

Vliv procesních aditiv na vlastnosti BMC

Bc. Vendula Fialová

Diplomová práce

2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav inženýrství polymerů
akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Vendula Fialová**
Osobní číslo: **T15388**
Studijní program: **N2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Inženýrství polymerů**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Vliv procesních aditiv na vlastnosti BMC**

Zásady pro vypracování:

- 1) Vypracujte literární rešerži na zadané téma
- 2) Vyberte vhodná aditiva a suroviny pro přípravu BMC
- 3) Z připravených BMC směsí vylisujte destičky
- 4) Vyhodnoťte změny vlastností v jednotlivých směsích
- 5) Diskutejte dosažené výsledky

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Jančář, J. Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů. 1. vydání Brno: FCH VUT v Brně, 2004. 194 s. ISBN 80-214-2443-5.
www.fch.vutbr.cz/media/docs/VZ2004.pdf
2. Ehrenstein, G. W., Polymerní kompozitní materiály. Scientia 2009, ISBN 978-80-86960-29-6.
3. Kompozity <http://www.volny.cz/zkorinek/>
4. Časopisné publikace dostupné v databázích prostřednictvím knihovny UTB

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Simona Mrkvíčková, Ph.D.

Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání diplomové práce:

2. ledna 2017

Termín odevzdání diplomové práce:

10. května 2017

Ve Zlíně dne 1. března 2017



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



doc. Ing. Tomáš Sedláček, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 3. 4. 2017

Vendula Fialová

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být těž nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užíje-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užit či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

SOUHRN

Cílem diplomové práce je vyhodnotit vliv procesních aditiv používaných do reaktoplastických lisovacích hmot na zpracovatelské vlastnosti připravených směsí a také na výsledné vlastnosti vylisovaných hmot.

Klíčová slova: reaktoplasty, kompozit, polyesterové pryskyřice, lisování, BMC, aditiva

ABSTRACT

The aim of the diploma thesis is to evaluate the influence of processing additives used in the thermosets pressing mass on the processing properties of prepared mixtures and on the resulting properties of molded mass.

Keywords: thermosets, composite, polyester resins, compression molding, BMC, additives

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych vyjádřila mé upřímné poděkování své vedoucí Ing. Simoně Mrkvičkové, Ph.D. za její cenné rady, věcné připomínky, a vstřícnost při konzultacích a vypracovávání mé diplomové práce.

Mé poděkování patří také panu Prof. Ing. Martinovi Zatloukalovi, Ph.D., DSc., který mi byl nápomocen ve vypracování reologie v praktické části diplomové práce.

Chtěla bych tímto také poděkovat celému akademickému sboru Fakulty technologické, především Ústavu inženýrství polymerů za vzdělání, které mi zde bylo umožněno.

Nakonec děkuji své rodině za její podporu vůči mé osobě, a především tedy svému manželovi.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1 REAKTOPLASTICKÁ LISOVACÍ HMOTA (BMC).....	12
1.1 STRUKTURA A SLOŽENÍ SMĚSÍ	12
1.1.1 Matrice – Nenasycená polyesterová pryskyřice.....	13
1.1.2 Plnivo CaCO ₃	15
1.1.3 Výztuž – Skelná vlákna.....	16
1.1.4 „Low – Profile“ Aditiva.....	17
1.1.5 Separátor (Release agent).....	17
1.1.6 Styren	18
1.1.7 Iniciátor	18
1.1.8 Pigment	18
1.2 VÝROBA BMC	18
1.2.1 Zrání BMC směsí	20
1.3 ZPRACOVÁNÍ BMC	20
1.3.1 Lisování BMC	20
1.3.2 Povrchové úpravy.....	22
2 PROCESNÍ ADITIVA	23
2.1 WETTING AND DISPERSING ADITIVA	23
2.2 ANTI - SEPARATING ADITIVA	24
2.3 PRAKTICKÉ UKÁZKY VLIVU PROCESNÍCH ADITIV	27
2.3.1 Zamlžování.....	27
2.3.2 Vliv procesních aditiv na povrchovou energii výlisku	27
2.3.3 Hladkost povrchu	28
3 ZKUŠEBNÍ METODY	29
3.1 POVRCHOVÁ ENERGIE	29
3.1.1 Smáčení.....	29
3.1.2 Přímé měření kontaktního úhlu smáčení pomocí See systému	29
3.1.2.1 Výpočet povrchové energie z měření úhlu smáčení Van Ossovou (Acido – bazickou) teorií	32
3.2 TAH.....	33
3.2.1 Měření pevnosti v tahu trhacím strojem Quasarem 25	34
3.3 REOLOGIE	35
3.3.1 Viskozita	38
3.3.2 Měření tokových vlastností na RPA	40
II PRAKTICKÁ ČÁST	42
4 POUŽITÉ MATERIÁLY	43

4.1	NENASYCENÁ POLYESTEROVÁ PRYSKYŘICE	43
4.2	STYREN	43
4.3	PROCESNÍ ADITIVA	43
4.3.1	BYK W 972.....	43
4.3.2	BYK W 996.....	43
4.3.3	BYK P 9065	43
4.4	SUPRAPLAST.....	43
4.5	PIGMENT ŠEDÝ	44
4.6	LPA	44
4.7	TBPB	44
4.8	LOXOL.....	44
4.9	CACO ₃	44
4.10	SEKANÁ SKELNÁ VLÁKNA	44
5	PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	45
5.1	MÍCHÁNÍ	45
5.2	HNĚTENÍ.....	49
5.3	LISOVÁNÍ	52
6	POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ METODY	54
6.1	VIZUÁLNÍ KONTROLA VÝLISKŮ	54
6.2	STANOVENÍ POVRCHOVÉ ENERGIE VÝLISKŮ	54
6.2.1	Zkušební přístroj	54
6.3	TAHOVÁ ZKOUŠKA	54
6.3.1	Zkušební přístroj	55
6.4	TOKOVÉ CHOVÁNÍ BMC SMĚSÍ	55
6.4.1	Zkušební přístroj	55
7	VÝSLEDKY A DISKUSE	57
7.1	VIZUÁLNÍ KONTROLA VÝLISKŮ	57
7.1.1	Postup zkoušky.....	57
7.1.2	Vyhodnocení a diskuse	57
7.2	STANOVENÍ POVRCHOVÉ ENERGIE VÝLISKŮ	63
7.2.1	Postup zkoušky.....	63
7.2.2	Vyhodnocení a diskuse	64
7.3	TAHOVÁ ZKOUŠKA	71
7.3.1	Postup zkoušky.....	71
7.3.2	Vyhodnocení a diskuse	73
7.4	TOKOVÉ CHOVÁNÍ BMC SMĚSÍ	83
7.4.1	Postup zkoušky.....	83
7.4.2	Vyhodnocení a diskuse	85
	ZÁVĚR	95

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	97
SEZNAM ZKRATEK	101
SEZNAM OBRÁZKŮ	102
SEZNAM TABULEK.....	104
SEZNAM GRAFŮ	105
SEZNAM VZORCŮ	106
SEZNAM PŘÍLOH.....	107

ÚVOD

Od 50. let minulého století byla v rámci rozvoje průmyslu vědci objevena nová skupina kompozitních materiálů, které dosahují velmi dobrých mechanických vlastností, jako například ocel a další kovy. I přes jejich výrazně nižší cenu, neztrácejí na požadovaných vlastnostech. Tyto materiály jsou vyztuženy vlákny a plněny pro zlevnění minerálním plnivem [1]. Jedná se tzv. BMC (bulk moulding compound) směsi představující skupinu reaktoplastických krátkovláknových kompozitních materiálů na bázi nenasyčené polyesterové pryskyřice. Tyto materiály jsou určeny pro další zpracování [2].

Pro zlepšení zpracovatelských vlastností a zvýšení smáčení přidávaných plniv i výztuží, které mají vliv i na konečné vlastnosti produktu, se do těchto materiálů přidávají látky zvané procesní aditiva [3, 4].

Při používání pigmentů dochází při lisování ke vzniku barevných skvrn na povrchu. Použití procesních aditiv by mělo tyto povrchové vady eliminovat [4]. Cílem práce je nalezení vhodného typu aditiva a přidávaného množství pro použitou směs. Kromě směsí připravených laboratorně byly pro měření použity pro porovnání vlastností i směsi komerční.

Diplomová práce byla zpracována na základě podnětu z firmy. Firma se potýká s problémy ohledně nejednotnosti v barevné homogenitě. Sleduje vliv komerčních typů procesních aditiv na vlastnosti surové lisovací hmoty i konečných výlisků.

Teoretická část této diplomové práce zpracovává literární rešerši na téma příprava BMC, mechanismus procesních aditiv (BYK W 972, W 996, P 9065) a popis zkušebních metod.

Cílem praktické části této diplomové práce je ověřit vliv procesních aditiv na výsledné a zpracovatelské vlastnosti, jako jsou vzhled povrchu spolu s homogenitou vybarvení, separační vlastnosti, pevnost a elasticita spolu s tokovým chováním.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 REAKTOPLASTICKÁ LISOVACÍ HMOTA (BMC)

Anglicky Bulk moulding compound je reaktoplastický kompozitní materiál, který je složen z pastovitě naplněného termosetu polymerní matrice zpevněné zapletenými krátkými skelnými vlákny. Určen především pro vstřikování a lisování výrobků přesných rozměrů. Slovo "Bulk" v překladu znamená, že je materiál ke zpracovateli od výrobce dodáván většinou ve tvaru kvádru. Tyto kvádry jsou vakuově uzavřeny ve vícevrstvé fólii nepropouštějící styren, která se odstraňuje těsně před zpracováváním, a to z bezpečnostních důvodů (BMC směs uvolňuje styren) [5].

Využívá se především v automobilovém průmyslu na výrobu světlometů. Má své využití ale také například v elektrickém průmyslu, stavebnictví, leteckém průmyslu, ve vojenství [6].

