obsahem granulátu v pojivu se i zvyšuje nutnost promíchávání pojiva při skladování. [3]



Obr. 6 – Pryžový granulát [34]

Mezi další modifikační přísady řadíme přírodní kaučuky, organické sloučeniny, celulózní vlákna, druhotné materiály jakými mohou být plastový odpad z PVC a další. Každá modifikační přísada má své specifické chemické složení, proto je důležitá již optimální volba asfaltového pojiva. [9]

Speciální pojivo, které je určeno pro použití do směsí s R-materiálem, se označuje jako PMB RC - Polymer Modified Bitumen For Recycling. Oživení nemodifikovaných asfaltových pojiv probíhá klasickým způsobem (rejuvenátor/oživovač, pojivo vyšší třídy, kombinace). U modifikovaného pojiva v R-materiálu může dojít k problému, že nedojde k obnovení funkce modifikačního systému, ale dojde pouze ke změkčení daného pojiva. Aby se předešlo tomuto problému při využití R-materiálu, používá se právě pojivo PMB RC, které má pro tyto účely speciálně vyvinutý modifikační systém. Existují 3 způsoby jak navrhnout PMB RC, aby byly splněny požadavky na výslednou směs:

- Použití modifikovaného pojiva vyšší třídy,
- Použití pojiva stejné třídy, ale s vyšším stupněm modifikace,
- Kombinace výše uvedených.

Se zvyšujícím se obsahem přidávaného R-materiálu, by se měl zvýšit i podíl modifikačních přísad. Tím se předejde problému s nedostatečně modifikovanou výslednou směsí. Toto pojivo se nejvíce používá v Německu a v Rakousku. Obě tyto země na používání mají odlišný náhled. Německo klade velký důraz na zkoušení znovuzískaného pojiva z R-materiálu. Přidávané pojivo má nižší hodnotu bodu měknutí než tomu je v Rakousku. Předchází tím degradaci pojiva při výrobě a nedochází k posunutí teplotní použitelnosti k vyšším teplotám, aby tím nevznikaly nízkoteplotní poruchy. V Rakousku se nerozlišuje, zda je v R-materiálu pojivo modifikované či nemodifikované. Je to způsobeno tím, že v převážné míře nedochází k frézování po vrstvách. Je používáno pojivo s vyšším bodem měknutí (běžně i nad 80 °C). U nově položených směsí je určeno procentuální množství poruch před vypršením záruky. Tím je výrobce nucen použít vhodné pojivo, které nebude příliš tvrdé a bude v něm obsaženo dostatečný stupeň modifikace. [33]

2.1.6 ZNAČENÍ ASFALTOVÝCH POJIV

Označování asfaltových pojiv je přesně definováno v příslušné normě pro každý druh asfaltovaného pojiva. Označení pojiva vychází ze zkoušky penetrace jehlou. Podle výsledku této zkoušky se pojivo zatřídí do penetračního rozmezí uvedeného v normě ČSN 65 7204 Asfalty a asfaltová pojiva – Silniční asfalty. Silniční asfaltová pojiva a tvrdá asfaltová pojiva se označují pouze rozsahem penetrace. Zkratkou NT se označují asfaltová pojiva z přísad snižujících teplotu zpracování. Multigradová pojiva se označují zkratkou MG a mají specifikum v označení přidáním rozmezí hodnot bodu měknutí. U modifikovaných asfaltových pojiv se přidává minimální hodnota bodu měknutí. Základní označování

druhu modifikovaných pojiv je uvedeno v kapitole 2.1.5. Podobně jako modifikovaná pojiva se označují pojiva pro asfaltové emulze pouze s rozdílem, že asfaltová pojiva pro emulzi se označují navíc písmenem E. Zatřídění modifikačních pojiv a pojiv pro emulze je uvedeno v normě ČSN EN 65 7222-1 Asfalty a asfaltová pojiva – Silniční modifikované asfalty. Příklady označení jsou uvedeny v tab. č. 1. [10] [35]

Tab. 1 – Příklad označení asfaltových pojiv

VZOREK	OZNAČENÍ POJIVA	PENETRACE [0,1 mm]	BOD MĚKNUTÍ [°C]
1	70/100	70-100	-
2	20/30 NT	20-30	-
3	MG 35/50-59/69	35-50	59-69
4	PmB 45/80-70	45-80	70
5	PmB 45/80-50 E	45-80	50

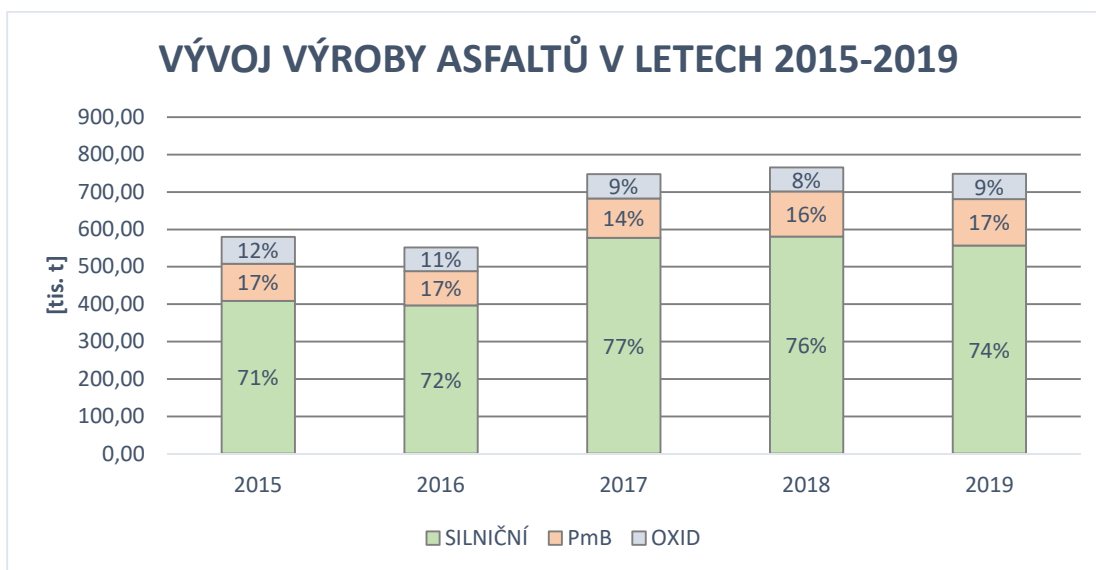
Vzorek 1 je silniční asfalt s rozsahem penetrace 70 až 100 penetračních jednotek. Vzorek 2 je silniční asfalt určený pro zpracovávání nižší teplotou s rozsahem penetrace 20 až 30 penetračních jednotek. Vzorek 3 je multigradové asfaltové pojivo s rozsahem penetrace 30 až 50 penetračních jednotek a bodu měknutí v rozsahu 59 až 69 °C. Vzorek 4 je asfaltové pojivo modifikované polymerem s rozsahem penetrace 45 až 80 penetračních jednotek a s minimálním bodem měknutím 70 °C. Vzorek 5 je asfaltové pojivo modifikované polymerem určené pro emulze s rozsahem penetrace 45 až 80 penetračních jednotek a s minimálním bodem měknutím 50 °C.

2.1.7 UŽITÍ ASFALTOVÝCH POJIV

Využití asfaltu je velmi široké. K největšímu využití bez pochyby dochází ve stavebním odvětví. Kde pro své jedinečné a specifické vlastnosti je využíván jako pojivo do asfaltových směsí, prolévaných vrstev, základní materiál pro výrobu asfaltové emulze, dále jako izolační a pokrývačský materiál. V tab. č. 2 jsou vidět objemy výroby asfaltu pro silniční stavebnictví v letech 2015 až 2019. Tyto hodnoty jsou také vyneseny v grafu č. 1, kde jsou i procentuálně porovnány. Z grafu je patrný trend výroby v České Republice, kdy jednotlivé druhy asfaltu dosahují každoročně velmi podobného podílu.

Tab. 2 – Vývoj výroby asfaltů v letech 2015-2019 [12]

ROK	SILNIČNÍ ASFALT [tis. t]	PmB [tis. t]	OXID [tis. t]	EMULZE [tis. t]	SILNIČNÍ ASFALT + PmB + OXID [tis. t]
2015	408,83	99,11	71,68	33,68	579,62
2016	396,30	92,30	62,80	29,29	551,40
2017	577,13	105,59	64,80	30,70	747,52
2018	580,88	120,98	63,60	33,80	765,46
2019	556,53	124,45	68,00	34,57	748,98



Graf 1 – Vývoj výroby asfaltů v letech 2015-2019 [12]

2.2 R-MATERÁL

Norma ČSN EN 13108-8 definuje R-materiál jako asfaltovou směs, která byla získána odfrézováním asfaltových vrstev nebo drcením desek vybouraných z asfaltových vozovek nebo velkých kusů asfaltové směsi, a asfaltové směsi z neshodné nebo nadbytečné výroby. R-materiál se skládá z minimálně 95 % původního asfaltového materiálu. Pokud materiál nedosahuje požadovaných 95 % nelze ho považovat za R-materiál. [4] [14]

2.2.1 ZÍSKÁNÍ R-MATERÁLU

Z vozovky, která již neplní svou funkci, lze R-materiál získat dvěma způsoby. Vozovku můžeme rozpojovat v celé své tloušťce konstrukce nebo po jednotlivých vrstvách. Výhodnější je získávat R-materiál po jednotlivých vrstvách (obrusná, podkladní, ložná). Zajistíme tím výrazně lepší kvalitu R-materiálu a jeho homogenitu. R-materiál se běžně získává vybouráváním nebo frézováním. Frézování je možné vidět na obr. č. 7. [1] [4]



Obr. 7 – Frézování vozovky [15]

K vybourávání se používá rypadlo s nástavcem bouracího kladiva. Takto získaný R-materiál je nutné dále zpracovat. R-materiál je nutno rozdrtit na požadovanou frakci, k tomu používáme drtiče kuželové, čelistové, odrazové nebo válcové. Rozdrcený R-materiál je nutné roztřídit na frakce podle zamýšleného použití. Drcení a třídění lze provádět jak na stavbě v různých mobilních jednotkách nebo v recyklačním centru. V případě frézování se používají různé druhy fréz, které se dělí podle její šířky a tloušťky záběru. Druhy fréz máme malé, střední, velké, speciální. Získaný R-materiál z frézování se

přetřídí a případně předrtí na požadovanou frakci. Získaný R-materiál po vrstvách je výhodné skladovat zvlášť. Při použití do stejné vrstvy, ze které byl získán, není nutné podrobně zkoumat kamenivo, protože lze předpokládat, že kvalita tohoto kameniva byla ověřena již při prvním použití. R-materiál, který je skladován neroztříděn, všechny vrstvy jsou tedy uloženy na jedné skládce, je znehodnocován. Je výhodné, aby R-materiál byl zastřešen. Zamezí se tím zvyšování vlhkosti a tím dochází k úspoře paliv při jeho dalším zpracování. V poslední době je snaha zamezit drcení jednotlivých zrn kameniva R-materiálu a spíše tyto zrna od sebe vzájemně rozpojovat, získáme tím lepší čaru zrnitosti. K tomu slouží stacionární linky. Stacionární linku je možno vidět na obr. č. 8. [1] [4] [16]



Obr. 8 – Stacionární linka [16]

2.2.1 VÝROBA SMĚSI S R-MATERIÁLEM NA OBALOVNĚ

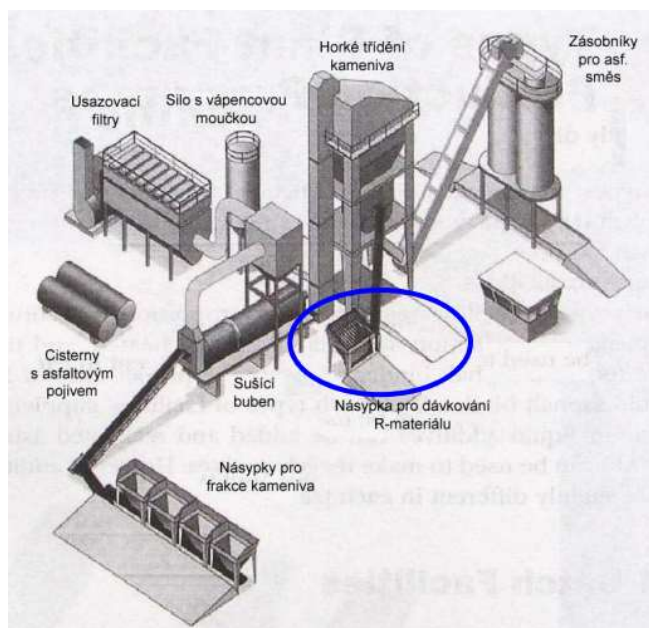
R-materiál lze do nové směsi přidávat dvojím způsobem, za studena anebo za tepla.

2.2.1.1 VÝROBA ZA TEPLA

Jedná se nejefektivnější způsob zpracování R-materiálu. V míchacím centru jde výrazně lépe dodržet předepsané vlastnosti asfaltové směsi než u metod přímo na stavbě. Postup výroby asfaltové směsi s R-materiálem je velmi obdobný jako výroba běžné směsi, pouze R-materiál částečně nahrazuje nový materiál. Rozlišujeme metody bez předehřívání R-materiálu, s předhříváním R-materiálu a metodu Drum-mix. [1] [16] [17] [18] [19]

- Dávkování studeného R-materiálu

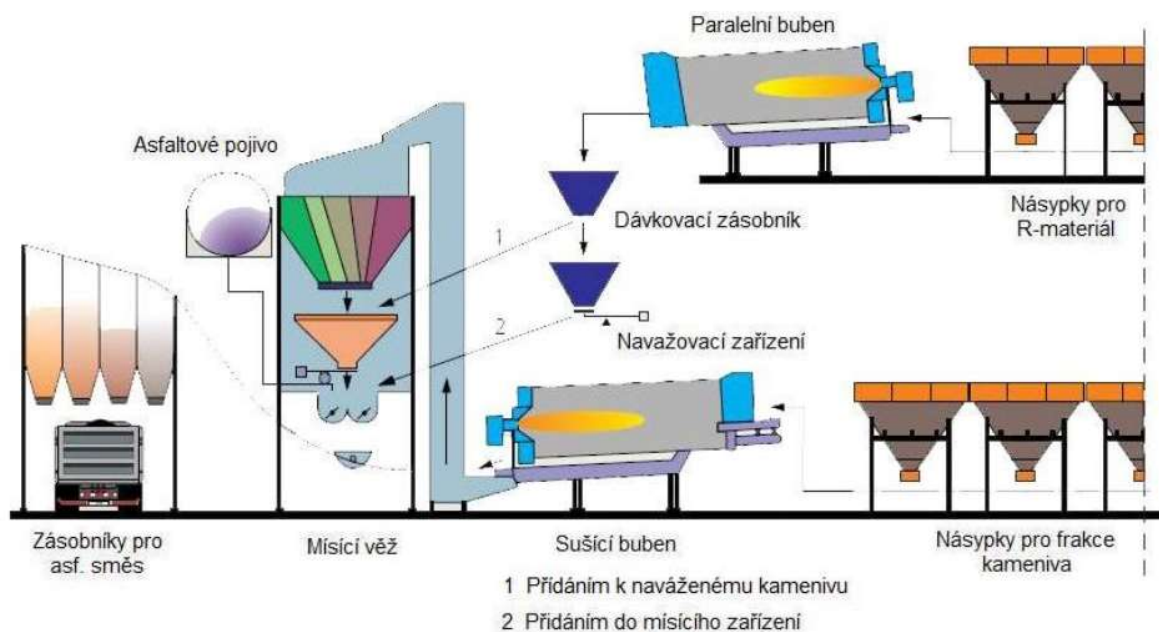
R-materiál, který je náležitě roztříděn a připraven se vkládá přímo do míchačky šaržové obalovny bez jakéhokoliv předehřívání. Schéma šaržové obalovny je možno vidět na obr. č. 9. Z toho důvodu se kamenivo musí nahřát na vyšší teplotu než u běžné asfaltové směsi, aby bylo dosaženo požadovaná teplota směsi. Při mísení studeného, často vlhkého R-materiálu, a nahřátého kameniva vzniká velké množství páry, kterou je nutno odvětrat. Maximální množství použitého R-materiálu je 25 % z celkové hmotnosti směsi. Při použití vyššího množství R-materiálu by se kamenivo muselo předehřívat na ještě vyšší teplotu a vznikala by velmi neekonomická směs. [1] [16] [17] [18] [19]



Obr. 9 – Šaržová obalovna s násypkou pro R-materiál [2]

- Dávkování předehřátého R-materiálu

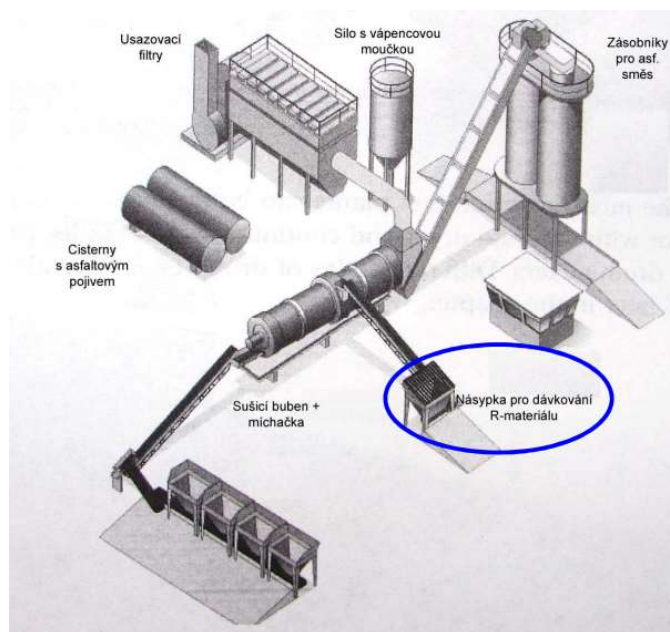
Podstata této metody je využití paralelního bubnu k nahřátí R-materiálu. Schéma obalovny s paralelním bubnem je vidět na obr. č. 10. Nadávkované množství R-materiálu se v paralelním bubnu předehřeje na teplotu přibližně 130 °C. Tím je umožněno dávkování většího množství R-materiálu. Maximální množství R-materiálu při použití této metody se udává 80 %. Po nahřátí R-materiálu se dávkuje do míchačky společně s novým kamenivem, filerem, asfaltovým pojivem a dalšími přísadami a vzniká nová asfaltová směs. S vysokým procentem přidávaného R-materiálu se nesmí zapomenut na rejuvenaci pojiva. [1] [16] [17] [18] [19]



Obr. 10 – Schéma obalovny s paralelním bubnem [16]

- Metoda Durm-mix

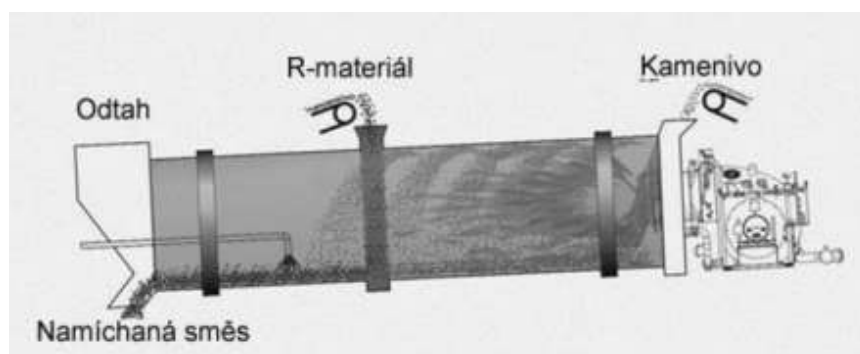
Tato metoda se používá u kontinuálních obaloven. Kontinuální obalovna je znázorněna na obr. č. 11. R-materiál se přehřívá společně s kamenivem nebo zvlášť ve střední části sušícího bubnu. Tato metoda umožňuje použití až 50 % R-materiálu z celkového objemu směsi. Na našem území se tato metoda příliš nevyužívá, velké využití nachází např. v USA, kde kontinuální obalovny tvoří až 80 % všech obaloven. [1] [2] [16] [17] [18]



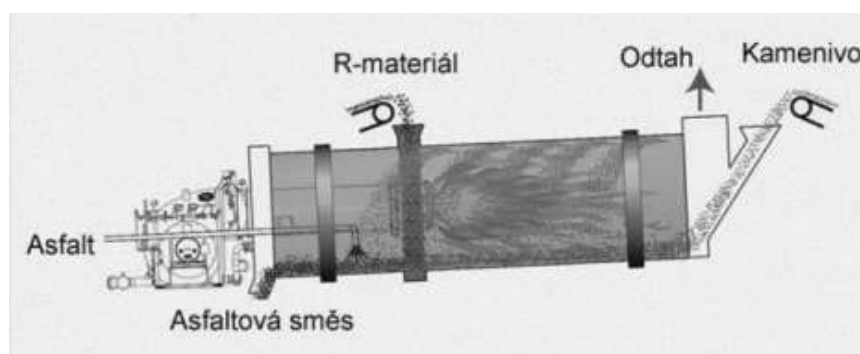
Obr. 11 – Kontinuální obalovna [19]