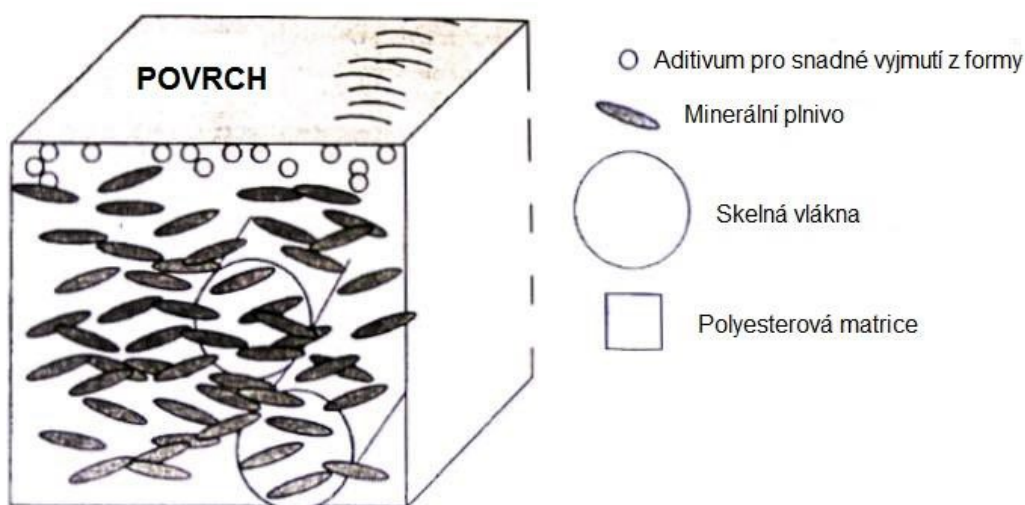
Studii zaměřených na zpracovávání BMC směsi je pořád málo. Například vlivem typu zrnitých a vláknitých plnidel se zabýval Kenny a Opalicki, vlivem omezování teploty a tlaku Millischer a Delaunay, vlivem smrštění polyesteru Deslandes [6].

1.1 Struktura a složení směsí

Struktura BMC (Obrázek 1), jakožto reaktoplastického, ale především kompozitního materiálu je následující:

- Funkci matrice plní nejčastěji nenasycená polyesterová pryskyřice
- Funkci výztuže plní nejčastěji skleněná vlákna [7].

Dalšími přísadami jsou aditiva, plniva a pigmenty [7].

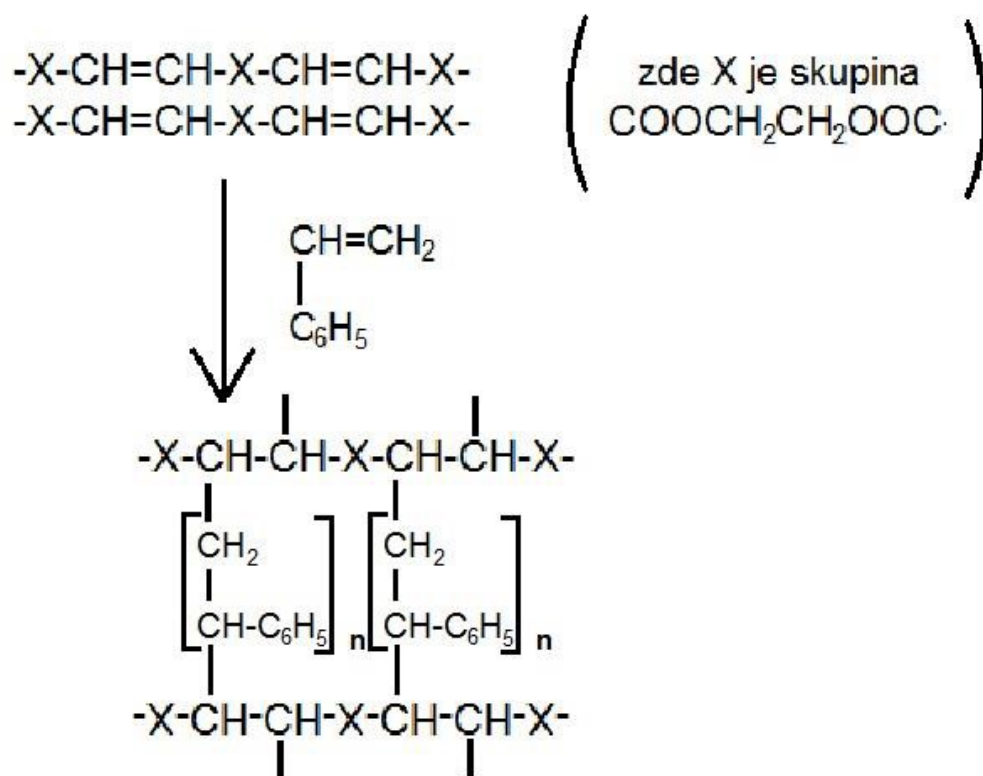


Obrázek 1 – Struktura BMC výrobku [7]

1.1.1 Matrice – Nenasycená polyesterová pryskyřice

Základními druhy nenasyčených polyesterových pryskyřic jsou: orthoftalová, izoftalová, fumarová, chlorftalová a thereftalová [7, 8].

Jedná se o roztok nenasyčeného polyesteru v kapalném nenasyčeném monomeru. Kapalným nenasyčeným monomerem je při určitých podmínkách schopen reagovat s polyesterem. Následujícím krokem zpracování – vytvrzování (Obrázek 2) dojde ke spojení (kopolymeraci) dvojných vazeb nenasyčených polyesterových řetězců s dvojnými vazbami monomeru. Vzniká nerozpustný a netavitelný produkt [1, 7].



Obrázek 2 – Vytvrzování polyesteru a styrenu [7]

Příprava nenasyčených polyesterových pryskyřic probíhá ve dvou krocích:

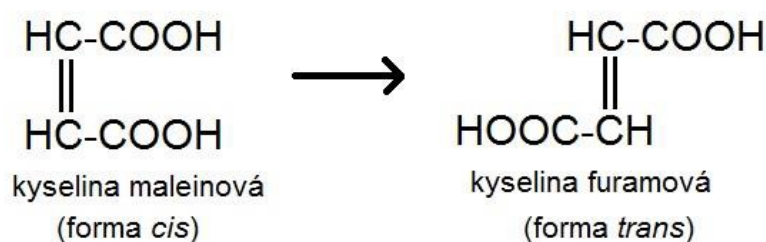
A) Polyesterifikace

Nenasycené polyesteru připravíme polyesterifikací glykolů a nenasyčených dikarboxylových kyselin. Nejpoužívanější nenasyčenou dikarboxylovou kyselinou je maleinanhydrid. Nejpoužívanějšími glykoly jsou 1,2 - propylenglykol a etylenglykol [1, 7].

Podmínky polyesterifikace:

- poměr nasycená kyselina: nenasycená kyselina je 0,5 – 3,0
- konec polyesterifikace – kyselost 50
- teplota: 180 – 230 °C
- atmosféra – CO₂, N₂ nebo inertní rozpouštědlo
- urychlení – katalyzátory – Ti, Zr, Sn
- délka – 2 až 6 hodin [7, 8].

Samotná příprava nenasycených polyesterů vykazuje určité problémy. Například izomerací dvojně vazby (Obrázek 3) dochází ke zvyšování viskozity taveniny vedoucí až ke zgelování látky. Standardně kyselina maleinová téměř ze 100 % přechází na kyselinu fumarovou. Tato kyselina je reaktivnější kyselinou a tím způsobí rychlejší zgelování a celý proces následného vytvrzování pryskyřice [1, 7].



Obrázek 3 – Izomerie kyseliny maleinové a fumarové [7]

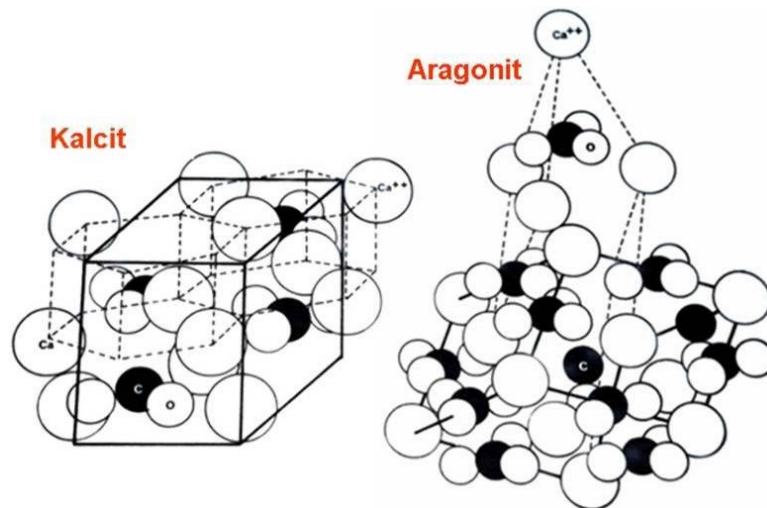
Zgelování související se zvyšováním molekulární hmotnosti je problém, kdy za určitých podmínek dojde k aktivaci dvojně vazby v polyesteru a k její kopolymeraci s kyslíkem. Samotné zvyšování relativní molekulové hmotnosti závisí i na nasycenosti polyesteru [1, 7].

B) Rozpouštění nenasyceného polyesteru v reaktivním monomeru

Reaktivním monomerem je styren, v němž jsou nenasycené polyesteru na bázi ethylenglykolu omezeně mísitelné a polyesteru na bázi propylenu naopak neomezeně mísitelné. Mísitelnost se styrenem lze zvýšit zmenšením polarity polyesteru terminací jednosytným alkoholem (cyklohexanol) [1, 7].

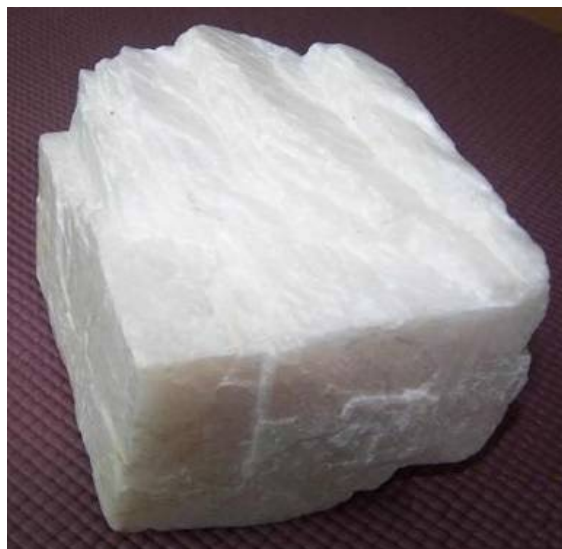
1.1.2 Plnivo CaCO_3

Uhličitán vápenatý plní funkci plniva a je nejužívanějším plnivem současnosti. V této oblasti jsou známy dvě krystalické formy – kalcit a aragonit [9], které jsou vyobrazeny na Obrázku 4. V přírodě se nachází ve formě vápence, křídý, mramoru a dolomitu [10].



Obrázek 4 – Struktura kalcitu a aragonitu [9]

Přírodní vápencec je zobrazen na následujícím Obrázku 5.



Obrázek 5 – Přírodní CaCO_3 [9]

Hlavní složkou CaCO_3 je vápník Ca, který se přirozeně nikdy neobjeví sám (kombinace s kyslíkem či uhlíkem) [10].

Jedná se o plnivo šedivé barvy nejčastěji využívané pro svojí cenovou dostupnost, zvýšení tvrdosti kompozitu a tuhosti taveniny. Proto i částice uhličitanu vápenatého zakomponované v matrici mají vliv i na výsledné vlastnosti BMC směsi - zvýšení tuhosti, pevnosti a houževnatosti, tepelné odolnosti, rozměrové stability. Mezní hodnota specifického povrchu je zhruba $6 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ (po překročení dochází k vysoké aglomeraci, která se stabilizuje kyselinou stearovou) [9, 10]. Vybrané chemické a fyzikální vlastnosti CaCO_3 nalezneme v Tabulce 1.

Tabulka 1 – Vlastnosti uhličitanu vápenatého [10]

Měrná hmotnost	2,7 – 2,9	g/cm^3
Teplota tání	1339	$^\circ\text{C}$
Teplota rozkladu	1150	$^\circ\text{C}$
Povrchová energie	207	mJ/m^2
Tepelná vodivost	2,4 – 3	$\text{W/}^\circ\text{C.m}$
Koeficient lineární roztažnosti	$4,3 - 10 \cdot 10^{-6}$	$1/^\circ\text{C}$
Modul pružnosti	35000	MPa
Tvrdost	3 – 4	
Měrný specifický povrch	5 – 24	m^2/g
Obsah vlhkosti	0,01 – 0,5	%
Rozpust v H_2O	$0,99 - 10^{-8}$	%
pH vodní suspenze	9 – 9,5	
Odolnost vůči zásadám	Dobrá	
Odolnost vůči kyselinám	slabá	

Přes 90% CaCO_3 se zpracovává metodami mokrého (velikost částic 2 - 80 μm) a suchého (velikost částic 0,5 - 11 μm) mletí [5].

1.1.3 Výztuž – Skelná vlákna

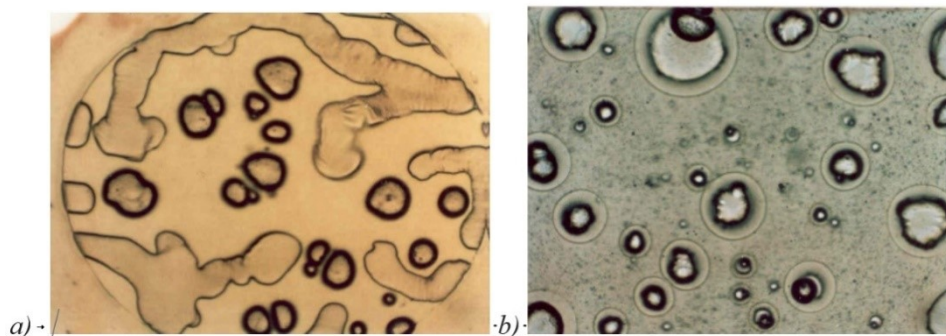
Do BMC se nejčastěji používají sekaná skelná vlákna délky 12 - 15 mm [2].

Jejich použitím dochází ve finálním výrobku ke zlepšení mechanických vlastností – rozměrová stálost, tepelná stabilita, odolnost vůči korozi a hořlavosti (odolává až $450 \text{ }^\circ\text{C}$), dielektrické vlastnosti, vysoká pevnost v tahu a nízký modul pružnosti. Negativními vlastnostmi jsou nízká odolnost proti oděru a snížení pevnosti ve vlhkém prostředí [5, 11].

Nejběžnějším typem skelných vláken jsou tzv. E - vlákna [11].

1.1.4 „Low – Profile“ Aditiva

Polyesterové pryskyřice podléhají během procesu vytvrzování 5 - 12 % smrštění. Díky tomuto může dojít k případným tvarovým deformacím – zvlnění, pórovitost, praskliny. Abychom zabránili těmto deformacím, přidáme do připravované směsi tzv. „low – profile“ aditiva (LPA) [4, 12]. Přidáním právě těchto látek můžeme smrštění snížit, či dokonce zcela eliminovat, jak značí Obrázek 6.



Obrázek 6 – Stabilizace LPA systému před (a) a po (b) přidání aditiv [4]

Úlohou LPA je vázat nezreagovaný styren a usnadňovat tvorbu dutin při chladnutí výlisku v mezifázovém rozhraní termoplast – reaktoplast [4].

Zastoupení LPA v připravené BMC směsi je zhruba 3 – 5 %. Nejčastěji používanými LPA jsou PE, PS, PMMA, PVA [12].

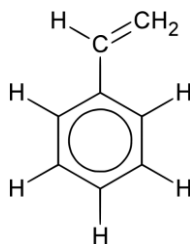
Kromě již zmíněných pozitivních účinků LPA mají také účinky negativní. BMC směsi se po vytažení a zchlazení výrobku smršťují méně než termoplasty. Termoplastická globule se odloučí od polyesteru, přičemž zanechá povrchové mikrotrhliny. Z tohoto důvodu musí být při přípravě složení výsledného výrobku z termoplastů znám koeficient teplotní roztažnosti. Nebude-li tomu tak, mohou mikrotrhliny rušit povrchový lom světla [1].

1.1.5 Separátor (Release agent)

Nejužívanějšími separátory jsou stearát zinečnatý a vápenatý. Jejich aplikací se materiál snadněji uvolní z lisovací formy [5].

Během vytvrzování UP se jednotlivé složky BMC směsi zapouzdřují do matrice v pevném stavu. Neúčastní se jej ovšem 100 % UP, ale významná část spolu se separačními činidly putuje směrem k povrchu a tím se dosáhne hladkého povrchu výrobku, který lze uvolnit z formy [5].

1.1.6 Styren



Obrázek 7 – Styren [13]

C_8H_8 , jehož strukturní vzorec vidíme na Obrázku 7, je bezbarvá, těkavá kapalina s charakteristickým sladkým zápachem. Je ve velké míře používán jako rozpouštědlo a výchozí surovina pro výrobu dalších polymerů (polystyren.) [14].

Mezi nejznámější výrobky patří pryže, umělé hmoty, izolace, sklolaminát, potrubí, automobilové součásti, obaly na potraviny, koberce a další [14].

Důležité je při přípravě BMC směsi dodržet jeho hmotnostní koncentraci. Styren totiž v UP působí jako ředidlo [15].

1.1.7 Iniciátor

Jako iniciátory se používají organické peroxidy. Jedná se o složku BMC, bez které by nedošlo k vytvrzení a to tepelným rozkladem na volné radikály [16].

1.1.8 Pigment

Pigmenty se používají pro zbarvení pryskyřic, přičemž musí splňovat uspokojující kryvost, odolnost UV záření a povětrnostním podmínkám. Nejčastěji používané jsou anorganické a organické pigmenty [17].

1.2 Výroba BMC

Výrobu BMC dělíme na dva kroky:

A) První krok (tzv. premix) – smísení viskózních (UP, styren, procesní aditiva, separátor, LPA, pigment, iniciátor) i sypkých (uhličitan vápenatý) složek v míchacím zařízení [1, 5].

UP spolu s ostatními tekutými přísadami jsou v daném poměru dávkovány pomocí čerpadel do míchacího prostoru, kde se promísí v homogenní směs. Poté se směs prolíje přes jemné sítko. Směs je velice viskózní [1, 5].

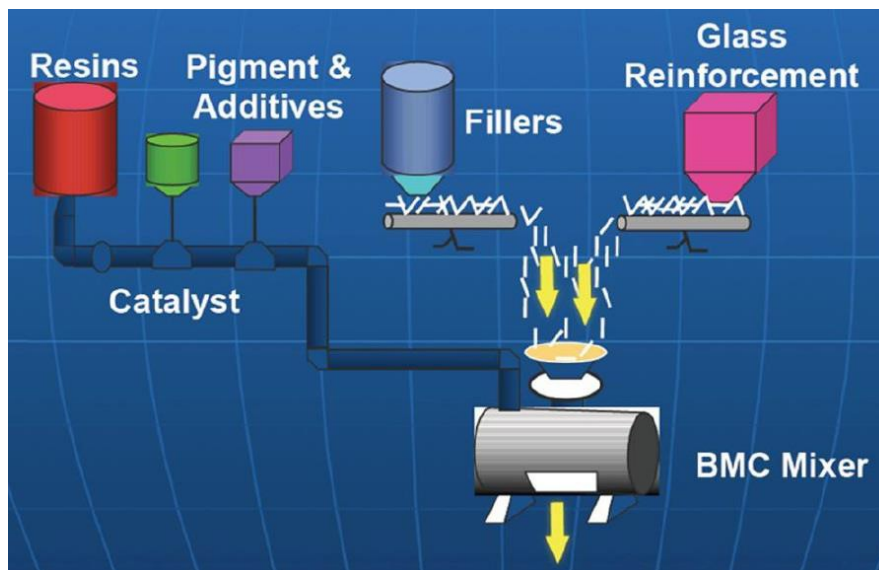
Následně je do směsi přidáváno plnivo a směs se opět promísí. Vzniká pastovitá směs [1, 5].

Vzniklá směs je přepravována pomocí cisteren, potrubím, případně ve skladovacích nádržích [1, 5].

B) Druhý krok – promísení vzniklé pasty a následné hnětení spolu se skleněnými vlákny na hnětacím zařízení [1, 5].