Podle způsobu přidávání R-materiálu u této metody rozlišujeme tři druhy:

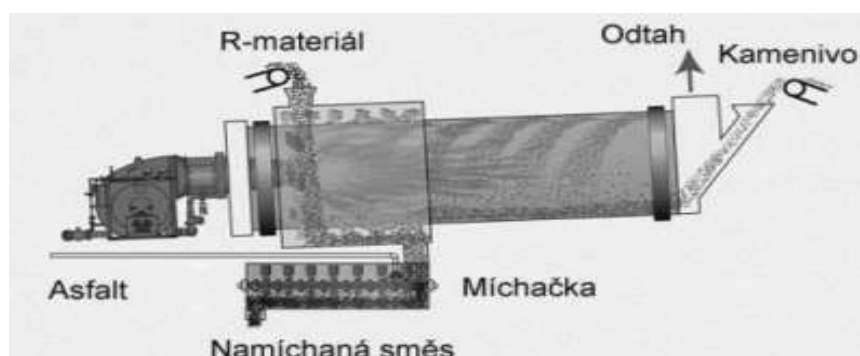
- R-materiál se přidává souběžně s proudem horkého vzduchu,
- R-materiál se přidává proti proudu horkého vzduchu,
- Separátní vysoušení R-materiálu, míchání v míchačce. [1]



Obr. 12 – R-materiál se přidává souběžně s proudem horkého vzduchu [20]



Obr. 13 – R-materiál se přidává proti proudu horkého vzduchu [20]



Obr. 14 – Separátní vysoušení R-materiálu, míchání v míchačce [20]

2.2.1.2 VÝROBA ZA STUDENA

V míchacím centru dochází k smíchání s asfaltovou emulzí nebo s pěnoasfaltem. Je možné přidávat 1 – 2 % cementu případně vápenného hydrátu. Odpadá velká energie na zahřívání a zajišťování teploty při transportu. Směs má výrazně delší dobu na uložení ve srovnání s horkou směsí. [19] [21]

2.2.2 OŽIVOVÁNÍ ASFALTOVÝCH POJIV

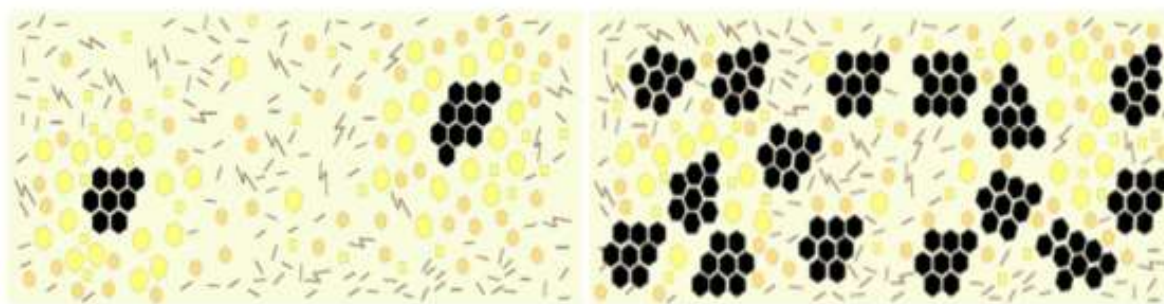
Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.1.1.3, asfaltové pojivo podléhá oxidaci a postupně mění své chemické a fyzikální vlastnosti. Zjednodušeně se postupem času stává tvrdší a křehčí. Pokud je použito vyšší množství R-materiálu stává se celá směs tužší a méně odolnou proti únavovému a termálnímu namáhání. Těmto problémům se předchází, tzn. oživením asfaltového pojiva v R-materiálu. Pomocí oživení se dosáhne požadovaných vlastností asfaltového pojiva v nově vzniklé směsi. [1] [22] [23]

Oživení se může provádět:

- Použití pojiva vyšší třídy,
- Použití oživovacích přísad,
- Kombinací pojiva vyšší třídy a oživovacích přísad.

Oživení zestárlého pojiva pojivem vyšší třídy je definováno v normě ČSN EN 13108-1. Musí být zajištěny vlastnosti pojiva, které jsou předepsány pro pojivo z nově vzniklé směsi. Vlastnosti pojiva z nové asfaltové směsi jsou součtem vlastností pojiva z R-materiálu a nově přidaného pojiva. Výsledné vlastnosti se ověřují u obrusných vrstev vždy a u vrstev vyrovnávacích, ložních a podkladních pokud množství R-materiálu je vyšší jak 20 %. [1] [22] [23]

Pokud je množství R-materiálu vyšší jak 50 %, je nejefektivnější způsob oživení použitím oživovacích přísad. Oproti použití pojiva vyšší gradace je výhoda oživovacích přísad v použití libovolného množství R-materiálu. Oživovací přísady se získávají ze zpracování ropy, z bio-olejů, z odpadních produktů zpracování biomasy nebo z papírenské výroby. Pod pojmem oživovací přísada rozlišujeme dva druhy a to změkčující přísada a rejuvenátor. Hlavním rozdílem mezi nimi je to, že změkčující přísada snižuje viskozitu zestárlého pojiva, kdežto rejuvenátor obnovuje jeho fyzikální i chemické vlastnosti. Rozdíl je patrný na obr. č. 15. Změkčující přísada, použitá na levé straně obrázku, nezajistí rozptýlení shluků asfalténů, ale dojde pouze k zředění matlénové složky a tím ke snížení viskozity pojiva. Rejuvenátor, použit na pravé straně obrázku, přerušil shlukování asfalténů a zajistil úspěšné oživení pojiva. [1] [22] [23]



Obr. 15 – Rozdíl mezi použitím změkčující přísady (vlevo) a rejuvenátoru (vpravo) [23]

Rejuvenátory rozlišujeme podle jejich původu na parafinické oleje, aromatické extrakty, naftenové oleje, triacylglyceroly a mastné kyseliny a tálové oleje. Jednotlivé druhy rejuvenátorů je možné vidět v tab. č. 3. [24]

Tab. 3 – Druhy rejuvenátorů [25]

Kategorie	Typ	Popis
Parafinické oleje	Odpadní motorový olej (WEO - Waste Engine Oil)	Rafinované mazací oleje
	Kaly z odpadního motorového oleje (WEOB - Waste Engine Oil Bottoms) Valero VP 165®	
	Storbit®	
Aromatické extrakty	Hydrolene®	Rafinované ropné produkty se složkami polárních aromatických olejů
	Reclamite®	
	Cyclogen L®	
	ValAro 130A®	
Naftenové oleje	SonneWarmix RJ™	Uhlovodíky upravené pro modifikaci asfaltu
	Ergon HyPrene®	
Triacylglyceroly a mastné kyseliny	Odpadní rostlinný olej	Odvozené z rostlinných olejů
	Odpadní rostlinná maziva	
	Hnědá maziva	
	Kyselina olejová	
Tálové oleje	Sylvaroad™ RP1000	Vedlejší produkty papírenského průmyslu stejného chemického složení jako tekuté stékavostní přísady a emulgátory
	Hydrogreen®	

2.2.3 POUŽITÍ R-MATERÁLU

R-materiál může být využit jako náhrada části kameniva do nestmelených vrstev. Největší uplatnění ovšem zastává při výrobě nové asfaltové směsi, kde částečně nahrazuje nové kamenivo a pojivo. R-materiál lze použít pouze do druhů asfaltů určených normou. Množství taktéž specifikuje norma. To vše nám zobrazuje tab. č. 4. [4]

Tab. 4 – Procentuální zastoupení R-materiálu v jednotlivých [16]

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

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

Z tab. č. 4 vyplývá, že největší množství R-materiálu pro obrusné vrstvy je 25 %, pro ložní 40 % a podkladní 60 %. U koberce mastixového lze použít 10 % R-materiálu do obrusné vrstvy a 20 % do ložní a podkladní vrstvy. R-materiál se nesmí použít pro obrusné vrstvy dálnic, rychlostních silnic, rychlostních místních komunikací, vozovek s TDZ S, I, II, III, pro ochrannou vrstvu izolace a obrusnou vrstvu vozovek na mostech. [1] [20]

V tab. č. 5 jsou porovnány výroby asfaltových směsí v letech 2015 – 2019 s množstvím použitého R-materiálu na obalovně. Z tabulky je patrné, že množství použitého R-materiálu na obalovně tvoří přibližně pouhých 3 %. [11]

Tab. 5 – Porovnání výroby asfaltové směsi s použitým R-materiálem

ROK	ASFALTOVÁ SMĚS [tis. t]	R-MATERIÁL [tis. t]
2015	7 682,10	216,93
2016	6 402,80	249,75
2017	7 078,04	222,53
2018	7 603,57	275,20
2019	6 552,17	243,70

3 CÍL PRÁCE

Hlavním cílem této diplomové práce je zjištění vlivu přidání různého množství R-materiálu na změnu vlastností pojiva pro směsi s vyšším dávkováním R-materiálu. Pro diplomovou práci bude použit R-materiál s modifikovaným pojivem a R-materiál bez modifikovaného pojiva. K tomu byla použita asfaltová pojiva v 7 variantách.

- A. Asfaltové pojivo PmB 45/80 RC s 0 % znovuzískaného pojiva z R-materiálu
- B. Asfaltové pojivo PmB 45/80 RC s 15 % znovuzískaného pojiva R-materiálu s nemodifikovaným pojivem
- C. Asfaltové pojivo PmB 45/80 RC s 30 % znovuzískaného pojiva R-materiálu s nemodifikovaným pojivem
- D. Asfaltové pojivo PmB 45/80 RC s 50 % znovuzískaného pojiva R-materiálu s nemodifikovaným pojivem
- E. Asfaltové pojivo PmB 45/80 RC s 15 % znovuzískaného pojiva R-materiálu s modifikovaným pojivem
- F. Asfaltové pojivo PmB 45/80 RC s 30 % znovuzískaného pojiva R-materiálu s modifikovaným pojivem
- G. Asfaltové pojivo PmB 45/80 RC s 50 % znovuzískaného pojiva R-materiálu s modifikovaným pojivem

Cílem rešeršní části bylo popsat problematiku asfaltových pojiv a modifikovaných asfaltových pojiv jejich výrobu a využití. Dále pak vysvětlit pojmy spojené s diplomovou prací jako je R-materiál, a s ním spojený způsob získávání R-materiálu, ožiování R-materiálu a popsat zkoušky a postupy, kterými se budu zabývat v praktické části diplomové práce.

V praktické části bylo popsáno laboratorní zkoušení asfaltových pojiv a následné porovnání vlastností. Vlastnosti zkoušených asfaltových pojiv byly hodnoceny podle zkoušek, které jsou popsány ve 4. kapitole této diplomové práce.

4 POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ METODY

4.1 ZNOVUZÍSKÁNÍ ASFALTOVÉHO POJIVA

Pro provádění jednotlivých zkoušek bylo potřeba znovuzískat pojivo z R-materiálu. Znovuzískání extrahovaného pojiva bylo provedeno dle normy ČSN EN 12697-3 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 3 : Znovuzískání extrahovaného pojiva: Rotační vakuové destilační zařízení. Podstata metody je v oddělení asfaltového pojiva ze vzorku asfaltové směsi pomocí rozpouštědla. Jako rozpouštědlo byl použit perchlor. Pevné nerozpuštěné částice se odstraní. Asfaltové pojivo se za pomoci vakuového destilačního zařízení znovuzíská z asfaltového roztoku. [26]

Vzorek asfaltové směsi byl vložen do vhodné nádoby a zalit rozpouštědlem. Asfaltová směs nebyla rozpouštědlu vystavena déle než 24 hodin. Do průtokové odstředivky se vložila patrola s filtračním papírem. Následně byla nádoba vyprázdněna přes síta o velikostí 2 mm a 0,063 mm do průtokové odstředivky. Kamenivo se dále proplachovalo minimálním množstvím rozpouštědla, aby došlo k co největšímu očištění kameniva a zároveň nebylo velké množství rozpouštědla v roztoku, tím by se celý proces znovuzískání asfaltového pojiva časově prodloužil. Získaný roztok byl vypuštěn z průtokové odstředivky do vhodné nádoby. [26]

Rozpouštědlo se od asfaltového pojiva odstranilo pomocí rotační vakuové odstředivky. Vazelína byla nanесena na nasávací kohout a na hrdlo jímací a destilační baňky, které byly zajištěny svorkou. Zapnula se voda, která proudila chladičem a ochlazovala celou soustavu. Destilační baňka se spustila do olejové lázně a přístroj byl uveden do chodu. Nastavila se rotace destilační baňky (70 ± 15 ot. /min.), teplota olejové lázně (110 ± 10 °C) a tlak (40 ± 5 kPa). Po otevření nasávajícího kohoutu byl do destilační baňky nasát asfaltový roztok o objemu menším než 400 ml. Vlivem teploty a podtlaku bylo rozpouštědlo odpařováno, v chladičím válci zkondenzovalo a odteklo do jímací baňky. Postupně byl asfaltový roztok doplňován a jímací baňka při naplnění vylévána do vhodné nádoby. Po nasátí veškerého roztoku se zvýšila teplota na 160 ± 5 °C a postupně se snížil tlak v destilačním zařízení na 2 kPa, tím se docílilo úplného odpaření rozpouštědla. Když se v destilační baňce přestaly tvořit bublinky, byla zastavena rotace baňky a tlak byl vyrovnán s atmosférickým. Destilační baňka byla vytažená z olejové lázně a odpojena ze zařízení. Znovuzískané asfaltové pojivo bylo vyprázdněno do vhodné nádoby. Výsledkem destilace je znovuzískané asfaltové pojivo. Rotační vakuovou odstředivku je možno vidět na obr. č. 16. [26]



Obr. 16 – Vakuová rotační odstředivka

4.2 SMÍSENÍ POJIV

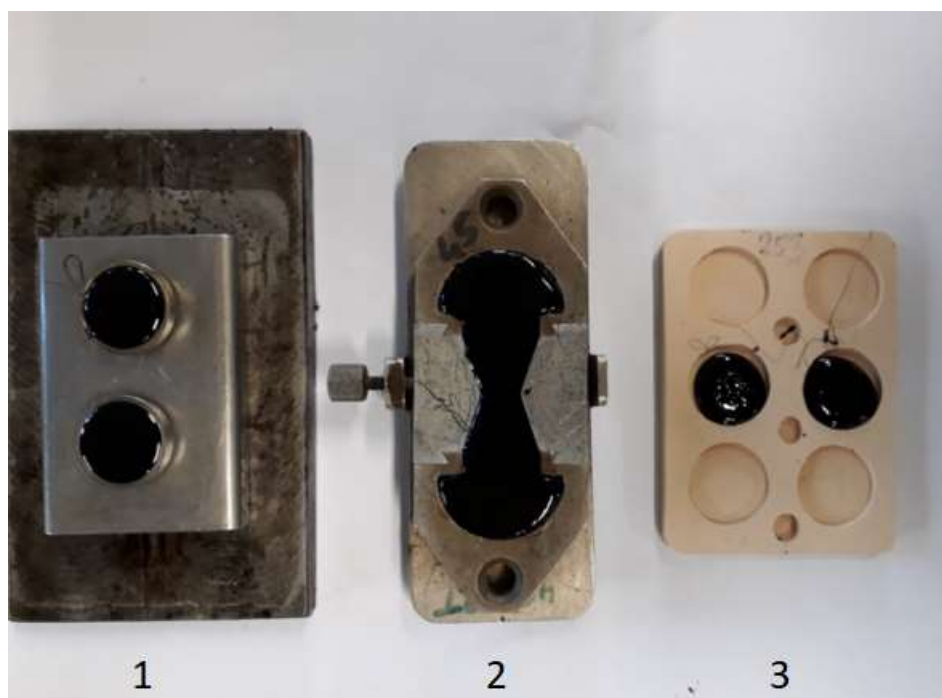
Vydestilované asfaltové pojivo z obou R-materiálu bylo vloženo do pece současně s nově přidávaným asfaltovým pojivem. Po dostatečném rozezhřátí byla jednotlivá pojiva promíchána pomocí ocelového drátku, aby bylo docíleno dokonalé homogenizace pojiva. Do připravených nádob bylo v předem stanovených poměrech naváženo asfaltové pojivo z R-materiálů a nového asfaltového pojiva. Složení jednotlivých vzorků je vidět v tab. č. 6. Po vytvoření jednotlivých zkušebních vzorků byly vzorky opět vloženy do pece. Po rozezhřátí pojiv byly vzorky znovu promíchány, tím bylo dosaženo promísení obou pojiv a tím vznikl homogenní asfaltový vzorek. Na takto připravených vzorcích byly provedené jednotlivé zkoušky a byly porovnány jejich výsledné vlastnosti.

Tab. 6 – Složení jednotlivých vzorků

VZOREK	VYDESTILOVANÉ POJIVO				NOVÉ POJIVO	
	R-MATERÁL MODI.		R-MATERÁL NEMODI.		PMB-RC	
	[%]	[g]	[%]	[g]	[%]	[g]
A	-	-	-	-	100	100
B	-	-	15	15	85	85
C	-	-	30	30	70	70
D	-	-	50	50	50	50
E	15	15	-	-	85	85
F	30	30	-	-	70	70
G	50	50	-	-	50	50

4.3 PŘÍPRAVA VZORKŮ

Zkoušky penetrace jehlou, bod měknutí, vratná duktilita a DSR je nutné provádět v normou stanovených nádobách či formách. Z toho důvodu byly jednotlivé zkušební vzorky ohřáty v peci na teplotu, která nepřesahovala předpokládaný bod měknutí o více než 100 °C, následně byly vzorky promíchány, aby došlo k zajištění homogenních vzorků, a nality do připravených zkušebních nádob či forem. Na takto připravených vzorcích byly prováděny jednotlivé zkušební metody. Odlité vzorky pro jednotlivé zkoušky jsou znázorněny na obr. č. 17. Pro zkoušku penetrace jehlou byl připraven vzorek 1, pro zkoušku vratné duktility byl připraven vzorek 2 a pro zkoušku DSR byl připraven vzorek 3.