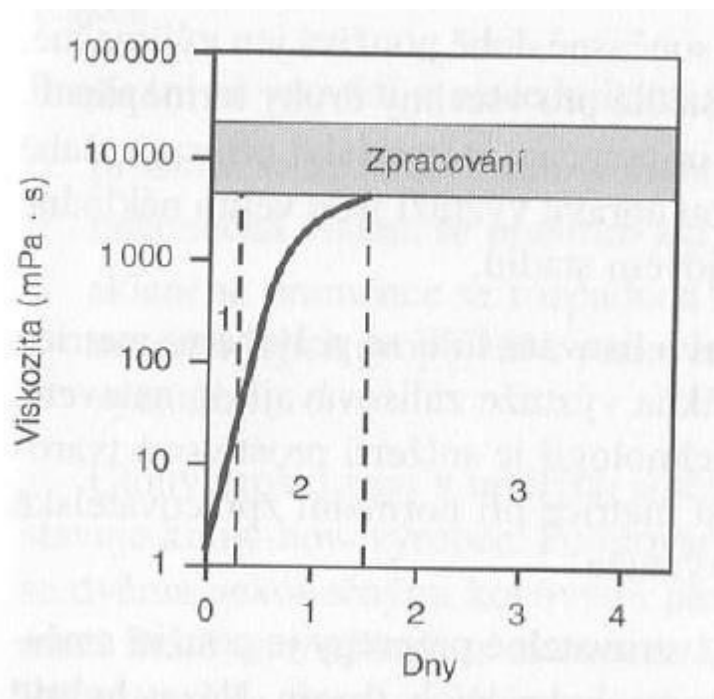
Po přemístění směsi z míchacího zařízení do míchacího prostoru hnětiče a následném promíchání jsou přidána skelná vlákna. BMC pasta spolu se skelnými vlákny jsou hnětena po krátký čas z důvodu degradace (lámání) vláken [2].

Celý výrobní proces vidíme na následujícím Obrázku 8.



Obrázek 8 – Výroba BMC směsi [2]

Jak se změní viskozita v průběhu celého procesu nám naznačuje graf na následujícím Obrázku 9.



Vysvětlivky: 1 - přidání vláken, 2 - zrání, 3 - zpracování

Obrázek 9 – Změna viskozity [1]

1.2.1 Zrání BMC směsí

Zabalená uhnětená směs se přenesse z hnětacího prostoru hnětiče do uskladňovacího prostoru. Děje se tomu tak z toho důvodu, neboť směs obsahuje styren, který má tendenci se na vzduchu odpařovat. Zde probíhá tzv. zrání BMC směsi, které je závislé na parametrech jednotlivých složek. Výsledná doba zrání je ovlivněna separátorem a teplotou, přičemž se pohybuje kolem 1 – 7 dnů [1, 5].

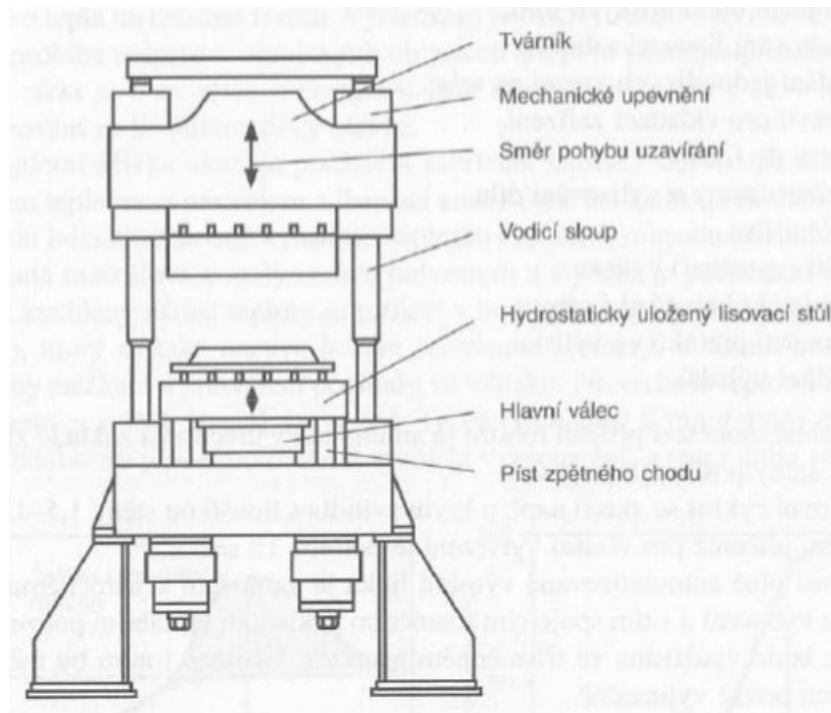
1.3 Zpracování BMC

Ke zpracovateli se BMC směs k následnému zpracování (vstřikování, lisování) dostává v ochranné fólii [1, 18].

1.3.1 Lisování BMC

Jedná se o proces tváření polymerní taveniny pod tlakem v dutině formy, při kterém získáme výlisky [1, 18].

Lisovacím strojem (Obrázek 10), který vyvozuje na lisovaný materiál sílu, je hydraulický lis s krátkým zdvihem. Tvárník a lisovací stůl s beranem jsou odděleny prostorem, do kterého se vkládá forma s BMC směsí. Jejich povrch je pochromován a leštěn nejen z důvodu dosažení kvalitního povrchu výsledného výrobku, ale i z důvodu chemické odolnosti. Vyhřívány jsou parou [1, 18].



Obrázek 10 – Hydraulický lis s krátkým zdvihem [1]

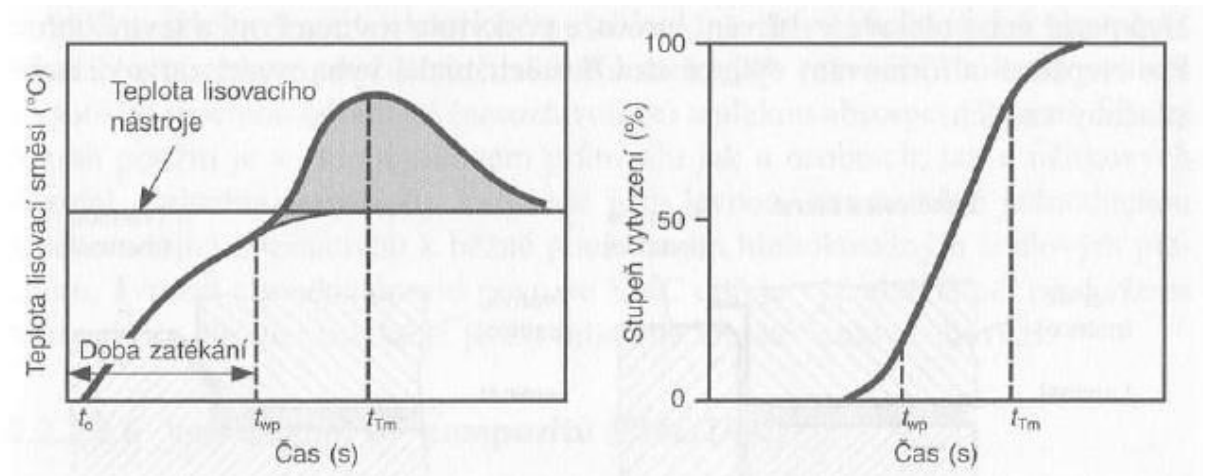
Podmínky lisování BMC:

- lisovací teplota: 130 – 160 °C
- lisovací čas: 1 – 4 minuty
- lisovací tlak: 30 – 140 barů [18].

V průběhu samotného lisování je hodnota teploty rozdílná uprostřed a na čele formy. Nastává tomu proto, neboť lisovací forma vykazuje nízkou tepelnou vodivost. Efekt se zvyšuje se zvyšující se tloušťkou stěny vylisku. V praxi vytvrzovací reakce nejprve probíhá na okrajových oblastech a postupně k ní dojde i v oblasti ve středu vylisku [1, 18].

Nakonec dojde k otevření lisovacího prostoru lisu, vyjmutí lisovací formy pomocí automatického vyhazovacího zařízení a sejmutí fólie obsluhou [1, 18].

Následující křivka přesně ukazuje průběh vytvrzovací reakce (Obrázek 11).



Vysvětlivky: t_{wp} – čas dosažení bodu želatinace, t_{Tm} – čas při nejvyšší teplotě

Obrázek 11 – Vytvrzovací reakce BMC směsi [18]

Vzorky jsou poté buďto povrchově upracovány, nebo mechanicky testovány za použití univerzálního testovacího stroje (H10KS), který je zobrazen na následujícím Obrázku 12 [19].



Obrázek 12 – Univerzální testovací stroj [19]

1.3.2 Povrchové úpravy

Pracovními nástroji bývají pro hrubou úpravu laboratorní nůžky a pilník [19].

Průmyslově upravujeme povrch základním a posléze krycím nátěrem. Případné nerovnosti povrchu upravíme tzv. IMC postupem, během kterého se na výlisek ve druhém lisovacím cyklu vstříknutím nanese látka pro povrchovou úpravu [1, 19].

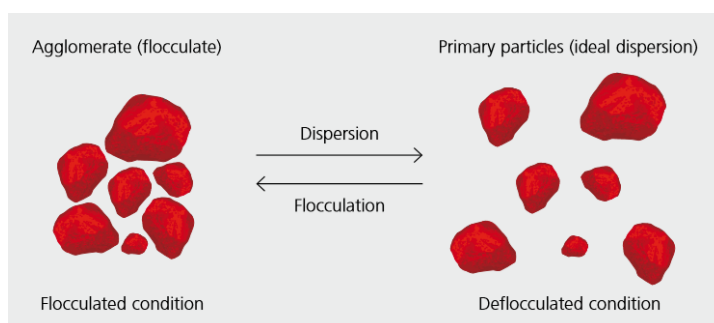
2 PROCESNÍ ADITIVA

Speciální látky tekuté konzistence - procesní aditiva jsou přídatné látky používané ze dvou důvodů. Na jedné straně se zlepšují vlastnosti konečného výrobku, na straně druhé se stabilizuje viskozita a homogenita směsi. Také zlepšují chování směsi během zpracovávání, což obvykle znamená snazší plnění formy. Tyto látky mají vliv i na proces smršťování výsledného povrchu při vytvrzování UP. Přidáním právě procesních aditiv můžeme tomuto negativnímu dopadu předejít [20].

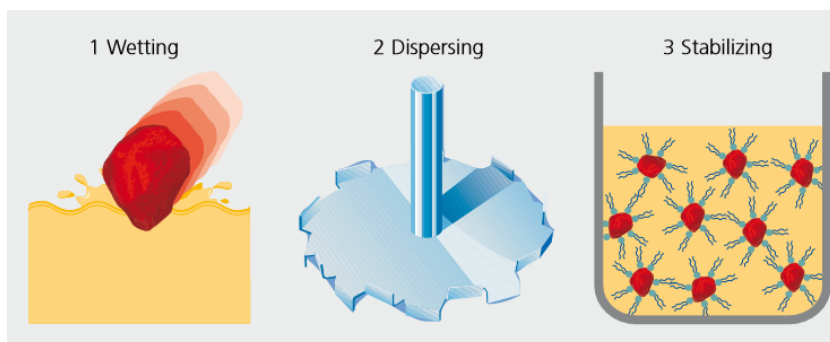
Doporučené dávkování procesního aditiva se odvíjí od složení směsi. Platí ovšem, že by aditivum mělo být přidáváno jako první do pryskyřice. Kombinací s jinými přísadami nedochází k negativnímu dopadu. Ale například zahušťováním, při kterém hraje důležitou roli obsah vlhkosti či plniva, k negativnímu vlivu dochází [20].

2.1 Wetting and Dispersing aditiva

Ve fázi disperze (Obrázek 13) se do systému přidává energie, a proto se vytvářejí menší částice s větší plochou povrchu. System se pak snaží uniknout z tohoto energeticky bohatého stavu a vrátit se na svůj předchozí nízkoenergetický stav [20].



Obrázek 13 - Disperze plniva [20]

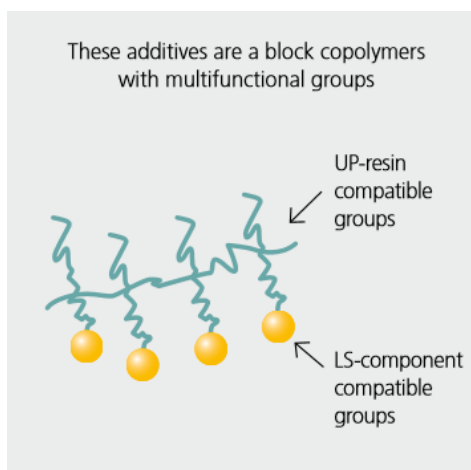


Obrázek 14 - Smáčení a disperzní proces [21]

V kroku 1 (Obrázek 14) se veškerý vzduch a vlhkost se přemístí pryskyřicí z povrchu plniva. Pryskyřice musí pronikat do meziprostoru mezi aglomeráty plniva. V kroku 2 (Obrázek 14) prostřednictvím mechanické energie (nárazu a smyku) jsou aglomeráty plniva oddělovány. V závěrečném kroku 3 (Obrázek 14) musí být disperze plniva stabilizována, aby se zabránilo nekontrolované tvorbě vloček [20].

2.2 Anti - separating aditiva

Tento typ vysokomolekulárního polymerního smáčecího a dispergačního aditiva (Obrázek 15) zabraňuje oddělení systému a zlepšuje barevnou homogenitu směsi [20]. Defekty v nehomogenosti pigmentu v LP systémech (aditiva proti smrštění nejčastěji PS, PMMA) jsou zapříčiněny separací polystyrenu, popřípadě metylmetakrylátu od nenasycené polyesterové pryskyřice. Tyto účinky nejsou vždy viditelné v lisovací hmotě, ale obvykle jsou znatelné, až na finálním výrobku (Obrázek 16) [22].



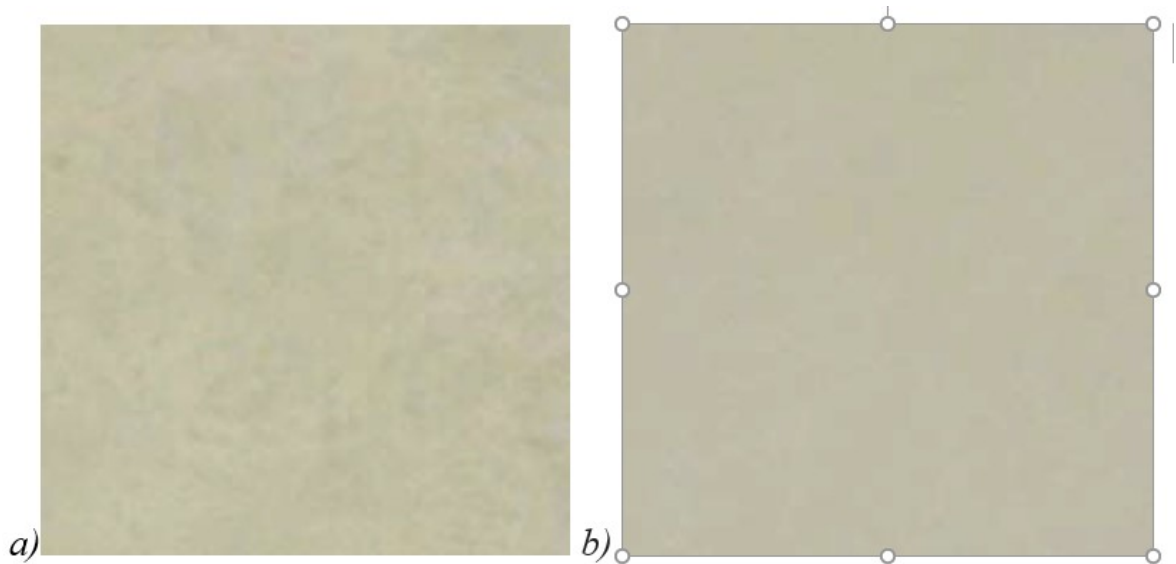
Obrázek 15 – Anti-separační aditivum [20]



Obrázek 16 – Separace od UP [22]

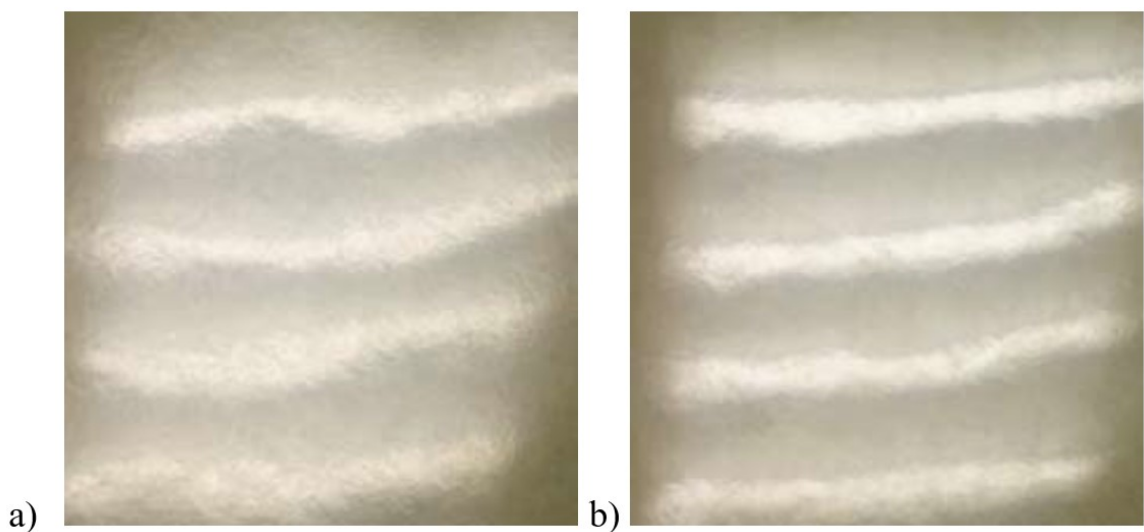
Klasické stearany, které jsou příčinou mnoha pigmentových vad, proto nahradí aditiva procesní, která způsobují snadné uvolňování vylisku z formy. [22].

Šedé vzorky, často používané v elektrotechnickém průmyslu, mohou dosahovat právě vlivem procesních aditiv pigmentové homogenity [22], což ukazuje následující Obrázek 17.



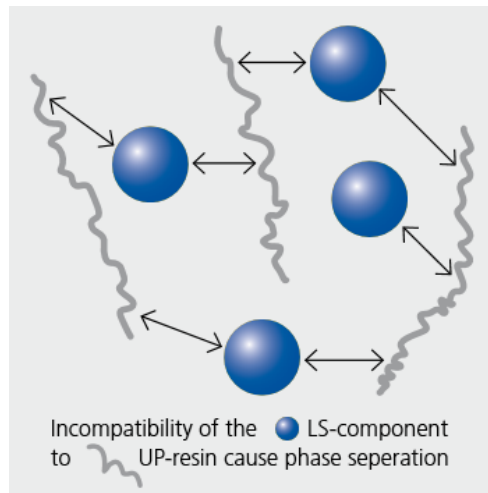
Obrázek 17 - Vzorek bez a s procesními aditivami [23]

Jestliže aditivum absorbuje na plnivo, pak jsou pasta a ostatní sloučeniny velmi dobře zastabilizovány, a tedy k žádné separaci nedojde. To má za následek hladší povrch [22], což naznačuje následující Obrázek 18.



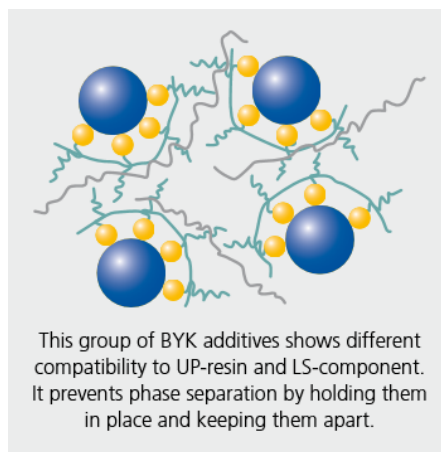
Obrázek 18 - Vzorek bez (a) a s (b) procesními aditivami [23]

Nenasycené polyestery jsou polární látky. Polystyren je naopak látkou nepolární. Anti-separační přísady kompenzují tento rozdíl v dipólovém momentu. Bez použití takovéto anti-separační přísady s vysokou molekulovou hmotností se dobře dispergované termoplastické částice znovu aglomerují a oddělí (Obrázek 19) [20].