Obr. 17 – Vzorky pro zkoušení

4.4 PENETRACE JEHLOU

Penetrace jehlou byla stanovena dle normy ČSN EN 1426 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou. Podstata metody je změření průniku normalizované jehly do vytemperovaného vzorku za zkušebních podmínek. Zkušební podmínky jsou stanoveny teplotou vzorku (25 °C), zatěžovací hmotností (100 g) a časem (5 s). [27]

Zkušební vzorek byl nalit do penetrační nádoby v takovém množství, aby po vychladnutí na zkušební teplotu, byla výška nejméně o 10 mm větší, než je předpokládaná hloubka vniknutí jehly. Vzorek

byl následně přikryt víčkem, čímž se eliminoval vznik vzduchových bublin a případné usazení prachu. Vzorek se nechal vychladnout na laboratorní teplotu v rozsahu 15 °C - 30 °C. Vychladlý vzorek se umístil do vodní lázně s konstantní teplotou 25 °C na 1,5 h. Z důvodu toho, že zkouška neprobíhala ve vodní lázni, se vytemperovaná penetrační nádoba se vzorkem vložila do přenosné misky tak, aby byla celá ponořena ve vodě z lázně. Přenosná miska se položila na podstavec předem připraveného penetrometru. Penetrační jehla byla očištěna a nainstalována tak, aby její hrot byl těsně nad povrchem vzorku. Následně byl penetrometr vynulován, nastaven čas zatěžování na 5 s a spuštěno měření. Začátek měření nastal do 1 min. od vyjmutí vzorku z lázně. Hloubka penetrace byla odečtena na měřícím zařízení a výsledek zaznamenán. Na každém vzorku byla provedena 3 měření do 2 min. od prvního měření, ve vzdálenosti alespoň 10 mm od okraje penetrační nádoby a minimálně 10 mm mezi jednotlivými vpichy. Mezi jednotlivými vpichy se vždy řádně ošetřila penetrační jehla. Výsledná hodnota penetrace jehlou byla stanovena jako aritmetický průměr ze tří měření v desetinách milimetru zaokrouhlený na nejbližší celé číslo. Průběh zkoušky je znázorněn na obr. č. 18. [27]



Obr. 18 – Zkouška penetrace jehlou

4.5 BOD MĚKNUTÍ

Stanovení bodu měknutí metodou kroužek a kulička bylo stanoveno dle normy ČSN EN 1426 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička. Podstata metody kroužek a kulička je stanovení teploty, při které dojde k protažení kroužku, za řízeného ohřevu lázně, na kterém je umístěna kulička, o 25 ± 4 mm. Tato hodnota odpovídá horní mezi plasticity. [28]

Do předem připravených dvou mosazných kroužku, které byly ošetřeny separačním prostředkem, byl nalit zkušební vzorek s mírným přebytkem nad hranou kroužku. Po 30 min. chladnutí při laboratorní teplotě se přebytek seříznul nahřátým nožem do takové úrovně, aby zkušební vzorek byl zarovnan s horním okrajem mosazného kroužku. Seříznutí bylo provedeno krátce před započítáním samotné zkoušky. Dva připravené vzorky byly vloženy do sestavy opatřené středícím zařízením pro kuličky. Připravená sestava byla vložena do kádinky s odvzdušněnou vodou, která byla následně zchlazena na 5 ± 1 °C, tato teplota se udržovala 15 min. Po vychladnutí na požadovanou teplotu byly pomocí chemických kleští vloženy kuličky, které mají stejnou teplotu jako zkušební vzorky, do středících zařízení a celá kádinka byla položena na měřicí přístroj a zahájilo se měření. Řízený ohřev se nastavil na 5 °C / min. a do sestavy byl umístěn teploměr. Konstantním nárůstem teploty docházelo k deformaci asfaltu v kroužku zatíženého kuličkou. Konec měření nastal, když se asfalt obklopující kuličku protáhl o 25 ± 4 mm a dotkl se laserového paprsku. Výsledná teplota bodu měknutí se vyhodnotila jako průměr teplot se zaokrouhlením na 0,2 °C. Pokud je rozdíl teplot větší, jak 2 °C je zkouška neplatná a musí se opakovat. Průběh zkoušky je znázorněn na obr. č. 19. [28]



Obr. 19 – Zkouška kroužek a kulička

4.6 VRATNÁ DUKTILITA

Vratná duktilita byla provedena dle normy ČSN EN 13398 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení vratné duktility modifikovaných asfaltů. Podstata metody je, že se asfaltový vzorek protahuje při zkušební teplotě konstantní rychlostí 50 mm/min. na vzdálenost 200 mm. Takto natažený vzorek se uprostřed přestříhne a po uplynutí stanovené doby se změří vzdálenost mezi zkrácenými polovlákný. [29]

Forma, která byla na vnitřní straně bočnic opatřena separačním prostředkem, byla položena na podkladní destičku, která byla taktéž opatřena separačním prostředkem. Do takto nachystané formy byl nalit asfaltový vzorek s přečnávajícím meniskem. Odlitý vzorek byl nechán 60 min. zchladnut na laboratorní teplotu a poté byl nahřátým nožem seříznut přebytek vzorku. Formy s odlitými tělísky se umístí do vodní lázně o teplotě 25 °C na 90 ± 10 min. před zahájením samotné zkoušky. Z forem po uplynutí temperování byly odstraněny boční části formy a zkušební vzorky se přemístily na vodící desky a byla započata zkouška. Tělesa se natahovala konstantní rychlostí 50 ± 2,5 mm/min. na vzdálenost 200 mm. Do 10 s po zastavení desek byla vlákna uprostřed přestřížena pomocí nůžek na páry polovláken. Po uplynutí 30 min. od přestřížení asfaltových vláken se pomocí pravítka změřila vzdálenost mezi jednotlivými konci polovláken. Výsledná hodnota vratné duktility R_E se vyjadřuje jako z délky prodloužení zaokrouhlené na 1 %, rovnice 1. Průběh zkoušky je znázorněn na obr. č. 20-21. [29]

$$R_E = \frac{d}{L} \times 100 \quad (1)$$

kde

R_E vratná duktilita [%];

d je vzdálenost mezi polovlákný [mm];

L délka protažení [mm]. [29]



Obr. 20 – Průběh zkoušky



Obr. 21 – Vlákna asfaltového vzorku po přestřížení

4.7 BOD LÁMAVOSTI

Stanovení bodu lámavosti dle Fraasse bylo stanoveno dle normy ČSN EN 12593 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu lámavosti podle Fraasse. Podstata metody je ochlazování vzorku rovnoměrně naneseného na kovový plíšek stálou teplotou a opakovaným ohýbáním plíšku dokud asfaltová vrstva nepraskne. [31]

Zkušební plíšky o daných rozměrech (délka = $41,00 \pm 0,05$ mm, šířka = $20,0 \pm 0,2$ mm, tloušťka = $0,15 \pm 0,02$ mm) se očistily vhodným rozpouštědlem a zvážily s přesností na 0,01 g. Pojivo se z důvodu bodu měknutí pod $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ nanášelo ručně. Na plíšek se navázilo 400 ± 10 mg asfaltového pojiva a byl umístěn na magnetický blok. Magnetický blok se následně přemístil na vyhřívanou část kovového

podstavce o teplotě nepřekračující teplotu bodu měknutí o více než 80 °C. Po dosažení tekutosti pojiva se zajistila rovnoměrná tloušťka pojiva na plíšku, postupným nakláděním bloku. Opatrným přejetím plamenem se zajistilo odstranění vzduchových bublinek. Takto připravený zkušební vzorek je možno vidět na obr. č. 22. Připravený zkušební vzorek se přemístil na chlazenou část stojanu a byl umístěn pod snímatelný kryt, který se vzorku nedotýkal, vzorek se nechal zchladnout na laboratorní teplotu. Plíšek se pomocí manipulačních kleští vložil do ohýbacího zařízení, při této manipulaci se nesmí objevit žádná prasklina. Začátek zkoušky se může provádět po 30 min. od nanesení pojiva na plíšek. Počáteční teplota před ochlazováním byla minimálně 15 °C nad očekávaným bodem lámavosti. Do vnitřní zkumavky chladicího zařízení bylo vloženo ohýbací zařízení a po instalaci teploměru, tak aby byl ve středu mezi patkami, bylo zahájeno ochlazování rychlostí 1 °C/min. Po uplynutí 3 min. bylo ochlazování nastaveno tak, aby teplota klesla o 1 °C v čase 60 ± 5 s. Mezi vnitřní a vnější zkumavkou byl prostor vyplněn technickým lihem nejméně do výšky 100mm, tím bylo dosaženo podmínky ochlazování. Teplotu lázně lze regulovat přidáváním malých kousků tuhého oxidu uhličitého. Při dosažení teploty 10 ± 2 °C nad bodem lámavosti bylo zahájeno ohýbání. Zkušební vzorek byl ohýbán automaticky v přístroji, který nám simuloval manuální otáčením kličky konstantní rychlostí 1 otáčkou za vteřinu až na doraz. Pokud nevzniklo poškození asfaltového vzorku, opakovalo se ohýbání konstantní rychlostí zpět. Mezi opakováním ohýbání byl zkušební vzorek ponechán 38 ± 5 s ve výchozí pozici. Zkouška byla ukončena při vzniku první praskliny. Teplota, při které bylo zahájeno ohýbání zkušební vzorku byla odhadnuta z tab. č.1 z normy ČSN EN 65 7222-1 (příloha č.I). Výsledek zkoušky je stanoven ve stupních Celsia jako průměr dvou platných měření se zaokrouhlením na celé číslo. Pokud vznikla prasklina při jiné teplotě, než byla teplota odhadovaná ± 2 °C, tak je zkouška neplatná a musí se opakovat. Průběh zkoušky je znázorněn na obr. č. 23.

[31]



Obr. 22 – Příprava zkušební vzorku



Obr. 23 – Průběh zkoušky

4.8 DSR

Stanovení komplexního modulu ve smyku a fázového úhlu bylo provedeno dle normy ČSN EN 14770 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení komplexního modulu ve smyku a fázového úhlu – Dynamický smykový reometr (DSR). Podstata metody je aplikace oscilujícího smykového napětí různých hodnot na zkušební vzorek, umístěný ve vytemperované soustavě. Měří se odezva deformace pojiva na působící napětí. [7] [29]

Zkoušené asfaltové pojivo bylo nalito do vyčištěné silikonové formy v takovém množství, aby ho bylo dostatek pro zkoušení a zároveň aby nedocházelo k velkému přebytku. Asfaltové pojivo nalité ve formě se nechalo vychladnout na laboratorní teplotu minimálně 30 min. a bylo přikryto, aby nedocházelo k usazování nečistot. Mezi tím byla připravena měřická soustava. Byl zapnut kompresor, počítač, byla odebrána ochranná hrazdička z hlavy reometru, zapnuto chlazení a spuštěn program R-Space a jako poslední byl zamnut samotný reometr. Do reometru byla vložena horní a dolní geometrie o průměru 25 mm. Reometr se nechal vytemperovat na 70 °C a byla nastavena nulová mezera 1 mm. Vychladlý vzorek se vyloupl z formy a vložil se na spodní geometrii. Vzorek se v reometru nahřál na požadovanou teplotu a byl stlačen horní geometrií. Pomocí nahřáté špachtle se seříznul vyčnívající přebytek mezi horní a dolní geometrií. Vzorek po odstranění přebytečného pojiva je znázorněn na obr. č. 25. Po dostatečném seříznutí se vzorek stlačil přesně na zvolenou mezeru. A bylo zahájeno měření. Měřicí program byl zapnut v rozsahu teplot 70 - 40 °C s krokem 5 °C a frekvence 10 - 0,1 Hz. Zkouška začínala při nejnižší frekvenci a

postupně přecházela na nejvyšší frekvence při jedné teplotě. Vzorek byl takto zatěžován 15 min. a následně se 10 min. vytemperovával na teplotu o 5 °C nižší, než byla předešlá teplota a byl znovu zatěžován. Takto se postupovalo, než se dosáhlo zvolené minimální teploty. Během průběhu zkoušky byly zaznamenány hodnoty torzního momentu a zpoždění. Torzní moment je možné přepočítat na smykové napětí. Z naměřených hodnot je možné vypočítat smykový modul G^* a fázový úhel δ podle vztahů 2 - 4. Výsledkem zkoušení je zjištění smykového modulu a fázového úhlu ve stanoveném teplotním rozsahu pro jednotlivé frekvence. [7] [29]

$$\tau_{max} = \frac{2T}{\pi x r^3} \quad (2)$$

$$\gamma_{max} = \frac{\theta * r}{h} \quad (3)$$

$$G^* = \frac{\tau_{max}}{\gamma_{max}} \quad (4)$$

kde

τ_{max} maximální smykové napětí [Nm^{-2}];

γ_{max} maximální smykové přetvoření [-];

G^* smykový modul [kPa];

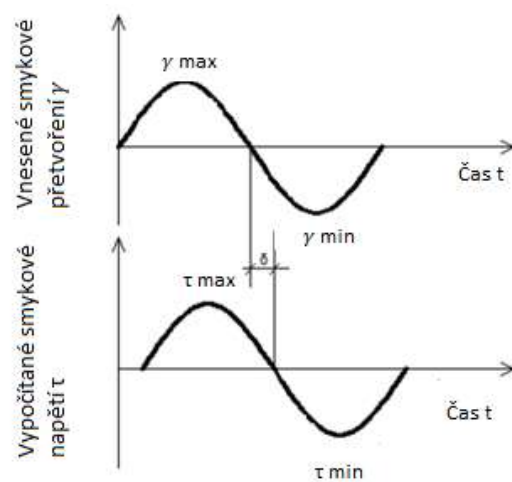
δ fázový úhel [°];

T maximální torzní moment [Nm];

r poloměr vzorku [mm];

θ úhlové vybočení [rad];

h výška vzorku [mm];



Obr. 24 – Průběh smykového přetvoření a smykového napět [7]



Obr. 25 – Připravený zkušební vzorek

5 POUŽITÉ MATERIÁLY

Na pojivech získaných z R-materiálu byly provedeny zkoušky penetrace jehlou a bod měknutí metodou kroužek a kulička. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. č. 7 a č. 8. Na pojivech z R-materiálu byla provedena 3 měření hloubky penetrace a 4 měření bodu měknutí metodou kroužek a kulička. U modifikovaného pojiva z R-materiálu byl proveden penetrační index I_p podle rovnice 5 k ověření modifikace. Hodnota penetračního indexu $I_p = 0,925$. Od hodnot 0,7 se běžně pojivo považuje za modifikované.

Tab. 7 – Výsledky zkoušky penetrace jehlou na pojivu z R-materiálu

R - MATERIÁL	PENETRACE [0,1mm]			Ø[0,1mm]
NEMODIFIKOVANÉ POJIVO	15,5	12,8	13,1	13,8
MODIFIKOVANÉ POJIVO	16,8	15,2	14,4	15,5

Tab. 8 – Výsledky zkoušky bodu měknutí metodou kroužek a kulička na pojivu z R-materiálu

R - MATERIÁL	BOD MĚKNUTÍ [°C]						Ø[°C]
NEMODIFIKOVANÉ POJIVO	69,1	69,1	69,2	67,6	67,7	67,6	68,4
MODIFIKOVANÉ POJIVO	74,5	74,2	74,4	73,8	73,6	73,8	74,1

$$I_p = \frac{20 \cdot t_{RAB} + 500 \log P - 1952}{t_{RAB} - 50 \log P + 120} \quad (5)$$

kde

I_p penetrační index [-];

t_{RAB} teplota bodu měknutí [°C];

$\log P$ dekadický logaritmus penetrace při 25 °C [mm].

Pojivo smíchávané s pojivem z R-materiálu je asfaltové pojivo PMB RC 45/80 od výrobce OMV. Jedná se tedy o pojivo modifikované polymerem určené právě pro práci s R-materiálem s garantovaným rozsahem penetrace v rozmezí 45 až 80 penetračních jednotek. Výsledky zkoušek na tomto pojivu jsou uvedeny v kapitole 6. Toto pojivo je označováno jako vzorek A.

6 VÝSLEDKY ZKOUŠEK

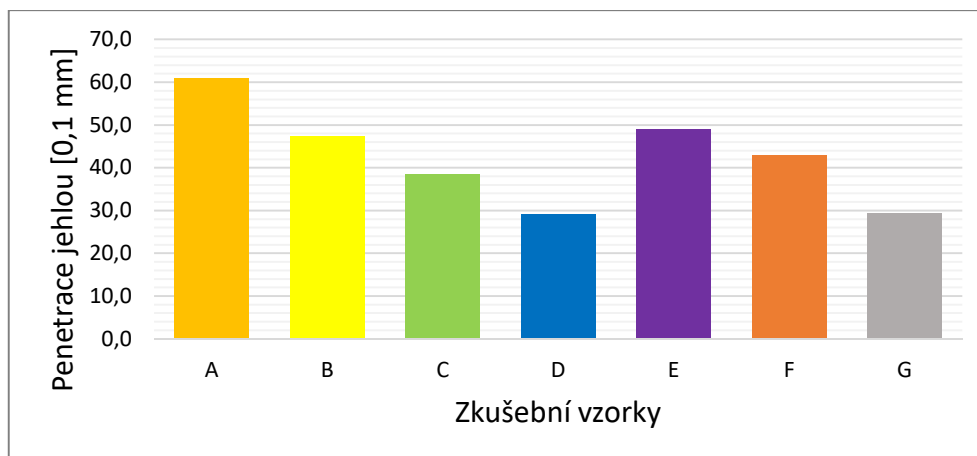
V této kapitole jsou uvedeny výsledky zkoušek penetrace jehlou, bodu měknutí, vratná duktilita, DSR a bod lámavosti. Postupy provádění jsou popsány v předchozích kapitolách. Výsledky jsou uvedeny v tabulkách a pro lepší porovnání znázorněny graficky.

6.1 PENETRACE JEHLOU

Postup zkoušky je popsán v kapitole 4.4. Všechna pojiva byla podrobena 3 měření za předepsaných podmínek. Výsledky zkoušky penetrace jehlou jsou uvedeny v tab. č. 9 a porovnány v grafu č. 2. Vzorek A dosáhl 60,8 hloubky penetrace a tím splnil normou předepsanou gradaci 45/80. Vzorky D a G dosahují o polovinu nižší hodnotu penetraci ve srovnání se vzorkem A. Největší rozdíl mezi vzorky se stejným podílem asfaltového pojiva z R-materiálu je mezi vzorky C a F, kde rozdíl v hloubce penetrace byl zjištěn okolo 7 %. Naopak u vzorků B a E byla hloubka penetrace velmi podobná, podobně jako u vzorků D a G, u vzorků B a E byl rozdíl přibližně 4 % a u vzorků D a G dokonce 1 %. Vzorky B, C, E, F splňují gradaci 35/50 a vzorky D, G splňují gradaci 20/30. Vliv modifikované pojiva z R-materiálu se příliš neprojevil.

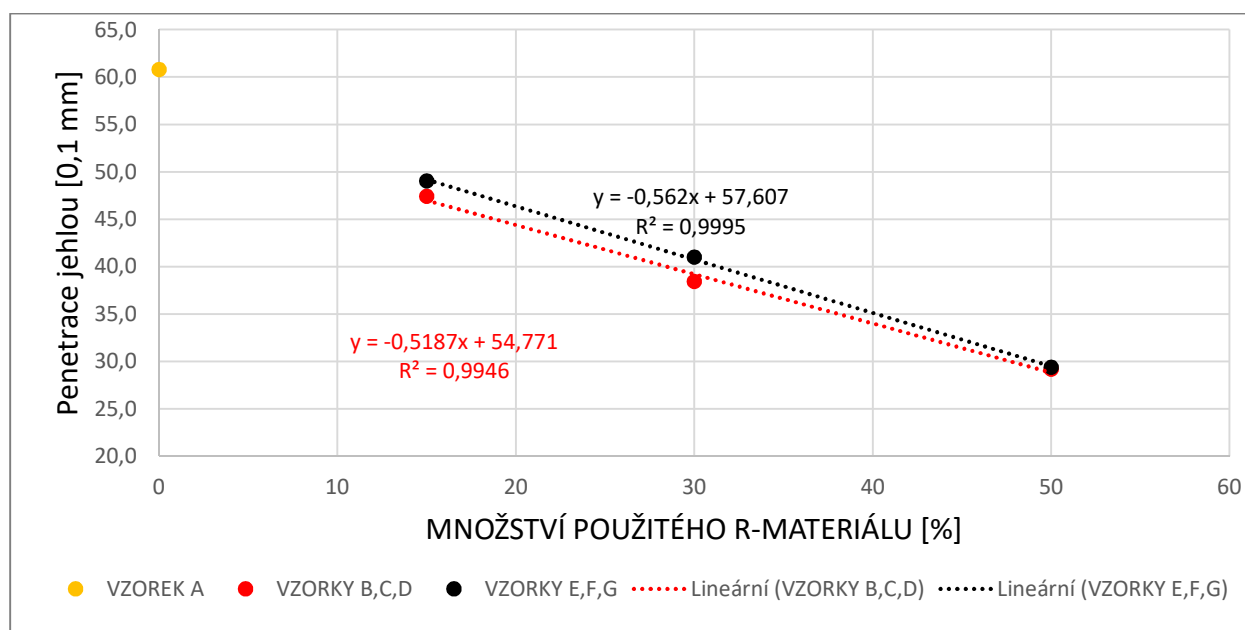
Tab. 9 – Výsledky penetrace jehlou

VZOREK [25 °C]	PENETRACE [0,1mm]			Ø[0,1mm]
A	60,8	60,9	60,7	60,8
B	46,9	46,9	48,5	47,4
C	40,5	37,2	37,6	38,4
D	29,4	28,9	29,2	29,2
E	49,5	49,4	48,2	49,0
F	41,3	42,0	39,7	41,0
G	30,9	29,2	28,1	29,4



Graf 2 – Výsledky penetrace jehlou

Z výsledků je patrné, že se zvýšeným procentem přidaného pojiva z R-materiálu se výrazně snižuje hloubka penetrace. Tato závislost je patrná na grafu č. 3. a je zde zjevná velmi silná závislost, odpovídá tomu velmi vysoký koeficient determinace jak u vzorků B, C, D, tak i u vzorků E, F, G. Koeficient determinace dosahuje hodnoty téměř rovné 1,0. Závislost snížení hloubky penetrace se zvyšujícím procentem požitého pojiva z R-materiálu je u vzorků B, C, D tak i u vzorků E, F, G velmi podobná.