Obrázek 19 – Směs bez anti-separačního aditiva [20]

Tyto aditiva tedy brání separaci fází udržením na svém místě a od sebe, jak naznačuje Obrázek 20 a dochází ke stabilizaci systému [20].

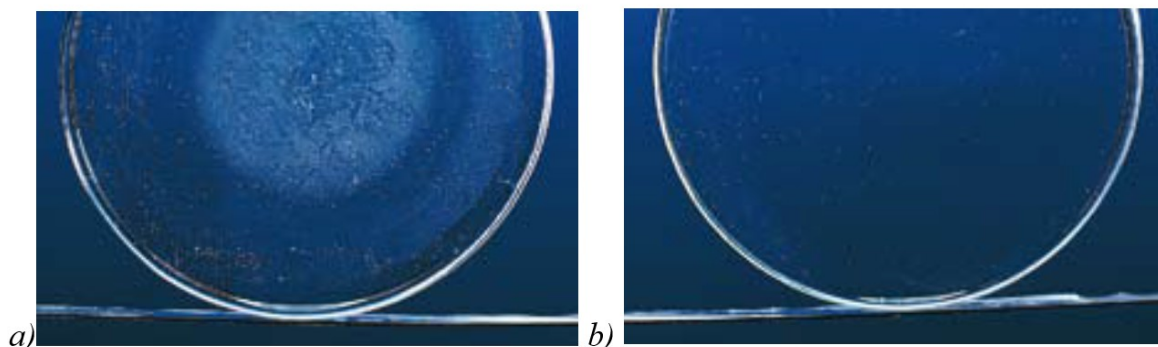


Obrázek 20 – Stabilizace systému anti-separačním aditivem [20]

2.3 Praktické ukázky vlivu procesních aditiv

2.3.1 Zamlžování

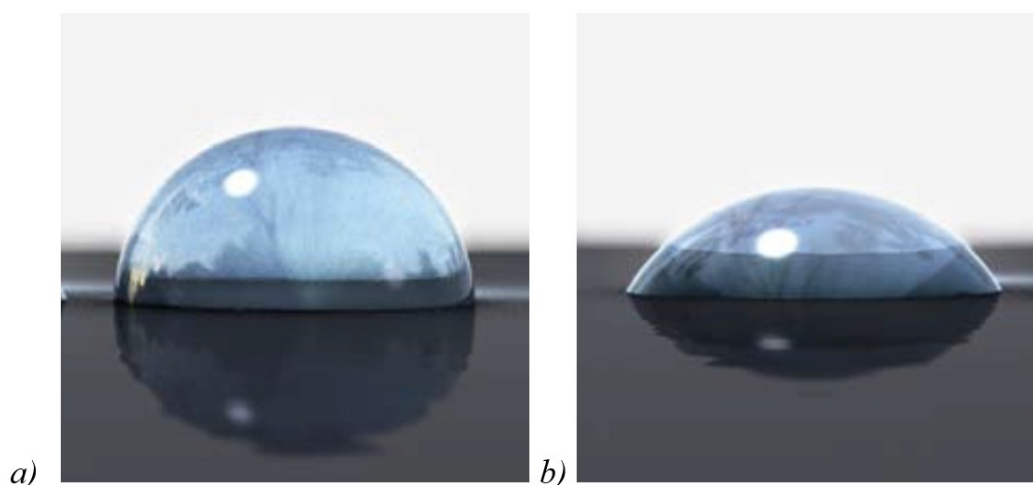
Dnešní polykarbonátové kryty světlometů aut nahradily kryty skleněné. Ty způsobují při menších rozměrech a díky nižší tepelné vodivosti, zvýšení teploty ve světlometu. Zapouzdření světlometů nedovoluje případné chlazení, které má za příčinu sublimaci – mlžení. Přidáním procesních aditiv se tomuto jevu vyhneme [22], což vystihuje následující Obrázek 21.



Obrázek 21 – Světlo bez (a) a s (b) procesním aditivem [23]

2.3.2 Vliv procesních aditiv na povrchovou energii vylisku

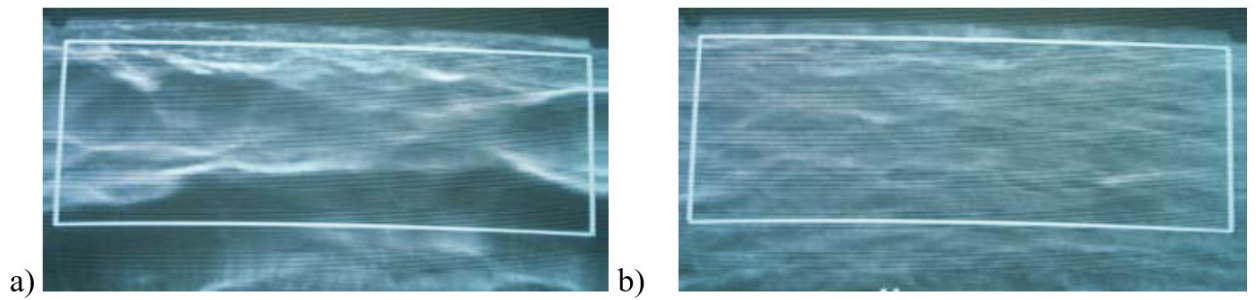
Smáčení tvarového dílu závisí v první řadě na povrchovém napětí kapaliny a povrchové energii smáčeného povrchu. Obecně platí, že povrchové napětí kapaliny musí být nižší nebo nejvýše rovno povrchovému napětí smáčeného povrchu [22]. Rozdíly ve tvaru kapek na vylisovaném povrchu nebo-li jeho smáčivosti vykresluje Obrázek 22.



Obrázek 22 – Smáčení povrchu bez (a) a s (b) procesním aditivem [24]

2.3.3 Hladkost povrchu

Velký vliv mají procesní aditiva i na tok směsi ve formě a na vzhled lisované části. Na základě provedených zkoušek je zřejmé, že vlnitost výlisku v závislosti na velikosti náboje a jeho umístění ve formě, je se zvyšujícím se obsahem procesních aditiv optimalizována [22]. Rozdíly v hladkosti/vlnitosti povrchu vykresluje Obrázek 23.



Obrázek 23 – Hladkost povrchu bez (a) a s (b) procesním aditivem [23]

3 ZKUŠEBNÍ METODY

3.1 Povrchová energie

Povrchová energie pevných látek je práce potřebná ke zvětšení povrchu kapaliny o jednotkovou plochu. Toto můžeme vyjádřit vztahem:

$$dW = \gamma dS \quad (1)$$

kde:

dW je elementární práce úměrná počtu molekul převedených z objemové fáze do fázového rozhraní a tedy ploše nově vzniklého fázového rozhraní dS

γ může být spojeno s jednotkou $J \cdot m^{-2}$ nebo $N \cdot m^{-1}$ (obě jednotky jsou rozměrově ekvivalentní) [25].

Projevuje se především při zvětšování povrchu (tzn. při drcení nebo mletí) a to tím, že je k němu třeba vynaložit mechanickou práci. Jedná se o kritérium uplatňující se při popisu povrchu materiálu a určující adhezi lepidel, tiskařských barev, laků či nátěrů [25].

3.1.1 Smáčení

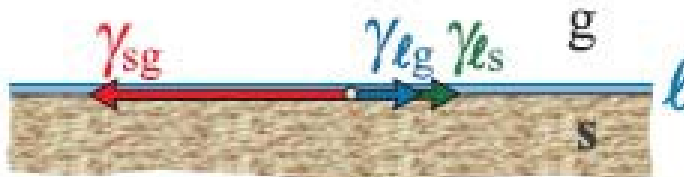
Smáčení je schopnost tekutého lepidla rozprostřít se po povrchu pevné látky a je nutným předpokladem pro dosažení adheze [25].

Smáčení charakterizujeme tzv. kontaktním úhlem smáčení. Pokud kápneme malou kapku kapaliny na sledovaný povrch pevné látky, kapka zaujme rovnovážný tvar. Úhel smáčení je úhel, jež svírá tečna vedená k povrchu kapky, vedoucí z místa styku kapky s rozhraním. Je hlavní charakteristikou tvaru kapky, která je umístěná na povrchu nerozpustné látky. Tento úhel závisí na mezipovrchových energiích tří koexistujících fázových rozhraních - mezi tuhou a kapalnou fází γ_{sl} , mezi tuhou a plynou fází γ_{sg} a mezi kapalnou a plynou fází γ_{lg} . Vztah mezi úhlem smáčení a jednotlivým mezifázovým napětím (energiemi) je dán Youngovou rovnicí:

$$\gamma_{sg} = \gamma_{sl} + \gamma_{lg} \cos\theta \quad [25, 26]. \quad (2)$$

Umístěním kapky kapaliny na povrch pevné látky nám mohou tyto modelové případy:

Je-li povrchová energie pevné látky větší než součet povrchové energie kapaliny a mezifázové energie pevná látka – kapalina, $\gamma_{sg} > \gamma_{sl} + \gamma_{lg}$, dojde k rozestírání kapaliny po povrchu pevné látky do souvislé vrstvy, jak vidíme na následujícím Obrázku 24. Fázové rozhraní pevná látka - plyn je nahrazeno dvěma rozhraními, a to pevná látka - kapalina a kapalina – plyn. Výsledná energie systému je nižší [25, 26].



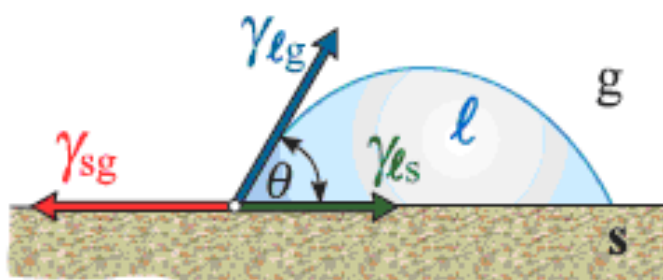
Obrázek 24 – Dokonalé smáčení [25]

Mezním případem je situace, kdy úhel θ je nulový - dokonalé smáčení [25, 26].

Jestliže platí naopak $\gamma_{sg} < \gamma_{sl} + \gamma_{lg}$, nedojde k rozestírání kapaliny po povrchu pevné látky do souvislé vrstvy, ale kapka kapaliny zaujme rovnovážný tvar, který je charakterizován úhlem smáčení [25, 26].

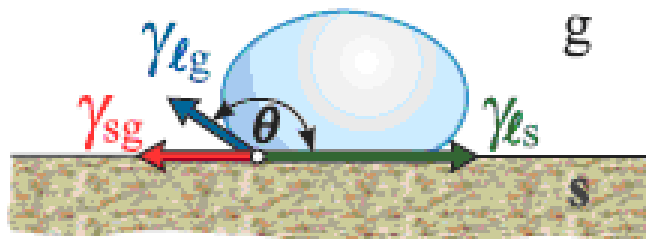
Podle velikosti tohoto úhlu jsou rozlišovány kapaliny, které tuhý povrch:

- smáčejí, neboli vytvářejí ostrý úhel smáčení, $0 < \theta < 90^\circ$ ($0 < \cos\theta < 1$), jak ukazuje Obrázek 25. V tomto případě je $\gamma_{sl} > \gamma_{sl}$ [25, 26].



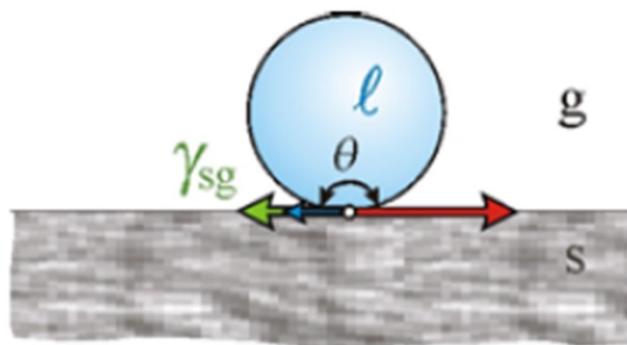
Obrázek 25 – Dobré smáčení [25]

- nesmáčejí, neboli vytvářejí tupý úhel smáčení, $90^\circ < \theta < 180^\circ$ ($0 < \cos\theta < 1$), jak ukazuje Obrázek 26. V tomto případě je $\gamma_{sg} < \gamma_{sl}$ [25, 26].



Obrázek 26 – Špatné smáčení [25]

Mezním případem je situace, kdy $\theta = 180^\circ$, $\gamma_{sg} = \gamma_{sl} - \gamma_{lg}$, se nazývá dokonalé nesmáčení (Obrázek 27) [25, 26].

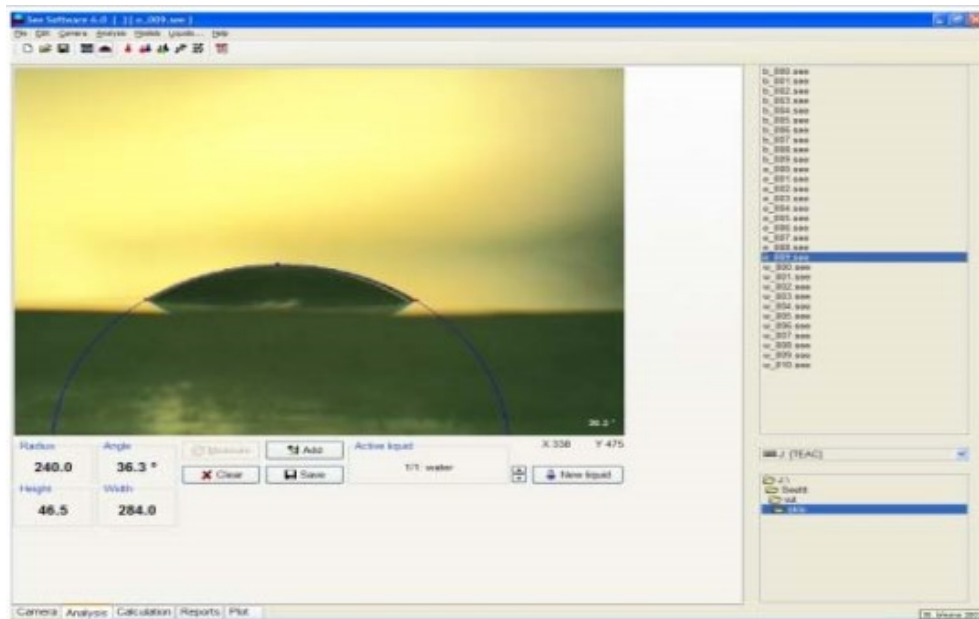


Obrázek 27 – Dokonalé nesmáčení [25]

Povrchy smáčené kapalinami se nazývají lyofilní, kdy je v případě vody označujeme jako hydrofilní. Povrchy nesmáčené kapalinami se nazývají lyofobní, kdy je v případě vody označujeme jako hydrofobní [25].

3.1.2 Přímé měření kontaktního úhlu smáčení pomocí See systému

Na Obrázku 28 vidíme přisedlou kapku, která je pozorována mikroskopem vybaveným CCD kamerou pro počítačové vyhodnocení hodnoty kontaktního úhlu, povrchové energie a jejich součástí pomocí matematických modelů. Systém uvádí i chyby měření. Profily kapek je možno exportovat ve formě obrázků. Třemi body je opsána kružnice, která by měla charakterizovat tvar kapky. Kontaktní úhel je tangentou opsané kružnice [27].



Obrázek 28 - See systém [27]

3.1.2.1 Výpočet povrchové energie z měření úhlu smáčení Van Ossovou (Acido – bazickou) teorií

Acidobazická interakce nastává v případě, kdy přijde zásada (elektronový dárce či protonový příjemce) do styku s kyselinou (elektronový příjemce či protonový dárce). Tato metoda umožňuje určení parametrů elektron–příjemce a elektron–dárce povrchové energie. Celková povrchová energie je dána sumou disperzní LW a acidobazické AB složky dle vzorce:

$$\gamma = \gamma^{LW} + \gamma^{AB} \quad [28]. \quad (3)$$

Povrchovou energii vypočteme dle Young – Duprého rovnice vyjádřené pomocí kyselé složky γ^+ a zásadité složky γ^- :

$$(1 + \cos\theta_i)\gamma_i = 2 \left(\sqrt{\gamma_i^{LW} \cdot \gamma_j^{LW}} + \sqrt{\gamma_i^+ \cdot \gamma_j^-} + \sqrt{\gamma_i^- \cdot \gamma_j^+} \right) \quad (4)$$

kde:

- i je kapalina
- j je pevná látka [28].

Hodnoty mohou být určeny z měření kontaktního úhlu se třemi kapalinami, kdy dvě z nich musí mít složku polární, která je dána rovnicí:

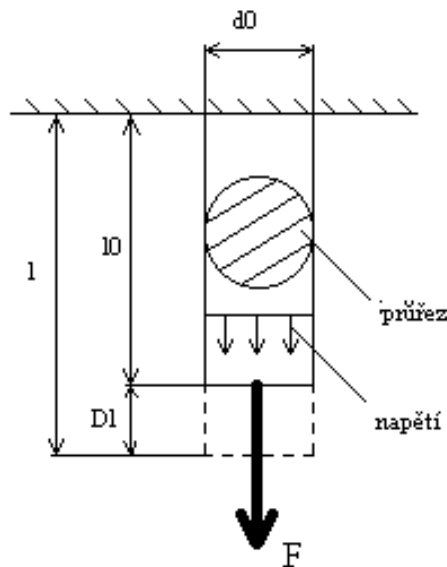
$$\gamma^{AB} = 2 \sqrt{\gamma^+} \cdot \sqrt{\gamma^-} \quad [28]. \quad (5)$$

Rovnici zapíšeme do matice tvaru $Ax = B$ s údaji kontaktního úhlu jednotlivých kapalin na pevné látce. Systém může být předurčený použitím více jak tří kapalin, poté použijeme metodu nejmenších čtverců k určení koeficientů v rovnici:

$$\frac{(1+\cos\theta_i)}{2} \cdot \frac{\gamma_l}{\gamma_l^{LW}} = \gamma_s^{LW} + \gamma_s^+ \cdot \sqrt{\frac{\gamma_l^-}{\gamma_l^{LW}}} + \sqrt{\gamma^-} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_l^+}{\gamma_l^{LW}}} \quad [28]. \quad (6)$$

Metoda se třemi kapalinami není příliš stabilní při špatně zvolených testovacích kapalinách, na rozdíl od metody regresivní. Výsledek regresivní metody je většinou velmi blízký výstupu tříkapalinové metody s kombinací doporučených kapalin [28].

3.2 Tah



Obrázek 29 – Zkouška tahem [29]

Je nejrozšířenější mechanickou zkouškou (Obrázek 29). Při této zkoušce vzniká ve zkušebním tělese jednoosá rovnoměrná tahová napjatost, s níž se v provozních podmínkách setkáme jen výjimečně. Přesto mají vlastnosti určené zkouškou tahem velký význam, neboť je na základě dlouholetých zkušeností umíme správně hodnotit. Při běžné zkoušce tahem zjistíme tyto čtyři následující vlastnosti – mez kluzu v tahu R_e , mez pevnosti v tahu R_m , tažnost A a kontrakce Z . Tyto vlastnosti vypočteme následujícími rovnicemi:

$$R_e = F_e / S_0 \text{ [MPa]} \quad (7)$$

kde:

- F_e je zátěžná síla na horní mezi kluzu
- S_0 je počáteční průřez zkušební tyče [29, 30].

$$R_m = F_m / S_0 \text{ [MPa]} \quad (8)$$

kde:

- F_m je maximální zátěžná síla [29, 30].

$$A = [(L_u - L_0) / L_0] * 100 \text{ [%]} \quad (9)$$

kde:

- L_u je délka tyče po přetržení
- L_0 je počáteční délka tyče [29, 30].