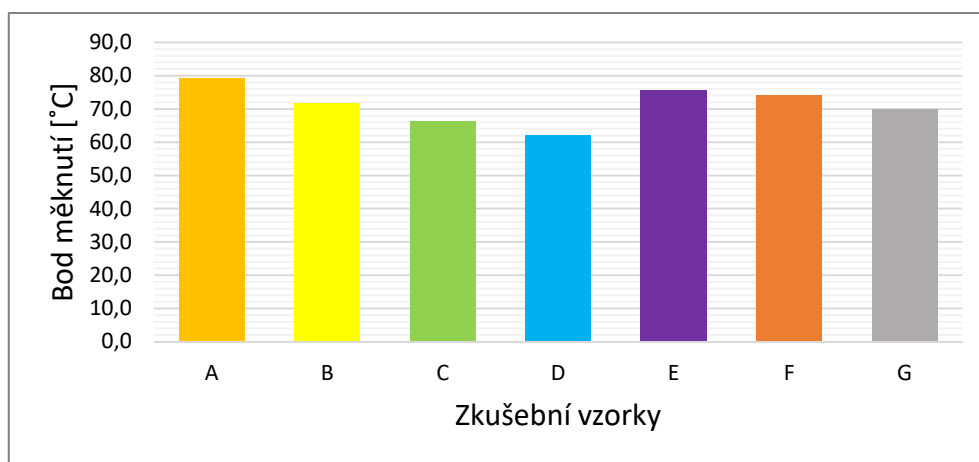
Graf 3 – Závislost hloubky penetrace na množství použitého pojiva z R-materiálu

6.2 BOD MĚKNUTÍ

Postup zkoušky je popsán v kapitole 4.5. Všechna pojiva byla podrobena dvěma měřením za předepsaných podmínek. Výsledky zkoušky bodu měknutí metodou kroužek a kulička jsou uvedeny v tab. č. 10 a porovnány v grafu č. 4. Vzorek A dosáhl teploty bodu měknutí 79,2 °C, tudíž překročil normou požadovanou minimální hodnotu o více než 40 % (≥ 55 °C). U této zkoušky se projevil vliv použití pojiva z R-materiálu, u kterého bylo použito pojivo modifikované. Vzorek B dosáhl o více než 5 % nižšího bodu měknutí než vzorek E a vzorky C a D dosáhly o více než 10 % nižšího bodu měknutí než vzorky F a G. Všechny s výjimkou pojiva D přesahují gradaci 65. Pojivo D splňuje gradaci 60. [36]

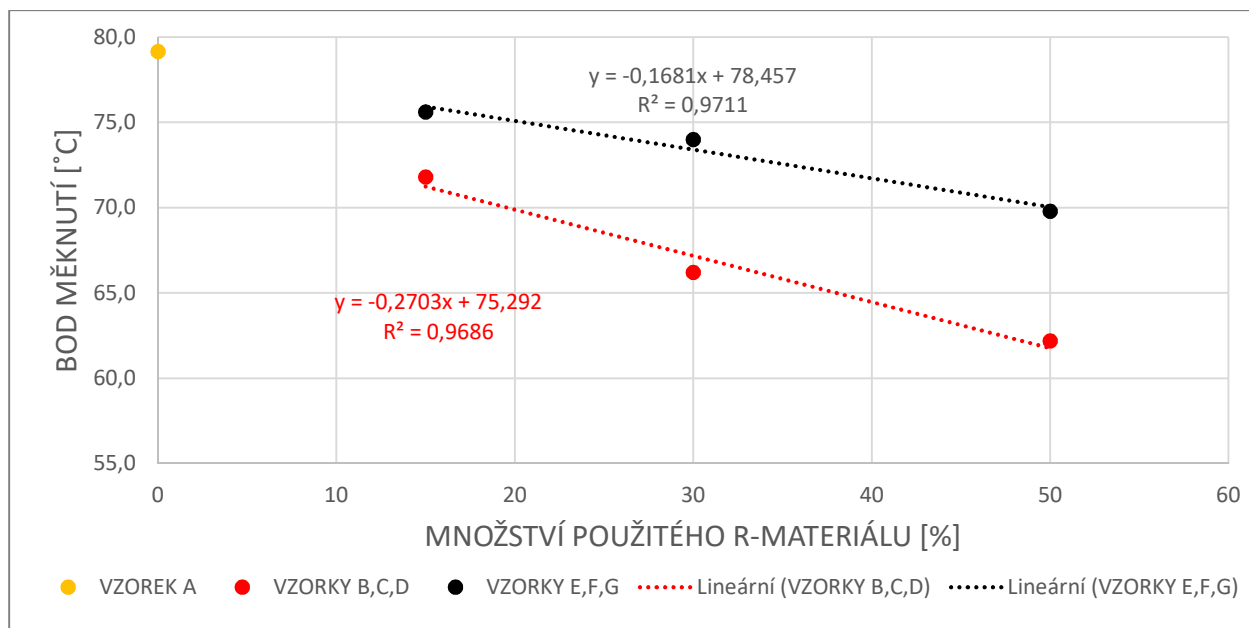
Tab. 10 – Výsledky bodu měknutí

VZOREK	BOD MĚKNUTÍ [°C]		Ø[°C]
A	79,0	79,3	79,2
B	72,1	71,5	71,8
C	66,2	65,9	66,2
D	62,3	61,9	62,2
E	75,1	75,9	75,6
F	73,7	74,1	74,0
G	69,6	69,8	69,8



Graf 4 – Výsledky bodu měknutí

Z výsledků je patrné, že se zvýšeným procentem přidaného pojiva z R-materiálu se snižuje bod měknutí. Tato závislost je patrná na grafu č. 5. a je zjevná velmi silná závislost, vypovídá tomu velmi vysoký koeficient determinace jak u vzorků B, C, D, tak i u vzorků E, F, G. Obě sady vzorků dosahují hodnoty přibližně 0,97. U vzorků B, C, D je snížení bodu měknutí v závislosti na množství přidaného pojiva z R-materiálu výraznější než u vzorků E, F, G.



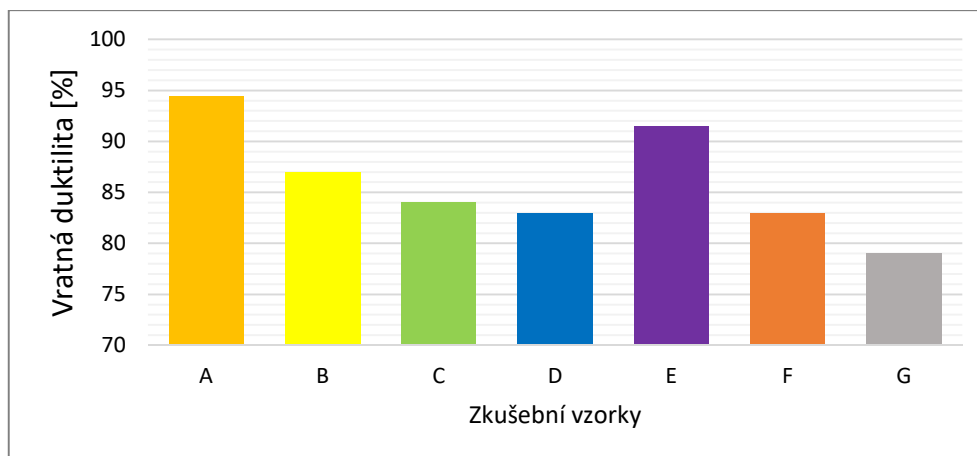
Graf 5 – Závislost bodu měknutí na množství použitého pojiva z R-materiálu

6.3 VRATNÁ DUKTILITA

Postup zkoušky je popsán v kapitole 4.6. Výsledky zkoušky vratné ductility jsou uvedeny v tab. č. 11 a porovnány v grafu č. 6. Vzorek A dosáhl 95 % vratné ductility, vzorek E dosáhl velmi podobného výsledku. Ostatní vzorky C a F a D a G dosáhly podobných hodnot. Vliv použití modifikovaného pojiva z R-materiálu se u této zkoušky výrazně neprojevil.

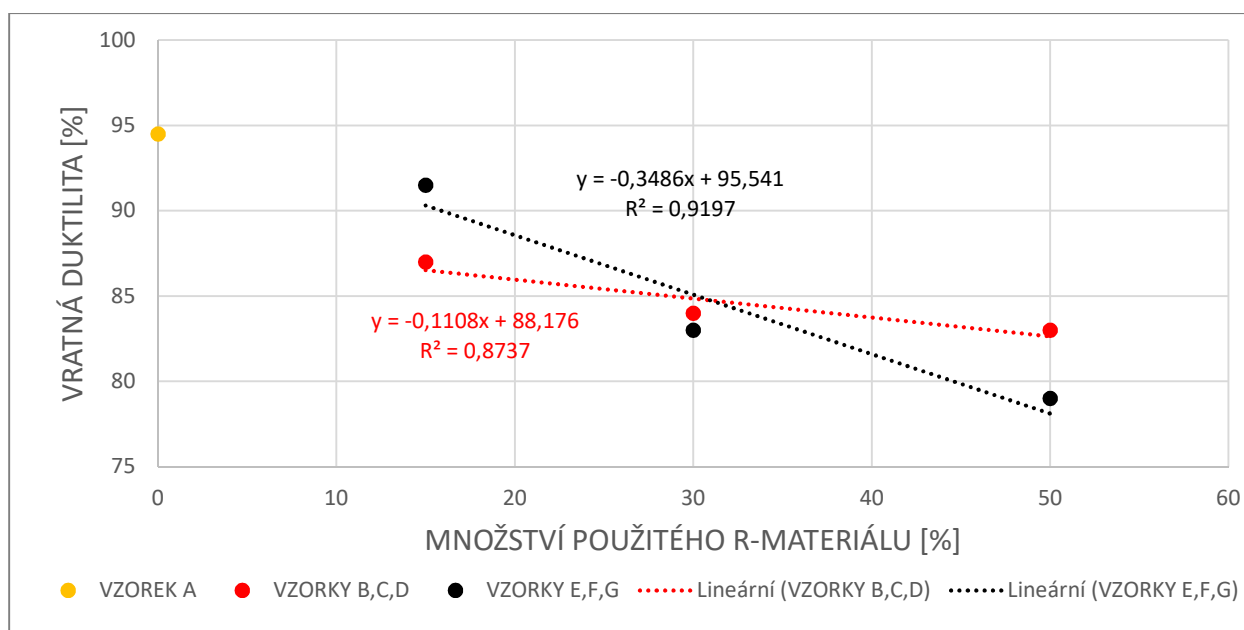
Tab. 11 – Výsledky vratné ductility

VZOREK [25 °C]	DÉLKA PROTAŽENÍ [mm]	VZDÁLENOST MEZI POLOVLÁKNY [mm]	VRATNÁ DUKTILITA [%]
A	200	189	95
B	200	174	87
C	200	168	84
D	200	166	83
E	200	183	92
F	200	166	83
G	200	158	79



Graf 6 – Výsledky vratné duktility

Závislost vratné duktility na množství použitého pojiva z R-materiálu je patrná na grafu č. 7. Závislost je nepatrně vyšší u vzorků E, F, G oproti vzorkům B, C, D. Vzorky E, F, G mají výraznější průběh ve srovnání se vzorky B, C, D.



Graf 7 – Závislost vratné duktility na množství použitého pojiva z R-materiálu

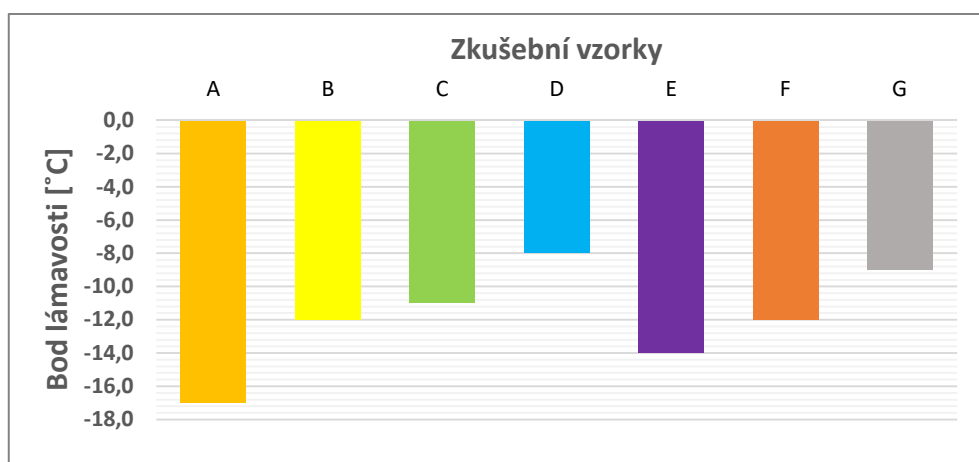
6.4 BOD LÁMAVOSTI

Postup zkoušky je popsán v kapitole 4.7. Výsledky zkoušky bodu lámavosti jsou uvedeny v tab. č. 12 a porovnány v grafu č. 8. Všechna pojiva byla podrobena dvěma měřeními. Vzorek A dosáhl teploty bodu lámavosti -17°C , ostatní vzorky s pojivem z R-materiálu dosáhly výrazně vyšších teplot bodu

lámavosti. Vzorek G dosáhl vyšší teploty bodu lámavosti ve srovnání se vzorkem A přibližně o 47 % a vzorek D dokonce o 53 %. Rozdíl teplot bodu lámavosti mezi vzorky B a E je 15 % a mezi vzorky C, D a F, G se rozdíl pohybuje okolo 10 %. Vzorky B a F dosáhly stejné teploty bodu lámavosti, přičemž u vzorku B je použito 15 % nemodifikovaného pojiva z R-materiálu a u vzorku F je použito 30 % modifikovaného pojiva z R-materiálu. U této zkoušky se projevuje vliv použití modifikovaného asfaltového pojiva z R-materiálu.

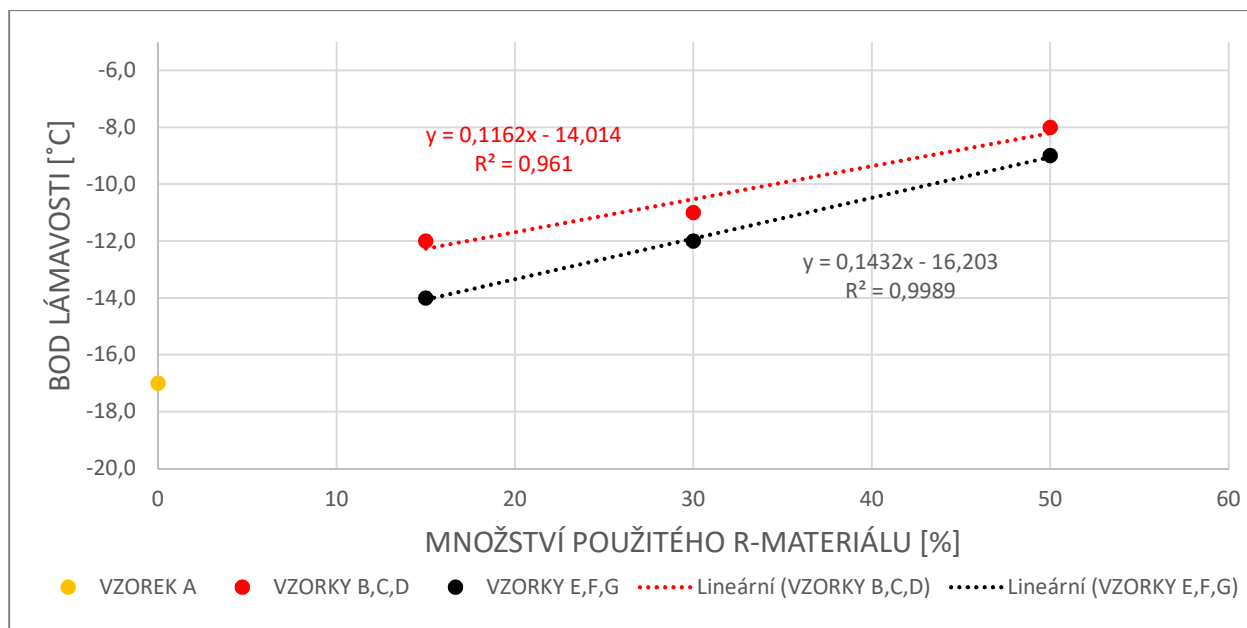
Tab. 12 – Výsledky bodu lámavosti

VZOREK	ZAČÁTEK MĚŘENÍ [°C]	BOD LÁMAVOSTI [°C]		Ø[°C]
A	-6	-17,0	-17,0	-17,0
B	-3	-12,0	-12,0	-12,0
C	-1	-11,0	-11,0	-11,0
D	3	-8,0	-8,0	-8,0
E	-3	-13,0	-14,0	-14,0
F	0	-12,0	-12,0	-12,0
G	1	-9,0	-8,0	-9,0



Graf 8 – Výsledky bodu lámavosti

Z výsledků je patrné, že se zvýšeným procentem přidaného pojiva z R-materiálu se výrazně zvyšuje bod lámavosti. Tato závislost je patrná na grafu č. 10. A je zde zjevná velmi silná závislost, odpovídá tomu velmi vysoký koeficient determinace jak u vzorků B, C, D, tak i u vzorků E, F, G. U vzorků E, F, G koeficient determinace nabývá hodnoty téměř 1,0. Závislost zvýšení bodu lámavosti se zvyšujícím procentem požitého pojiva z R-materiálu je u vzorků B, C, D a E, F, G je velmi podobná.



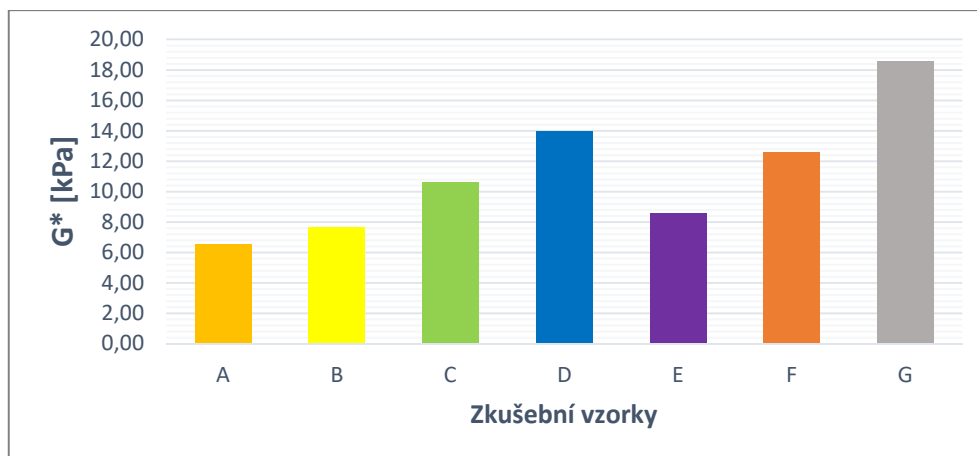
Graf 9 – Závislost bodu lámavosti na množství použitého pojiva z R-materiálu

6.5 DSR

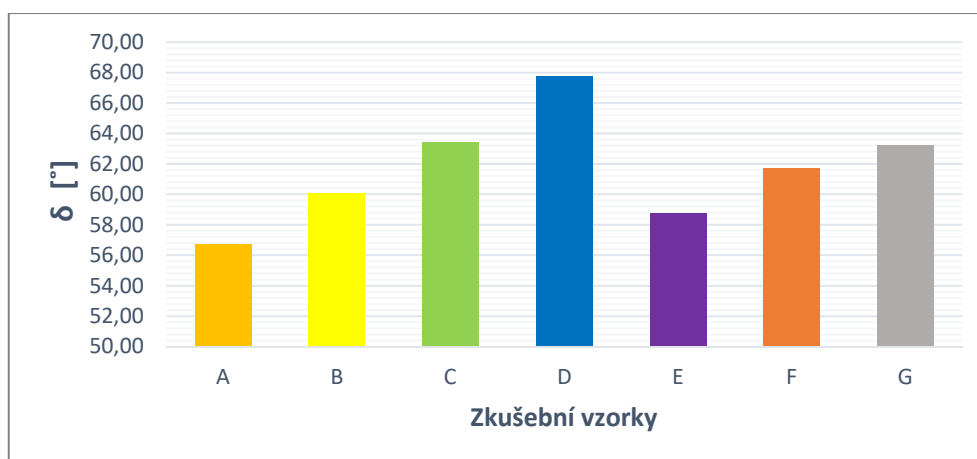
Postup zkoušky je popsán v kapitole 4.8. Výsledky zkoušky DSR jsou uvedeny v tab. č. 13 a porovnány v grafu č. 10. Uvedené hodnoty jsou zobrazeny při frekvenci 1,585 Hz, tato hodnota odpovídá 10 rad/s a při teplotě 60 °C. Každý ze vzorků byl podroben jednomu měření. Z výsledků je patrné, že se zvyšováním množství R-materiálu se zvyšuje jak komplexní modul, tak i fázový úhel. Dále je zjevné, že použití modifikovaného pojiva z R-materiálu zvyšuje komplexní modul a naopak snižuje fázový uhel oproti nemodifikovanému pojiva z R-materiálu. Hodnoty komplexního modulu nabývají značných rozdílů u jednotlivých vzorků. Vzorky D a G dosáhly o přibližně 115 % respektive 185 % vyššího komplexního modulu než vzorek A.

Tab. 13 – Výsledky zkoušky DSR

VZOREK [60 °C]	G* [kPa]	δ [°]
A	6,52	56,72
B	7,66	60,08
C	10,60	63,45
D	14,00	67,79
E	8,59	58,79
F	12,60	61,73
G	18,60	63,26

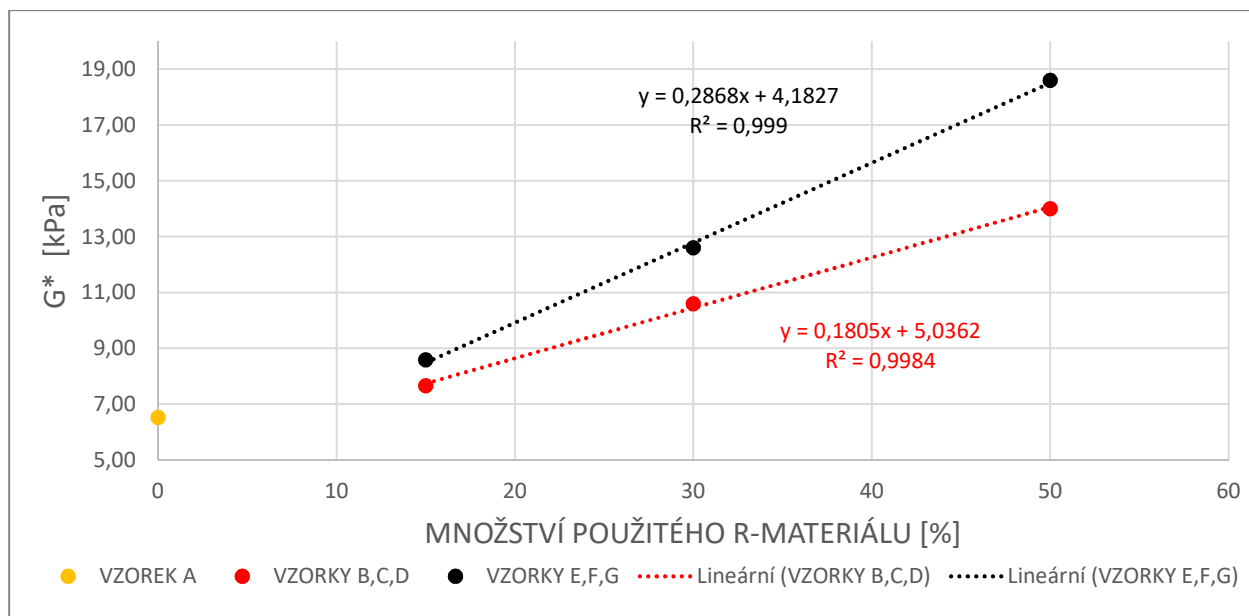


Graf 10 – Výsledky zkoušky DSR – komplexní modul G^*

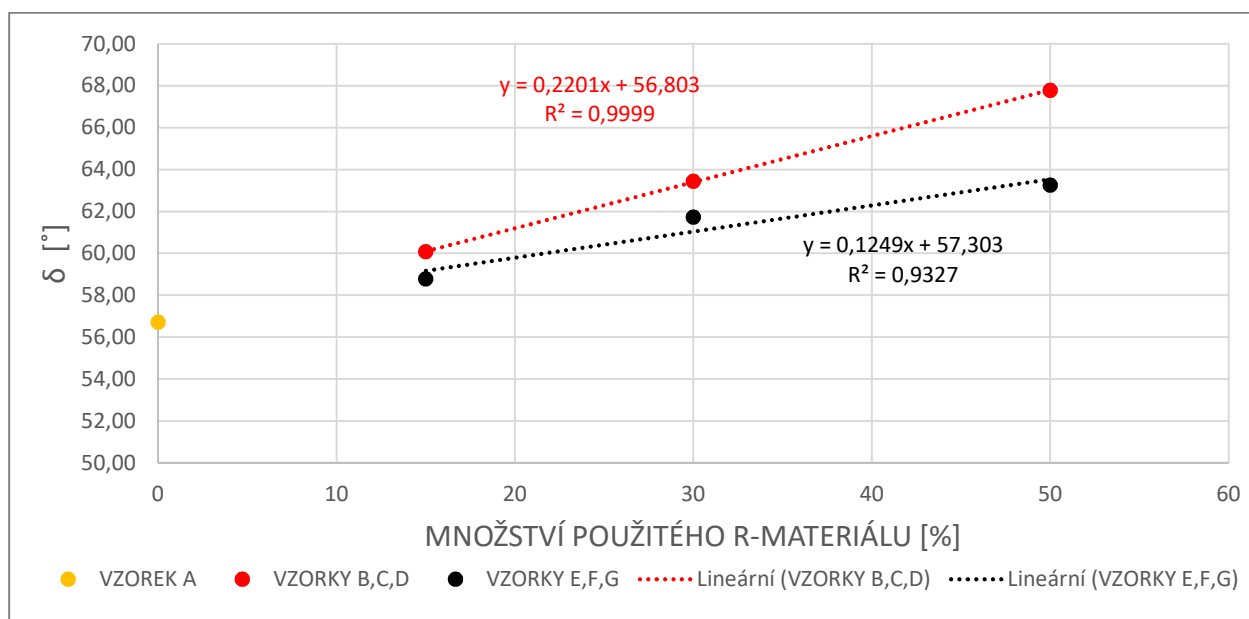


Graf 11 – Výsledky zkoušky DSR – fázový úhel δ

Závislost komplexního modulu na množství použitého R-materiálu je patrná na grafech č. 12-13. Podle velmi vysokého koeficientu determinace se jedná o velmi silnou závislost, jelikož tato hodnota jak u vzorků B, C, D, tak i u vzorků E, F, G se rovná přibližně 1,0. U vzorků B, C, D je zvýšení komplexního modulu v závislosti na množství přidaného pojiva z R-materiálu výraznější než u vzorků E, F, G. Závislost fázového úhlu na množství použitého R-materiálu je patrná na grafu č. 13. U vzorků B, C, D dosahuje koeficient determinace hodnoty téměř rovné 1,0, u vzorků E, F, G je tato hodnota nižší a přibližně se rovná hodnotě 0,93. Závislost zvýšení fázového modulu se zvyšujícím procentem požitého pojiva z R-materiálu je u vzorků B, C, D nepatrně výraznější než u vzorků E, F, G.



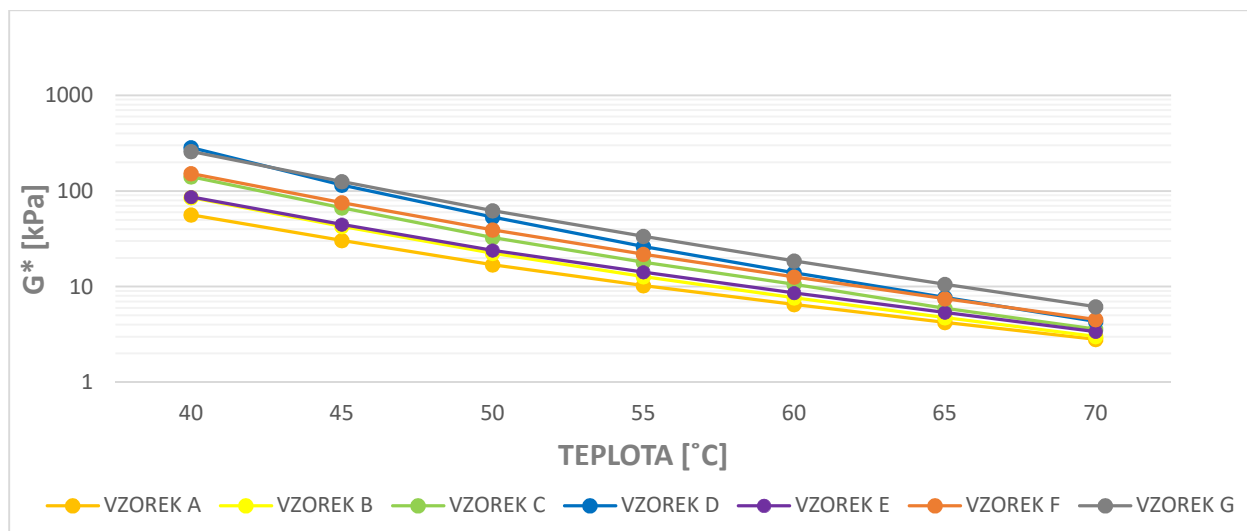
Graf 12 – Závislost komplexního modulu na množství použitého pojiva z R-materiálu



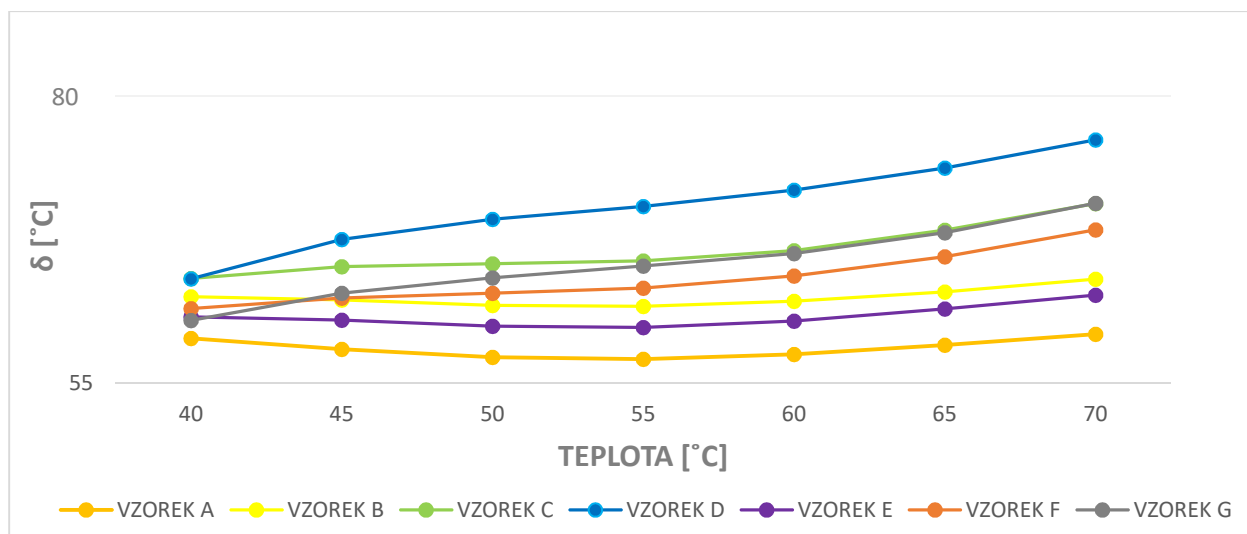
Graf 13 – Závislost fázového úhlu na množství použitého pojiva z R-materiálu

Dalším způsobem, jak vyhodnotit data získané ze zkoušky DSR je využíváno isochron a isoterm. Isochrony jsou křivky, které vyjadřují chování pojiva při konstantní frekvenci. Vyhodnocení proběhlo při frekvenci 1,585 Hz a je znázorněno na grafu č. 14 pro komplexní modul a na grafu č. 15 pro fázový úhel. Na grafu č. 14 je evidentní, že nejnižších hodnot komplexního modulu dosáhl vzorek A, naopak nevyšších hodnot dosáhl vzorek G. Dále je patrné, že se zvyšující se teplotou mají jednotlivé vzorky hodnotu

komplexního modulu více podobnou, než u nižších teplot. Na grafu č. 15 je patrné, že nejnižších hodnot dosáhl vzorek A, nejvyšších hodnot dosáhl vzorek D. Se zvyšující se teplotou se hodnoty fázového úhlu jednotlivých vzorků více rozcházejí.

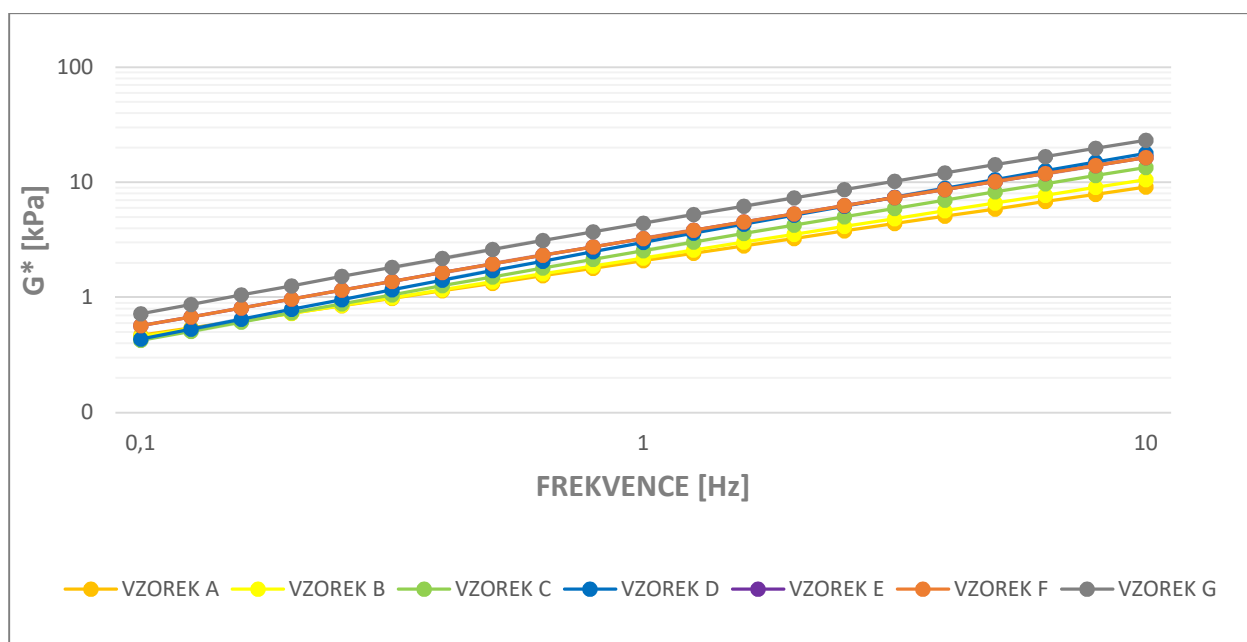


Graf 14 – Izochrony při frekvenci 1,585 Hz (G^*)

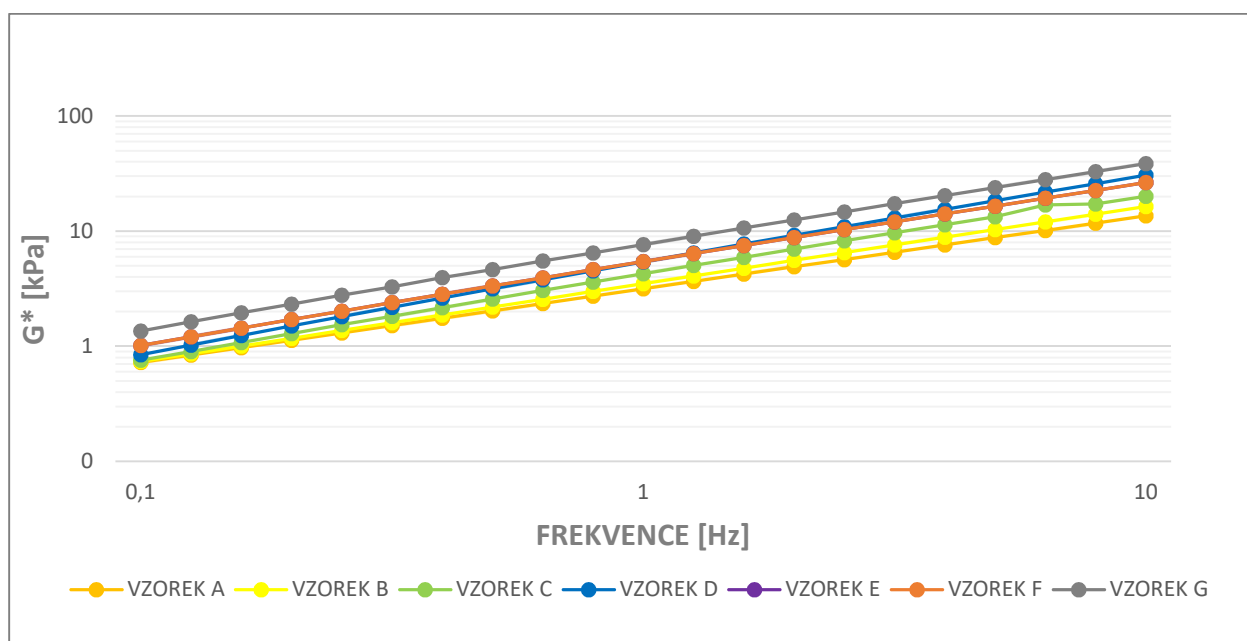


Graf 15 – Izochrony při frekvenci 1,585 Hz (δ)

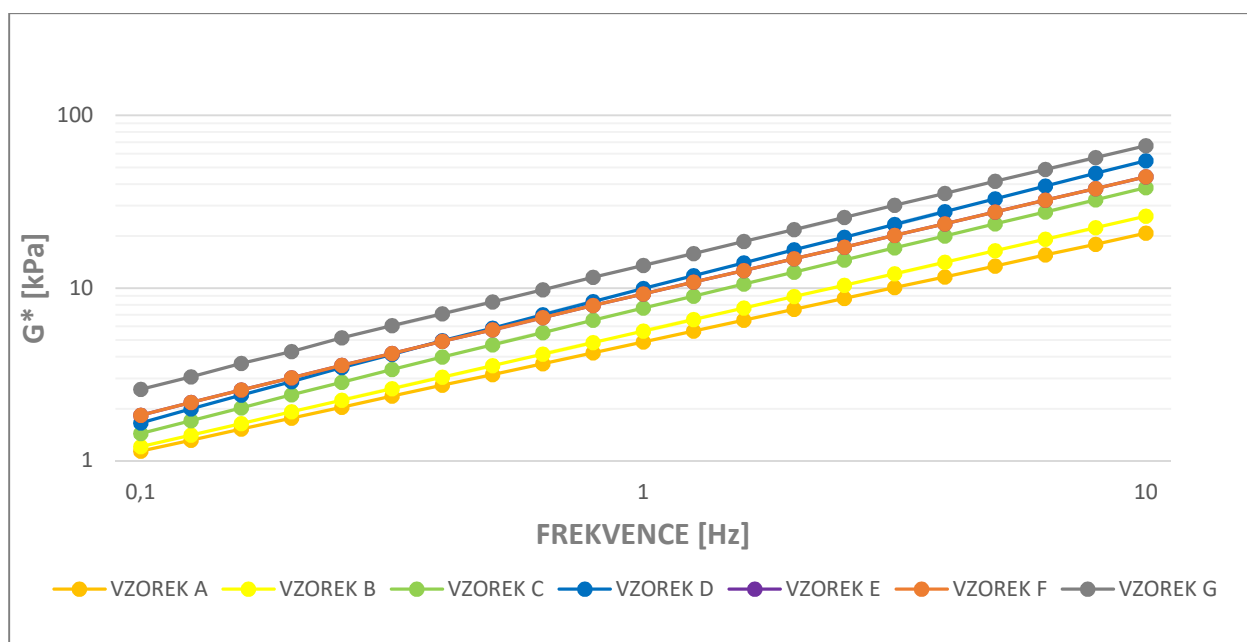
Izotermy jsou křivky vyjadřující chování pojiva při konstantní teplotě. Vztah s komplexním modulem je vidět na grafech č. 16-29. Nejvyšších hodnot komplexního modulu dosáhl vzorek G naopak nejmenších vzorek A. Se snižující se teplotou mají vzorky mezi sebou menší rozsah.



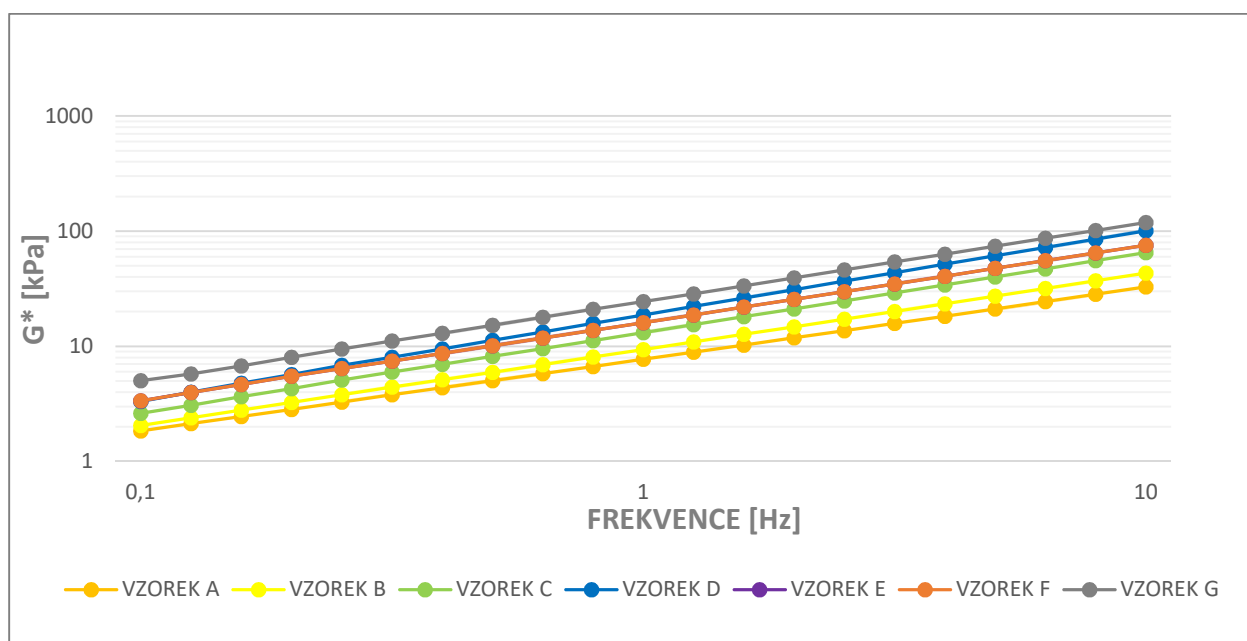
Graf 16 – Izotermy při 70 °C (G^*)



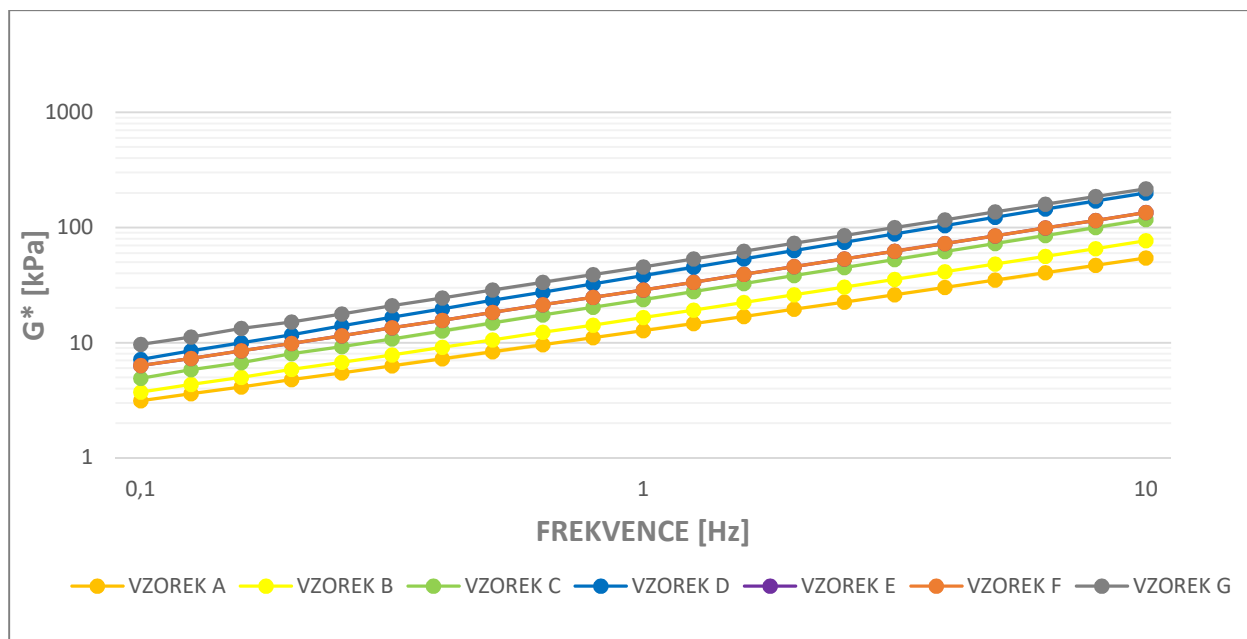
Graf 17 – Izotermy při 65 °C (G^*)



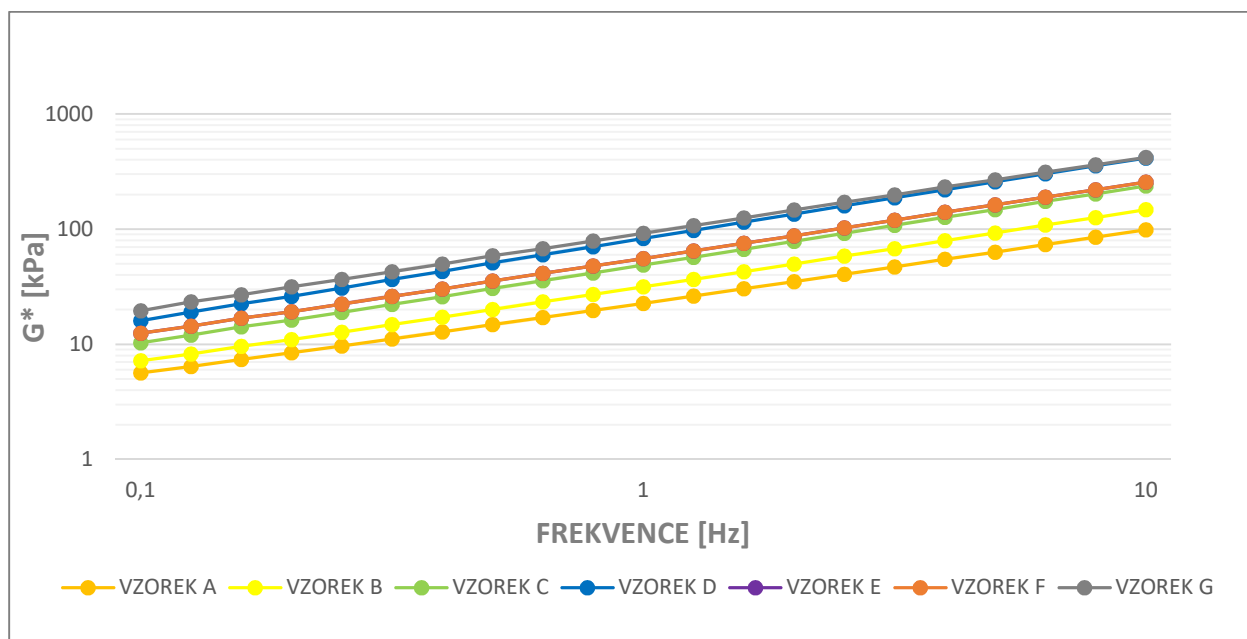
Graf 18 – Izotermy při 60 °C (G^*)



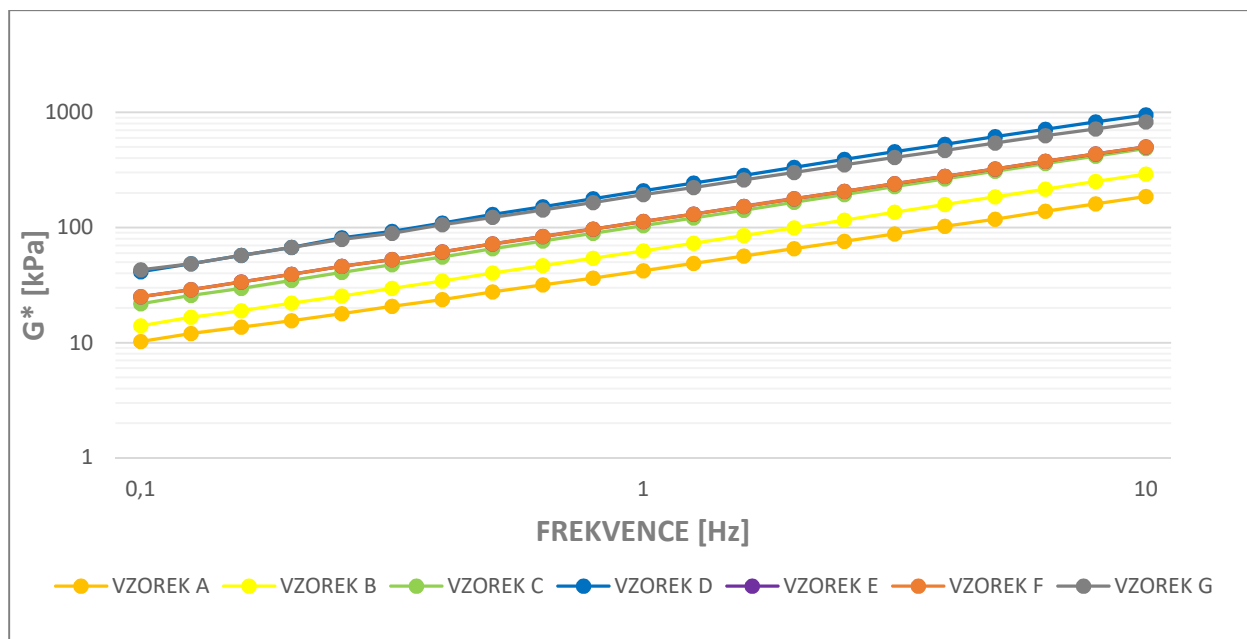
Graf 19 – Izotermy při 55 °C (G^*)



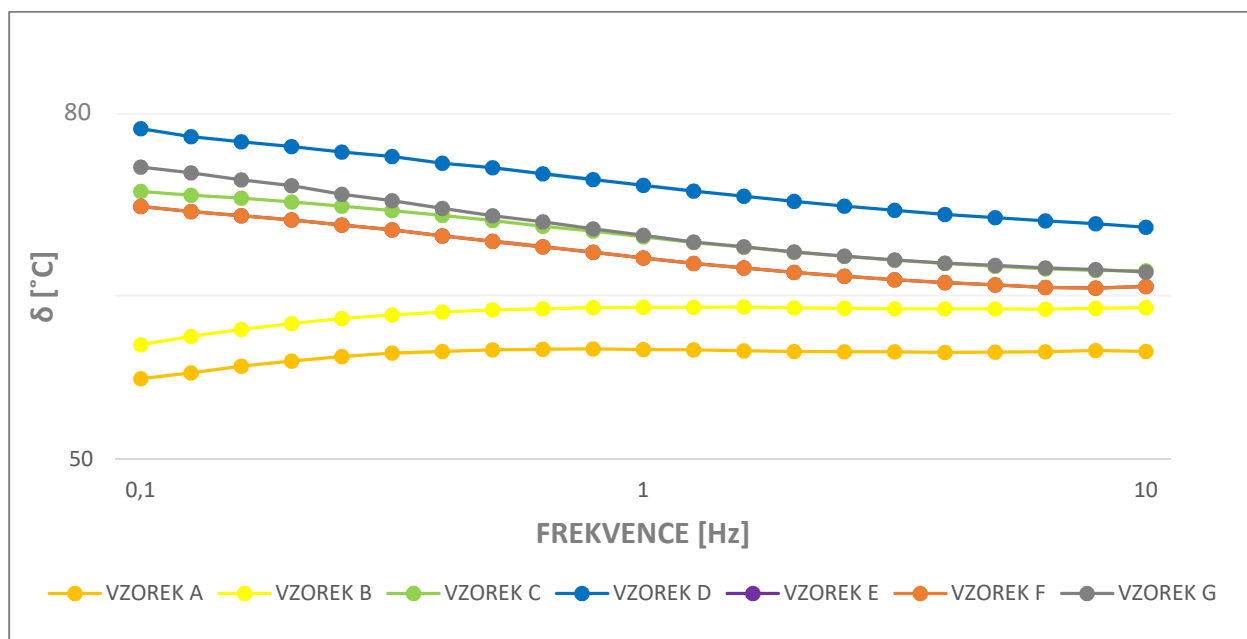
Graf 20 – Izotermy při 50 °C (G^*)



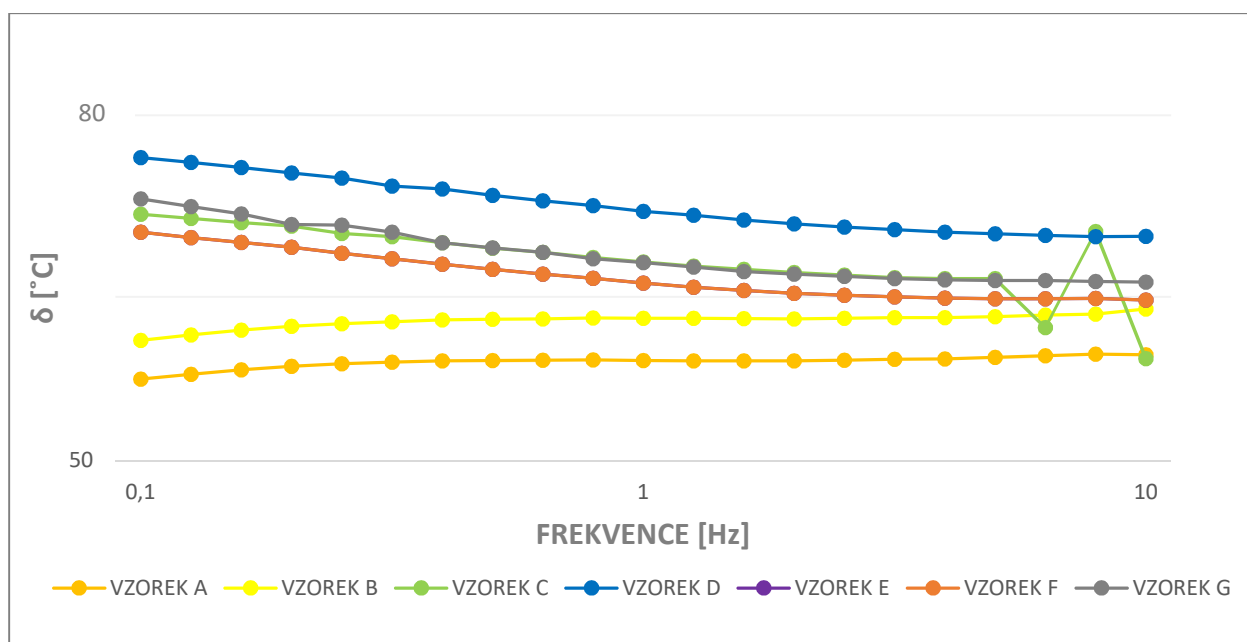
Graf 21 – Izotermy při 45 °C (G^*)



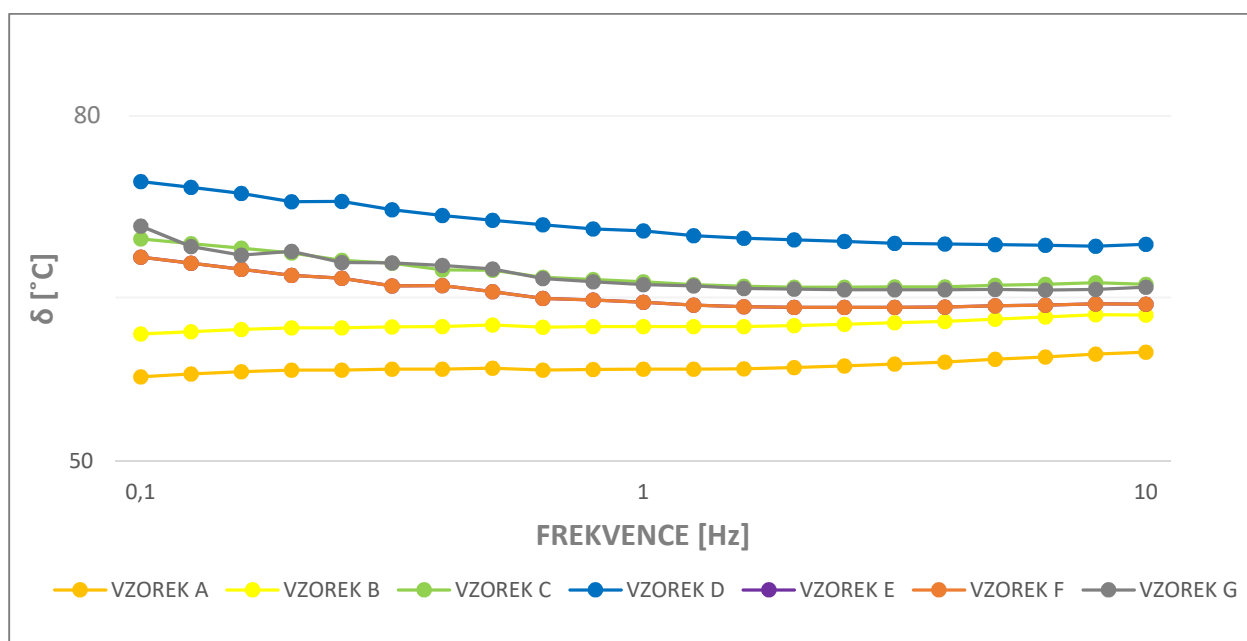
Graf 22 – Izotermy při 40 °C (G^*)



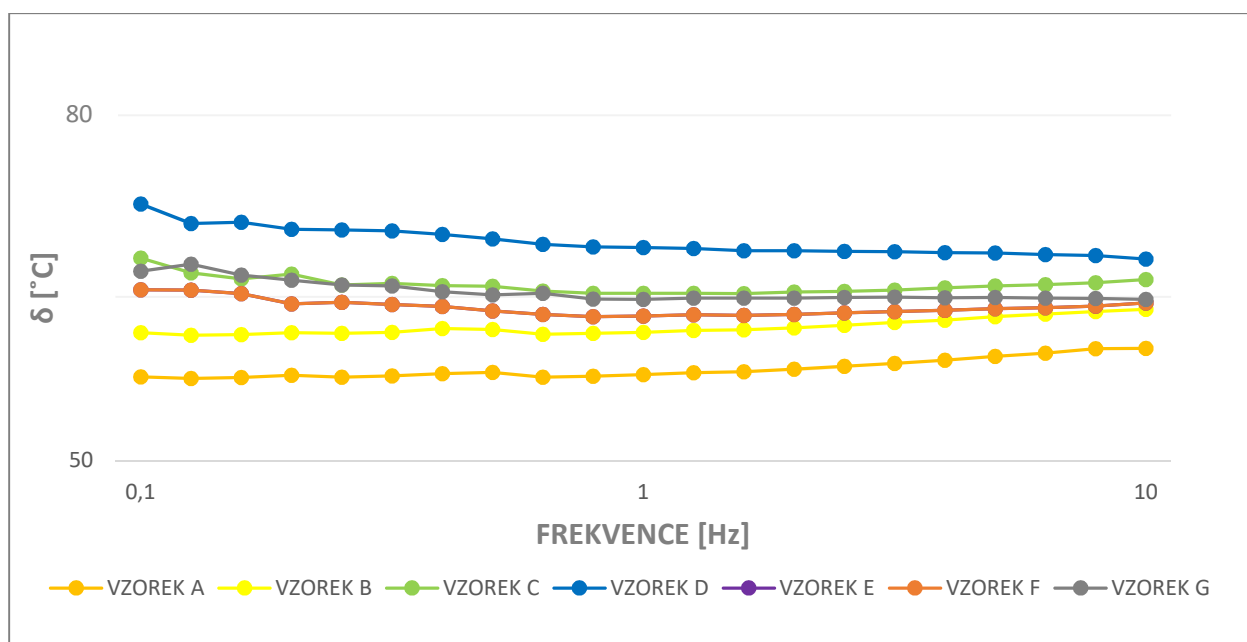
Graf 23 – Izotermy při 70 °C (δ)



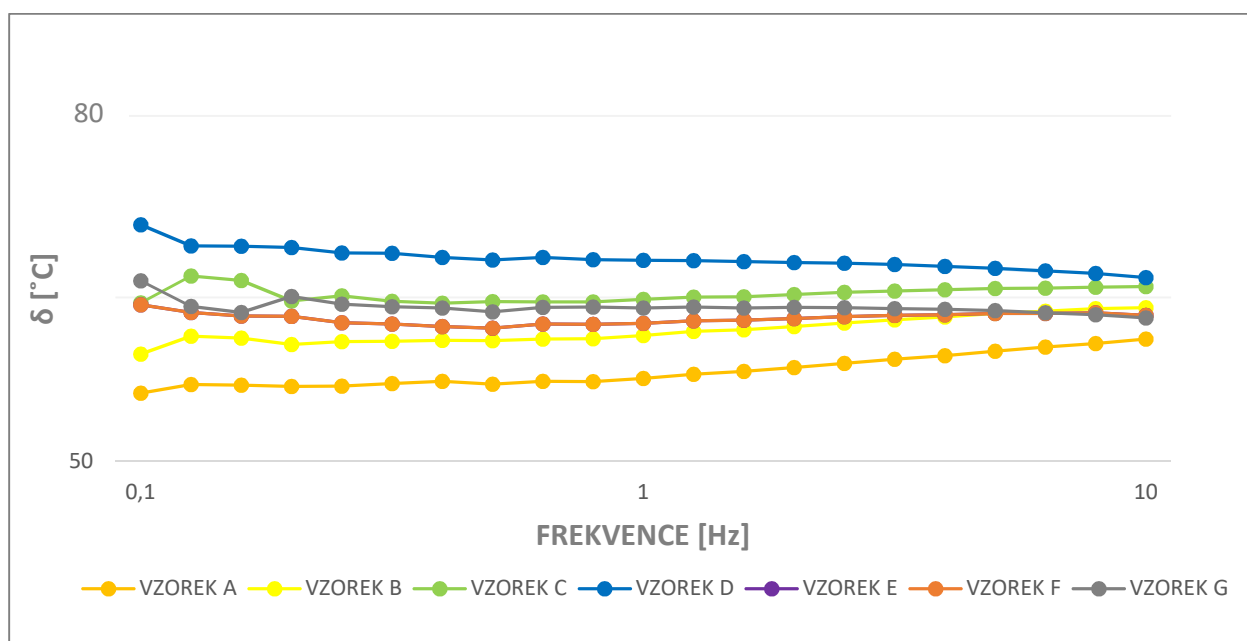
Graf 24 – Izotermy při 65 °C (δ)



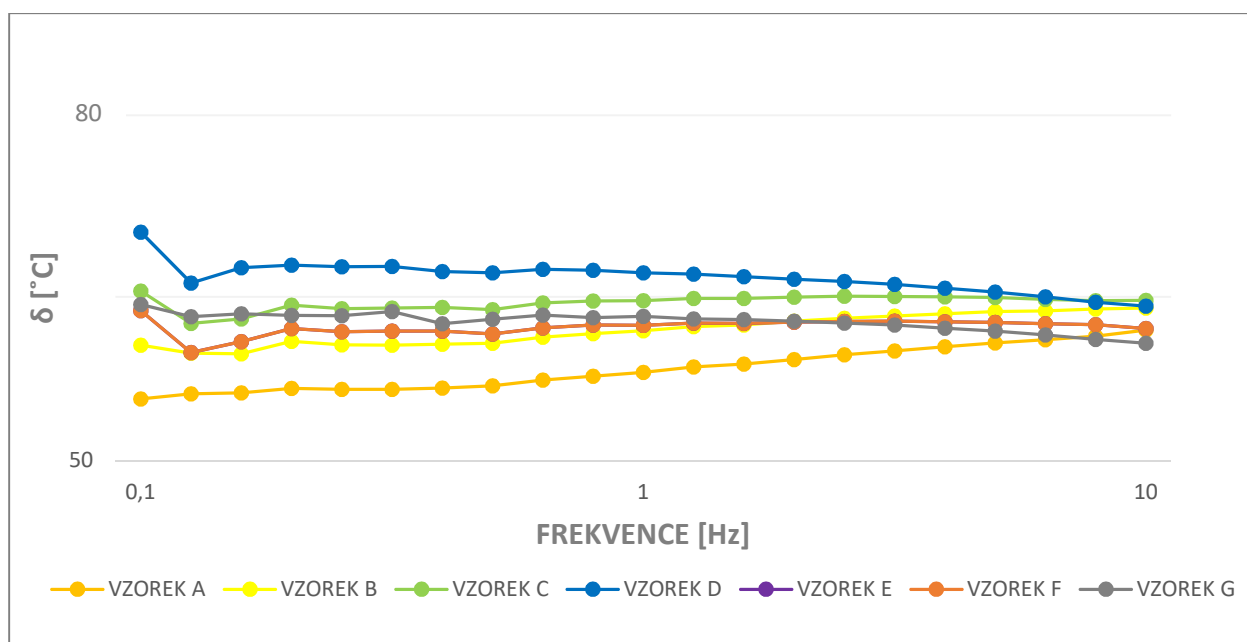
Graf 25 – Izotermy při 60 °C (δ)



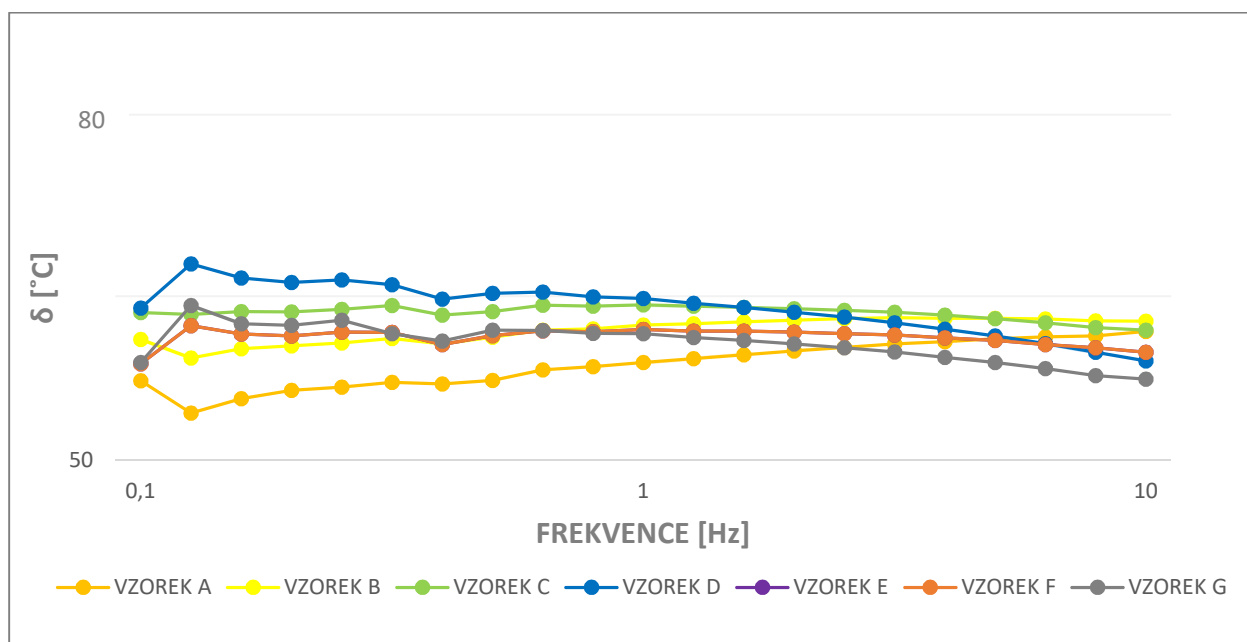
Graf 26 – Izotermy při 65 °C (δ)



Graf 27 – Izotermy při 50 °C (δ)

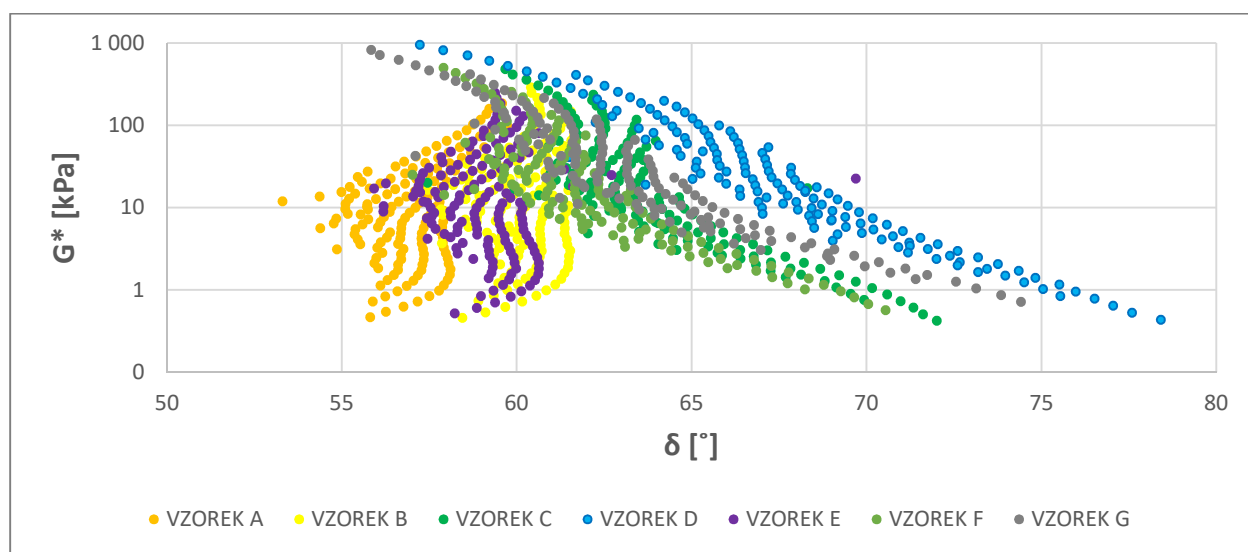


Graf 28 – Izotermy při 45 °C (δ)

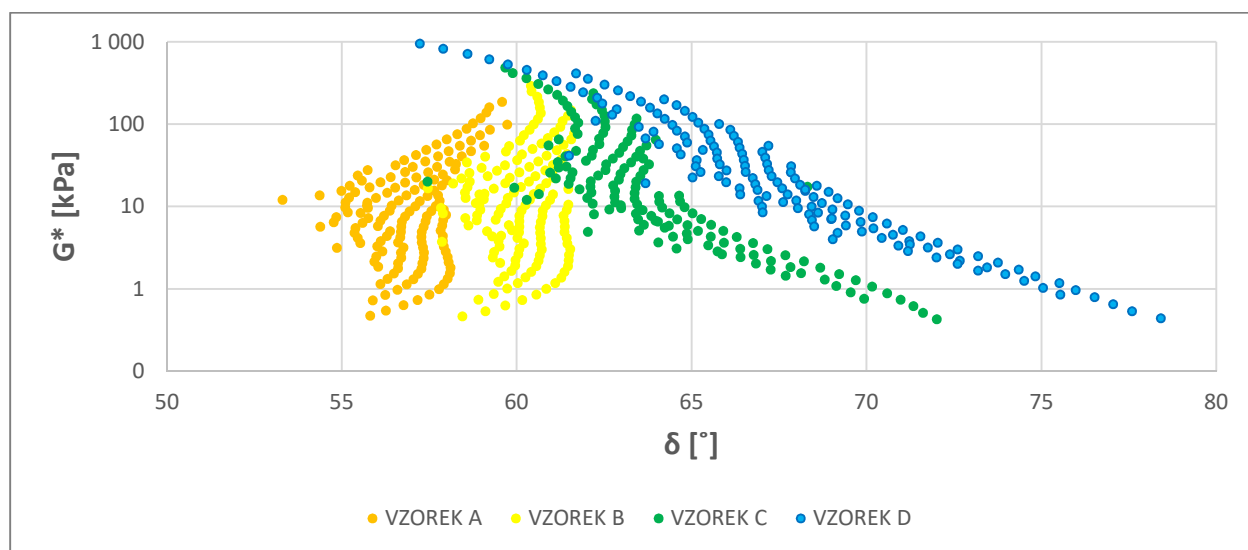


Graf 29 – Izotermy při 40 °C (δ)

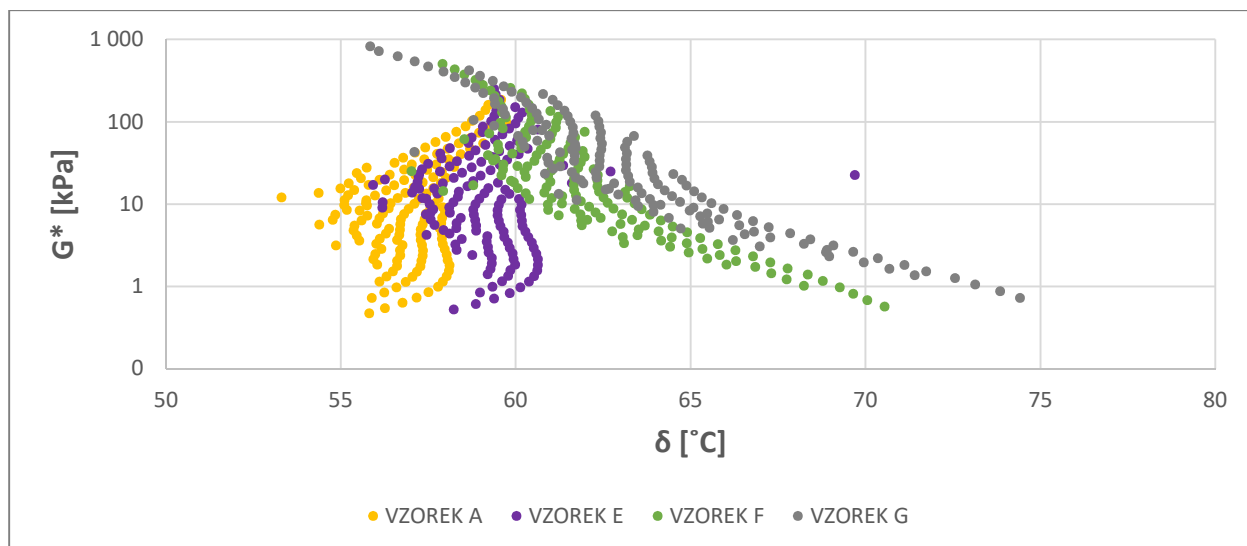
Dalším způsobem hodnocení asfaltových pojiv je možné provést podle tzv. Blackových diagramů. Blackův diagram udává závislost mezi komplexním modulem a fázovým úhlem. Je vyobrazen na grafu č. 30 pro veškerá pojiva a následně rozdělen do grafu č. 31 a č. 32 podle použití modifikovaného nebo nemodifikovaného pojiva z R-materiálu pro větší přehlednost. Vzorky C, D, F, G dosahují vyššího rozsahu fázového úhlu než vzorky A, B, E. Vzorky A, B, E se nacházejí v nižších fázových úhlech, to znamená, že jsou více plastické. Dále vzorky A, B, E jsou uspořádány do většího shluku bodů, kdežto vzorky C, D, F, G mají lineárnější průběh. Dá se tvrdit, že se s nárůstem množství pojiva z R-materiálu se mračno bodů posouvá více doprava. Tedy pojivo v levé dolní části je nejvíce plastické a nejvíce odolává trvalým deformacím. Směrem nahoru se pojivo stává více křehké.



Graf 30 – Blackův diagram



Graf 31 – Blackův diagram vzorky B, C, D



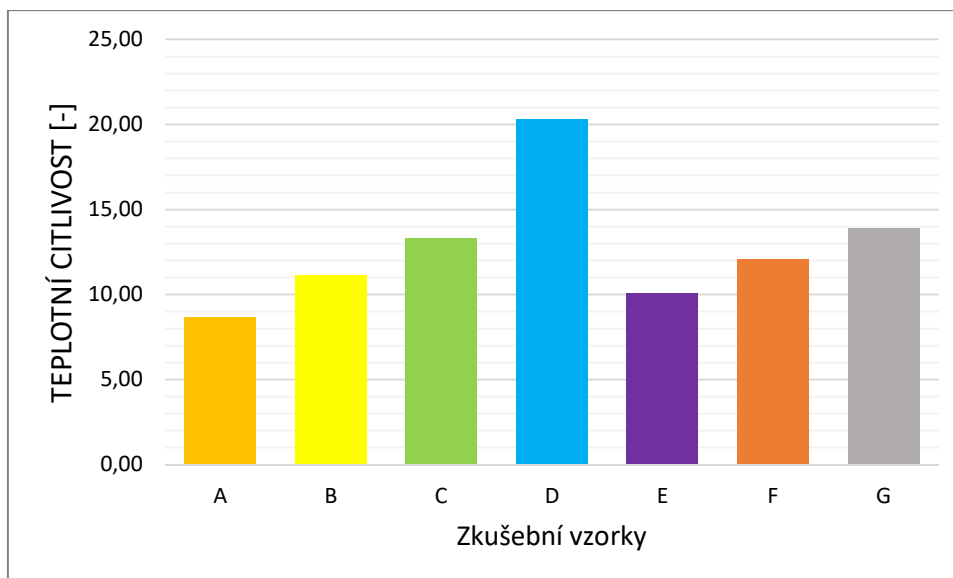
Graf 32 – Blackův diagram vzorky E, F, G

6.6 TEPLOTNÍ CITLIVOST

Teplotní citlivost vyjadřuje snahu změny vlastností v závislosti na změně teploty. Nabývá různých hodnot, přičemž při hodnotě rovné 1 má pojivo nejmenší reakci na změnu teploty, se zvyšující se hodnotou teplotní citlivosti se tato reakce zvyšuje. Výsledky teplotní citlivosti jsou uvedeny v tab. č. 14 a porovnány v grafu č. 31. Z výsledku je patrné, že nejlepší teplotní citlivost má vzorek A a je zřejmé, že se zvyšujícím se procentem pojiva z R-materiálu se teplotní citlivost zhoršuje.

Tab. 14 – Teplotní citlivost

VZOREK	G* [kPa] při 40 °C	G* [kPa] při 70 °C	TEPLOTNÍ CITLIVOST $G^*(40^\circ\text{C})/G^*(70^\circ\text{C})$
A	56,44	6,52	8,66
B	85,20	7,66	11,12
C	141,32	10,60	13,33
D	284,53	14,00	20,32
E	86,77	8,59	10,10
F	152,47	12,60	12,10
G	258,74	18,60	13,91



Graf 33 – Teplotní citlivost

6.7 KORELACE VÝSLEDKŮ

Korelace výsledků je znázorněna v tab. č. 15 a 16, kde jsou veškeré vztahy vyhodnoceny koeficientem determinace. Tab. č. 15 odpovídá vzorkům, kde bylo použito nemodifikované asfaltové pojivo z R-materiálu, tedy vzorky B, C, D. Tab. č. 16 odpovídá vzorkům, kde bylo použito modifikované asfaltové pojivo z R-materiálu, tedy vzorky E, F, G. Jednotlivé vztahy jsou graficky znázorněny v příloze č. 2. Z obou tabulek je evidentní velmi silný vztah mezi jednotlivými zkouškami.

Tab. 15 – Korelace výsledku-Vzorky B, C, D

	PENETRACE	BOD MĚKNUTÍ	VRATNÁ DUKTILITA	BOD LÁMAVOSTI	KOMPLEXNÍ MODUL	FÁZOVÝ ÚHEL
PENETRACE	1	0,9963	0,9185	0,9275	0,9989	0,9959
BOD MĚKNUTÍ	0,9963	1	0,9661	0,8654	0,9811	0,9719
VRATNÁ DUKTILITA	0,9185	0,9661	1	0,716	0,8993	0,8801
BOD LÁMAVOSTI	0,9275	0,8654	0,716	1	0,9439	0,9571
KOMPLEXNÍ MODUL	0,9989	0,9811	0,8993	0,9439	1	0,9991
FÁZOVÝ ÚHEL	0,9959	0,9719	0,8801	0,9871	0,9991	1

Tab. 16 – Korelace výsledku-Vzorky E, F, G

	PENETRACE	BOD MĚKNUTÍ	VRATNÁ DUKTILITA	BOD LÁMAVOSTI	KOMPLEXNÍ MODUL	FÁZOVÝ ÚHEL
PENETRACE	1	0,978	0,9073	0,999	0,999	0,9211
BOD MĚKNUTÍ	0,978	1	0,8044	0,981	0,9808	0,8236
VRATNÁ DUKTILITA	0,9073	0,8044	1	0,9011	0,9015	0,9994
BOD LÁMAVOSTI	0,999	0,981	0,9011	1	1	0,9154
KOMPLEXNÍ MODUL	0,999	0,9808	0,9015	1	1	0,9158
FÁZOVÝ ÚHEL	0,9211	0,8236	0,9994	0,9154	0,9158	1

7 ZÁVĚR

Hlavním cílem diplomové práce bylo zjištění možnosti mísení pojiv typu PMB RC s pojivem z R-materiálu. Zkoušky byly provedeny na 7 vzorcích lišících se množstvím a druhem přidávaného pojiva z R-materiálu:

- A. Asfaltové pojivo PmB 45/80 RC s 0 % znovuzískaného pojiva z R-materiálu,
- B. Asfaltové pojivo PmB 45/80 RC s 15 % znovuzískaného pojiva R-materiálu s nemodifikovaným pojivem,
- C. Asfaltové pojivo PmB 45/80 RC s 30 % znovuzískaného pojiva R-materiálu s nemodifikovaným pojivem,
- D. Asfaltové pojivo PmB 45/80 RC s 50 % znovuzískaného pojiva R-materiálu s nemodifikovaným pojivem,
- E. Asfaltové pojivo PmB 45/80 RC s 15 % znovuzískaného pojiva R-materiálu s modifikovaným pojivem,
- F. Asfaltové pojivo PmB 45/80 RC s 30 % znovuzískaného pojiva R-materiálu s modifikovaným pojivem,
- G. Asfaltové pojivo PmB 45/80 RC s 50 % znovuzískaného pojiva R-materiálu s modifikovaným pojivem.

Naměřené hodnoty jsou přehledně shrnuty v tab. č. 17. Z tabulky vyplývá, že nejlepších výsledků dosáhl vzorek A, u kterého nebyl ovšem žádný podíl přidávaného pojiva z R-materiálu. Je evidentní, že se zvyšováním podílu pojiva z R-materiálu se výsledky jednotlivých zkoušek zhoršují, vyjímaje zkoušky vrtané duktility. Dále je patrné, že vzorky, u kterých bylo použito modifikované pojivo z R-materiálu, dosahovaly lepších výsledků než vzorky, u kterých bylo použito nemodifikované pojivo z R-materiálu. Dále bylo prokázáno, že jednotlivé zkoušky mezi sebou úzce souvisejí a mají podle koeficientu determinace převážně velmi silný vztah.

Tab. 17 – Výsledky měření

VZOREK	PENETRACE [0,1mm]	BOD MĚKNUTÍ [°C]	VRATNÁ DUKTILITA [%]	BOD LÁMAVOSTI [°C]	G* [kPa]	δ [°]	TEPLOTNÍ CITLIVOST [-]
A	60,8	79,2	95	-17,0	6,52	56,72	8,66
B	47,4	71,8	87	-12,0	7,66	60,08	11,12
C	38,4	66,2	84	-11,0	10,60	63,45	13,33
D	29,2	62,2	83	-8,0	14,00	67,79	20,32
E	49,0	75,6	92	-14,0	8,59	58,79	10,10
F	41,0	74,0	83	-12,0	12,60	61,73	12,10
G	29,4	69,8	79	-9,0	18,60	63,26	13,91

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Bc. Tereza Šindelářová Využití rejuvenátorů v asfaltových směsích s R-materiálem. Brno, 2013. 186 s. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra silničních staveb. Vedoucí práce Ing. Petr Mondschein, Ph.D.
- [2] VARAUS, Michal. Pozemní komunikace II: Modul 3, [BM02-M03]. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2005, 13 s. : il.
- [3] Michaela Venclíková Modifikovaná asfaltová pojiva. Brno, 2016. 71 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
- [4] ZAJÍČEK, Jan. Technologie stavby vozovek. Praha: ČKAIT, 2014. ISBN 978-80- 87438-59-6.
- [5] SVOBODA, Luboš. Stavební hmoty. 4. Praha, 2018. ISBN 978-80-260-4972-2.
- [6] PO HLADINĚ JEZERA PITCH LAKE SE MŮŽETE PROJÍT. OPRAVDU. NENÍ V NĚM TOTIŽ VODA, ALE ASFALT. NATIONAL GEOGRAPHIC ČESKO: ČLÁNKY [online]. PRAHA: VLTAVA LABE MEDIA, 2013, 26.3.2013 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://www.national-geographic.cz/clanky/po-hladine-jezera-pitch-lake-se-muzete-projit-opravdu-neni-v-nem-totiz-voda-ale-asfalt.html>
- [7] Bc Filip Dostál Vliv druhu a dávky polymeru na vlastnosti modifikovaných pojiv. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební Ústav pozemních komunikací, 2020.162 s. Diplomová práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
- [8] Ing. Pavel Coufalík Reologické vlastnosti asfaltových pojiv. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební Ústav pozemních komunikací, 2017.213 s., 28 s. příl. Disertační práce. Vedoucí práce: Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
- [9] Michal Pěničik Pojiva do netuhých vozovek. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební Ústav pozemních komunikací, 2013. 73 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
- [10] ČSN EN 12591. Asfalty a asfaltová pojiva - Specifikace pro silniční asfalty. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2009.
- [11] Sdružení pro výstavbu silnic Praha [online]. [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <http://www.sdruzeni-silnice.cz/>
- [12] Rafinerie v Králupech nad Vltavou. In: HOSPODÁŘSKÉ NOVINY: Kralupy, kde se zpracovává třetina ropy v Česku, čeká největší odstávka v historii. Unipetrol na ni vydá na 1,1 miliardy [online]. PRAHA: HOSPODÁŘSKÉ NOVINY, 2018, 20.3.2018 [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://archiv.ihned.cz/c1->

66084810-kralupy-kde-se-zpracovava-tretina-ropy-v-cesku-ceka-nejvetsi-odstavka-v-historii-unipetrol-na-ni-vyda-na-1-1-miliardy

[13] POLYMÉR SBS. In: ALL.BIZ: silniční stavební materiál [online]. [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://kz.all.biz/en/sbs-calprene-polymer-for-production-of-pbv-g162339>

[14] ČSN EN 13108-8 Asfaltové směsi – Specifikace pro materiál – Část 8: R-materiál. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.

[15] Stavební firma: Frézování krytů vozovek. Froněk dopravní stavby [online]. Rakovník [cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <https://www.fronek.cz/sluzby/stavebni-firma/>

[16] DOC. ING. HÝŽL PH.D, Petr. Výroba, pokládka a hutnění asfaltových směsí (2020). Elektronická verze. Brno, 2020. Dostupné také z:

[https://teams.microsoft.com/_#/pdf/viewer/teams/https~2F~2Fvutbr.sharepoint.com~2Fsites~2FTechnologieprovdnvozovekCM003~2FSdilene%20dokumenty~2FGeneral~2FV%C3%BDroba%20pokl%C3%A1dk%C3%A1%20a%20hutn%C4%9Bn%C3%AD%20asfaltov%C3%BDch%20sm%C4%9Bs%C3%AD%202020.pdf?threadId=19:3b06279b05e246e7bf511a7444c7665e@thread.tacv2&baseUrl=https~2F~2Fvutbr.sharepoint.com~2Fsites~2FTechnologieprovdnvozovekCM003&fileId=76ea12dc-edb9-42a0-adb7-f742a23b187f&ctx=files&rootContext=items_view&viewerAction=view](https://teams.microsoft.com/_#/pdf/viewer/teams/https%3A%2F%2Fvutbr.sharepoint.com%2Fsites%2FTechnologieprovdnvozovekCM003%2FSdilene%20dokumenty%2FGeneral%2FV%C3%BDroba%20pokl%C3%A1dk%C3%A1%20a%20hutn%C4%9Bn%C3%AD%20asfaltov%C3%BDch%20sm%C4%9Bs%C3%AD%202020.pdf?threadId=19:3b06279b05e246e7bf511a7444c7665e@thread.tacv2&baseUrl=https%3A%2F%2Fvutbr.sharepoint.com%2Fsites%2FTechnologieprovdnvozovekCM003&fileId=76ea12dc-edb9-42a0-adb7-f742a23b187f&ctx=files&rootContext=items_view&viewerAction=view)

[17] Bc. Michal Slaviček Využití R - materiálu v asfaltových kobercích mastixových. Brno, 2017. 94 s., 21 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Petr Hýzl, Ph.D.

[18] Peter Brida Frézování asfaltových vrstev vozovek. Brno, 2020. 82 s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Ondřej Dašek, Ph.D.

[19] DOC. DR. ING. VARAUS, Michal. Asfaltové směsi s vysokým obsahem R-materiálu. Elektronická verze. Brno, 2015. Dostupné také z: <https://docplayer.cz/40289689-Asfaltove-smisi-s-vysokym-obsahem-r-materialu-co-je-smyslem-recyklace-ekonomicky-tlak-na-recyklaci-asf-materialu-vysoka-cena-ropy.html>

[20] Filip Hlávka Analýza složení asfaltového R-materiálu a jeho využití v asfaltové směsi. Praha, 2019. 87 s. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra silničních staveb. Vedoucí práce Ing. Petr Mondschein, Ph.D.

[21] Bc. Eva Ředinová Vliv R-materiálu na deformační charakteristiky směsi asfaltových betonů aVMT. Praha, 2014. 152 s. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra silničních staveb. Vedoucí práce Ing. Jan Valetín, Ph.D.

- [22] COUFALÍKOVÁ, Iva. Použití R-materiálu do asfaltových směsí typu asfaltový koberec mastixový. Brno, 2019. 160 s., 12 s. příl. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
- [23] Rejuvenátor: Co to jsou rejuvenátory [online]. 2018 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://web.rejuvenator.eu/co-jsou-to-rejuvenatory.htm>
- [24] MOGHADDAM, Taher Baghaee; BAAJ, Hassan. The use of rejuvenating agents in production of recycled hot mix asphalt: A systematic review. *Construction and Building Materials*, 2016, 114: 805-816.
- [25] Tran, Nam H., Taylor, Adam a Willis, Richard. Effect of Rejuvenator on Performance properties of HMA Mixtures with High RAP and RAS Contents. NCAT Report 12-05. Auburn, Alabama : National Center for Asphalt Technology at Auburn University, June 2012.
- [26] ČSN EN 12697-3 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 3 : Znovuzískání extrahovaného pojiva: Rotační vakuové destilační zařízení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2006.
- [27] ČSN EN 1426. Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení penetrace jehlou. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2015.
- [28] ČSN EN 1427. Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2015.
- [29] ČSN EN 13398. Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení vratné duktility modifikovaných asfaltů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2010
- [30] ČSN EN 14770. Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení komplexního modulu ve smyku a fázového úhlu – Dynamický smykový reometr (DSR). Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012
- [31] ČSN EN 12593. Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu lámavosti podle Fraasse. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [32] About EAPA - EAPA. Home - EAPA [online]. Copyright © 2018 EAPA. European Asphalt Pavement Association. All rights reserved. [cit. 9. 12. 2020]. Dostupné z: <https://eapa.org/eapa/>
- [33] KOUDELKA, Tomáš, Michal VARAUS, Ondřej DAŠEK a Iva COUFALÍKOVÁ. RECYKLACE ASFALTOVÝCH SMĚSÍ S POLYMEREM MODIFIKOVANÝMI ASFALTY. *SILNIČNÍ OBZOR*. 2018, 2018(79), 190-198.
- [34] Pryžová drť. In: ASSCO: PRODUKTY [online]. Uherský Brod [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: <https://www.asscorecycling.cz/pryzovy-granulat-epdm>

[35] ČSN 14023. *Asfalty a asfaltová pojiva - Systém specifikace pro polymerem modifikované asfalty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2010.

[36] ČSN 65 7222-1 ZMĚNA Z1. *Asfalty a asfaltová pojiva – Silniční modifikované asfalty – Část 4: polymerem modifikované asfalty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2018.

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1 – ZMĚNA VLASTNOSTÍ ASFALTOVÉHO POJIVA V ZÁVISLOSTI NA TEPLITĚ [2].....	10 -
OBR. 2 – ASFALTOVÉ JEZERO PITCH LAKE NA OSTROVĚ TRINIDAD [6]	12 -
OBR. 3 – RAFINERIE V KRALUPECH NAD VLTAVOU [12].....	12 -
OBR. 4 – ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA RAFINERIE [8].....	13 -
OBR. 5 – SBS [13]	15 -
OBR. 6 – PRYŽOVÝ GRANULÁT [34]	15 -
OBR. 7 – FRÉZOVÁNÍ VOZOVKY [15]	19 -
OBR. 8 – STACIONÁRNÍ LINKA [16]	20 -
OBR. 9 – ŠARŽOVÁ OBALOVNA S NÁSYPKOU PRO R-MATERIÁL [2]	21 -
OBR. 10 – SCHÉMA OBALOVNY S PARALELNÍM BUBNEM [16].....	22 -
OBR. 11 – KONTINUÁLNÍ OBALOVNA [19]	22 -
OBR. 12 – R-MATERIÁL SE PŘIDÁVÁ SOUBĚŽNĚ S PROUDEM HORKÉHO VZDUCHU [20]	23 -
OBR. 13 – R-MATERIÁL SE PŘIDÁVÁ PROTI PROUDU HORKÉHO VZDUCHU [20]	23 -
OBR. 14 – SEPARÁTNÍ VYSOUŠENÍ R-MATERIÁLU, MÍCHÁNÍ V MÍCHAČCE [20]	23 -
OBR. 15 – ROZDÍL MEZI POUŽITÍM ZMĚKČUJÍCÍ PŘÍSADY (VLEVO) A REJUVENÁTORU (VPRÁVO) [23]	25 -
OBR. 16 – VAKUOVÁ ROTAČNÍ ODSŤŘEDIVKA	29 -
OBR. 17 – VZORKY PRO ZKOUŠENÍ	30 -
OBR. 18 – ZKOUŠKA PENETRACE JEHLLOU.....	31 -
OBR. 19 – ZKOUŠKA KROUŽEK A KULIČKA.....	32 -
OBR. 20 – PRŮBĚH ZKOUŠKY	34 -
OBR. 21 – VLÁKNA ASFALTOVÉHO VZORKU PO PŘESTŘIŽENÍ	34 -
OBR. 22 – PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍHO VZORKU	35 -
OBR. 23 – PRŮBĚH ZKOUŠKY	36 -
OBR. 24 – PRŮBĚH SMYKOVÉHO PŘETVOŘENÍ A SMYKOVÉHO NAPĚTÍ [7]	38 -
OBR. 25 – PŘIPRAVENÝ ZKUŠEBNÍ VZOREK.....	38 -

SEZNAM GRAFŮ

GRAF 1 – VÝVOJ VÝROBY ASFALTŮ V LETECH 2015-2019 [12].....	18 -
GRAF 2 – VÝSLEDKY PENETRACE JEHLOU	41 -
GRAF 3 – ZÁVISLOST HLOUBKY PENETRACE NA MNOŽSTVÍ POUŽITÉHO POJIVA Z R-MATERIÁLU	41 -
GRAF 4 – VÝSLEDKY BODU MĚKNUTÍ.....	42 -
GRAF 5 – ZÁVISLOST BODU MĚKNUTÍ NA MNOŽSTVÍ POUŽITÉHO POJIVA Z R-MATERIÁLU -	43 -
GRAF 6 – VÝSLEDKY VRATNÉ DUKTILITY	44 -
GRAF 7 – ZÁVISLOST VRATNÉ DUKTILITY NA MNOŽSTVÍ POUŽITÉHO POJIVA Z R-MATERIÁLU.....	44 -
GRAF 8 – VÝSLEDKY BODU LÁMAVOSTI.....	45 -
GRAF 9 – ZÁVISLOST BODU LÁMAVOSTI NA MNOŽSTVÍ POUŽITÉHO POJIVA Z R-MATERIÁLU.....	46 -
GRAF 10 – VÝSLEDKY ZKOUŠKY DSR – KOMPLEXNÍ MODUL G^*	47 -
GRAF 11 – VÝSLEDKY ZKOUŠKY DSR – FÁZOVÝ ÚHEL Δ	47 -
GRAF 12 – ZÁVISLOST KOMPLEXNÍHO MODULU NA MNOŽSTVÍ POUŽITÉHO POJIVA Z R-MATERIÁLU	48 -
GRAF 13 – ZÁVISLOST FÁZOVÉHO ÚHLU NA MNOŽSTVÍ POUŽITÉHO POJIVA Z R-MATERIÁLU.....	48 -
GRAF 14 – IZOCHRONY PŘI FREKVENCÍ 1,585 HZ (G^*)	49 -
GRAF 15 – IZOCHRONY PŘI FREKVENCÍ 1,585 HZ (Δ)	49 -
GRAF 16 – IZOTERMY PŘI 70 °C (G^*)	50 -
GRAF 17 – IZOTERMY PŘI 65 °C (G^*)	50 -
GRAF 18 – IZOTERMY PŘI 60 °C (G^*)	51 -
GRAF 19 – IZOTERMY PŘI 55 °C (G^*)	51 -
GRAF 20 – IZOTERMY PŘI 50 °C (G^*)	52 -
GRAF 21 – IZOTERMY PŘI 45 °C (G^*)	52 -
GRAF 22 – IZOTERMY PŘI 40 °C (G^*)	53 -
GRAF 23 – IZOTERMY PŘI 70 °C (Δ)	53 -
GRAF 24 – IZOTERMY PŘI 65 °C (Δ)	54 -
GRAF 25 – IZOTERMY PŘI 60 °C (Δ)	54 -

GRAF 26 – IZOTERMY PŘI 65 °C (Δ)	- 55 -
GRAF 27 – IZOTERMY PŘI 50 °C (Δ)	- 55 -
GRAF 28 – IZOTERMY PŘI 45 °C (Δ)	- 56 -
GRAF 29 – IZOTERMY PŘI 40 °C (Δ)	- 56 -
GRAF 30 – BLACKŮV DIAGRAM	- 57 -
GRAF 31 – BLACKŮV DIAGRAM VZORKY B, C, D	- 57 -
GRAF 32 – BLACKŮV DIAGRAM VZORKY E, F, G.....	- 58 -
GRAF 33 – TEPLTNÍ CITLIVOST.....	- 59 -

SEZNAM TABULEK:

TAB. 1 – PŘÍKLAD OZNAČENÍ ASFALTOVÝCH POJIV	17 -
TAB. 2 – VÝVOJ VÝROBY ASFALTŮ V LETECH 2015-2019 [12]	18 -
TAB. 3 – DRUHY REJUVENÁTORŮ [25]	25 -
TAB. 4 – PROCENTUÁLNÍ ZASTOUPENÍ R-MATERIÁLU V JEDNOTLIVÝCH [16]	26 -
TAB. 5 – POROVNÁNÍ VÝROBY ASFALTOVÉ SMĚSI S POUŽITÝM R-MATERIÁLEM	26 -
TAB. 6 – SLOŽENÍ JEDNOTLIVÝCH VZORKŮ.....	29 -
TAB. 7 – VÝSLEDKY ZKOUŠKY PENETRACE JEHLU NA POJIVU Z R-MATERIÁLU	39 -
TAB. 8 – VÝSLEDKY ZKOUŠKY BODU MĚKNUTÍ METODOU KROUŽEK A KULIČKA NA POJIVU Z R-MATERIÁLU	39 -
TAB. 9 – VÝSLEDKY PENETRACE JEHLU	40 -
TAB. 10 – VÝSLEDKY BODU MĚKNUTÍ	42 -
TAB. 11 – VÝSLEDKY VRATNÉ DUKTILITY.....	43 -
TAB. 12 – VÝSLEDKY BODU LÁMAVOSTI	45 -
TAB. 13 – VÝSLEDKY ZKOUŠKY DSR.....	46 -
TAB. 14 – TEPLTNÍ CITLIVOST	58 -
TAB. 15 – KORELACE VÝSLEDKU-VZORKY B, C, D	59 -
TAB. 16 – KORELACE VÝSLEDKU-VZORKY E, F, G.....	59 -
TAB. 17 – VÝSLEDKY MĚŘENÍ.....	61 -

SEZNAM PŘÍLOH:

Příloha. 1 – Tab. č. 1 z normy ČSN EN 65 7222-1.....I

Příloha. 2 – Závislosti mezi jednotlivými zkouškamiII-IX

PŘÍLOHY

Příloha č. 1: Tab. č. 1 z normy ČSN EN 65 7222-1

Tabulka 1 – Specifikace polymerem modifikovaných asfaltů pro asfaltové směsi

Vlastnost	jednotky	zkušební metoda	10/40-65	25/55-60	25/55-65	45/80-55	45/80-65	45/80-75	40/100-65
penetrace, 25 °C	0,1 mm	ČSN EN 1426	10-40	25-55	25-55	45-80	45-80	45-80	40-100
bod měknutí	°C	ČSN EN 1427	≥ 65	≥ 60	≥ 65	≥ 55	≥ 65	≥ 75 ^{b)}	≥ 65
silová duktilita teplota zkoušky ^{a)}	J/cm ² °C	ČSN EN 13589	≥ 1 15	≥ 2 10	≥ 3 10	≥ 1 5	≥ 3 5	≥ 3 5	≥ 3 5
bod lámavosti	°C	ČSN EN 12593	≤ -5	≤ -12	≤ -12	≤ -15	≤ -15	≤ -18	≤ -18
vratná duktilita, 25 °C	%	ČSN EN 13398	≥ 50	≥ 60	≥ 70	≥ 60	≥ 70	≥ 80	≥ 70
odolnost proti stárnutí RTFOT změna hmotnosti zbylá penetrace	% % °C	ČSN EN 12607-1	≤ 0,5 ≥ 60 -2/+8	≤ 0,5 ≥ 60 -2/+8	≤ 0,5 ≥ 60 -5/+10	≤ 0,5 ≥ 60 -2/+8	≤ 0,5 ≥ 60 -5/+10	≤ 0,5 ≥ 60 -5/+10 ^{b)}	≤ 0,5 ≥ 60 -5/+10
změna bodu měknutí	°C		≥ 50	≥ 50	≥ 60	≥ 50	≥ 60	≥ 70	≥ 60
vratná duktilita, 25 °C	%		≥ 50	≥ 50	≥ 60	≥ 50	≥ 60	≥ 70	≥ 60
bod vzplanutí	°C	ČSN EN ISO 2592	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 235
skladovací stabilita rozdíl bodu měknutí	°C	ČSN EN 13399	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5

^{a)} Dojde-li k předčasnému přetržení, je dovoleno zvýšit zkušební teplotu o 5 °C.
^{b)} Zkouška bodu měknutí se provede v glycerinové lázni.

Příloha č. 2: Závislosti mezi jednotlivými zkouškami