$$Z = [(S_0 - S_u) / S_0] * 100 \text{ [%]} \quad (10)$$

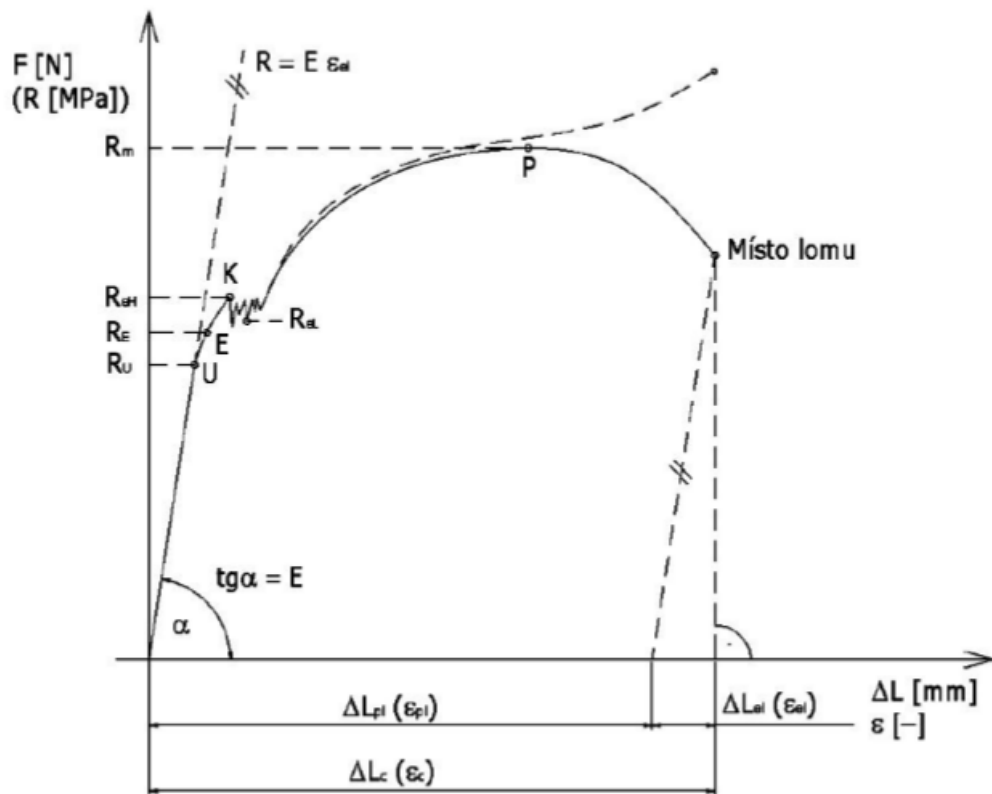
kde:

- S_u je průřez tyče v nejužším místě po přetržení [29, 30].

3.2.1 Měření pevnosti v tahu trhacím strojem Quasarem 25

Trhací stroj se skládá ze základové desky, rámu se dvěma pojezdy a hlavního měřícího zařízení. Hlavní měřící zařízení jsou dvě (horní a dolní) upínací čelisti, na nichž jsou připojeny dva příručníky k upnutí vzorku. Čelisti musí být připojeny k přístroji tak, že hlavní osa zkušebních těles je shodná se směrem protahování zkušebních těles a prochází střední osou spojky čelisti. K přístroji je pro vyhodnocování naměřených dat připojen počítač se softwarem Galdabini. K dispozici je také průtahoměr [31].

Na Obrázku 30 vidíme tzv. pracovní diagram, který nám vykreslí software napojený na trhačku za pomoci počítače v průběhu tahové zkoušky, v němž můžeme sledovat několik charakteristických bodů a jím odpovídajících napětí [29, 30].



Vysvětlivky: U – mez úměrnosti, E – mez pružnosti, K – mez kluzu, P – mez pevnosti,
 S – bod, kdy dojde k přetržení zkušebního vzorku [29].

Obrázek 30 - Pracovní diagram [29]

3.3 Reologie

Zabývá se chováním polymerních tavenin během toku. K popisu tokového chování používáme reologických modelů [32].

Nejjednodušší model pro popis tokového chování během smykového namáhání je Newtonův zákon:

$$\tau_{xy} = \eta_0 * \dot{\gamma}_{xy} \quad (11)$$

kde:

τ_{xy} je smykové napětí

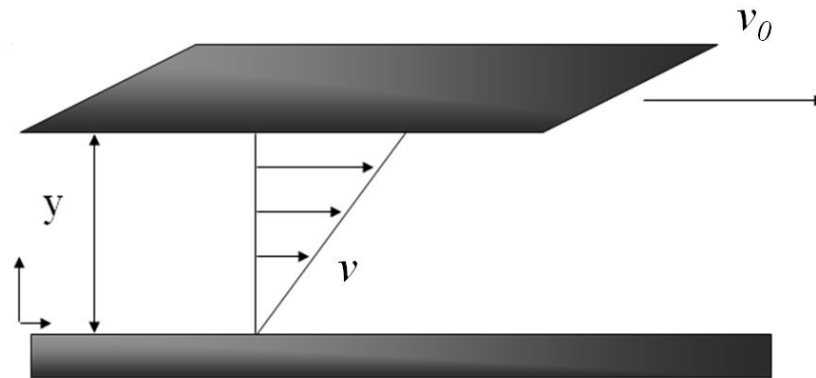
$\dot{\gamma}_{xy}$ je rychlost smykové deformace

η_0 je newtonská viskozita [32].

Při jeho definici vyjdeme z představy polymerní taveniny mezi dvěma deskami. Spodní deska je stacionární, horní deska se pohybuje rychlostí v_0 vyvolanou smykovou silou F působící v rovině desky s plochou A (Obrázek 31) [32].

Smykové napětí je pak dáno:

$$\tau = F / A \quad [32]. \quad (12)$$



Obrázek 31 – Model reologického chování během smykového namáhání [32]

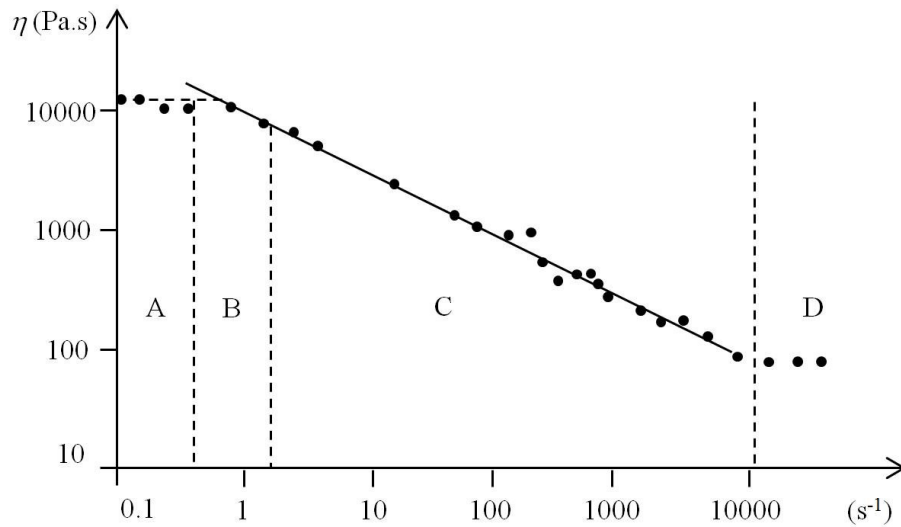
Horní vrstva se vlivem působící síly posune, přičemž relativní posunutí (mezi dvěma vrstvami) vyjadřuje smykovou deformaci:

$$\gamma = v / y \quad [32]. \quad (13)$$

Rychlost smykové deformace je pak dána vztahem:

$$\frac{d\gamma}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{dy} \right) = \dot{\gamma}_{xy} \quad [32]. \quad (14)$$

Většina polymerních látek se během toku chová newtonsky jen při velmi nízkých rychlostech smykové deformace (Obrázek 32 - oblast A). Dalším zvyšováním viskozita buď klesá (typické chování pro polymerní taveniny) nebo stoupá, přičemž v tzv. přechodové oblasti (Obrázek 32 - oblast B) se směrnice závislosti mění, než se ustálí do konstantní hodnoty určující stupeň neneutonského chování (Obrázek 32 - oblast C). Poslední oblast tokové křivky (Obrázek 32 - oblast D) je tzv. druhé newtonské plateau charakteristické opětovným ustálením viskozity [32].



Obrázek 32 – Toková křivka polymerních látek [32]

Oblast A vystihuje Newtonův zákon. Oblast C popisuje tzv. mocninovým zákonem, který je dán rovnicí:

$$\tau = m * \gamma^n \quad (15)$$

kde:

- m je konzistence ($Pa \cdot s^n$), vyjadřuje fluiditu materiálu (vysoká hodnota m značí velkou viskozitu)
- n je index neneutonského chování ($n > 1$ dilatantní; $n < 1$ pseudoplastické – většina, $n = 1$ newtonské) [32].

Dalšími reologickými modely jsou:

A) Carreau model

Často je součástí vyhodnocovacího softwaru reologických přístrojů [32].

B) Polynomický model

V podstatě rozšířený mocninový zákon [32].

C) Ellisův model

Vystihuje dobře oblast newtonské viskozity v oblasti nízkých rychlostí smykové deformace i lineární vztah mezi $\log \tau$ a $\log \dot{\gamma}$ pro oblast vyšších rychlostí smykové deformace [32].

D) Binghamův model

Popisuje tokové chování tzv. binghamských látek. Tyto látky se začnou deformovat až po překonání určitého tzv. prahového napětí. Binghamské látky mohou být newtonské, pseudo-plastické či dilatantní [32].

E) Cassonův model

Zobrazení tokové křivky v tzv. cassonských souřadnicích slouží k jednoduchému určení hodnoty prahového napětí [32].

3.3.1 Viskozita

Viskozita neboli míra úměrnosti mezi napětím a rychlostí smykové deformace, je v jednotkách Pa.s. Pro látky chovající se během deformace podle Newtonova zákona je viskozita materiálovou konstantou (nezávislá na čase a rychlosti smykové deformace). Závisí ale na procesních a molekulárních parametrech:

A) Na teplotě:

Empirický vztah, který vystihuje závislost viskozity na teplotě v teplotním intervalu (T_g , $T_g + 100$ K) je WLF (Williams - Landel - Ferry) rovnice:

$$\log \eta (T) = \log \eta (T_g) - [c_1 (T - T_g)] / [c_2 + T - T_g] \quad (16)$$

kde:

- c_1 a c_2 jsou univerzální konstanty ($c_1 = 17,44$; $c_2 = 51,60$) [32].

Pro teploty vyšší než 100 K nad T_g lze závislost viskozity na teplotě popsat Arrheniovým vztahem:

$$\eta = \eta_0 * e^{\frac{E}{RT}} \quad (17)$$

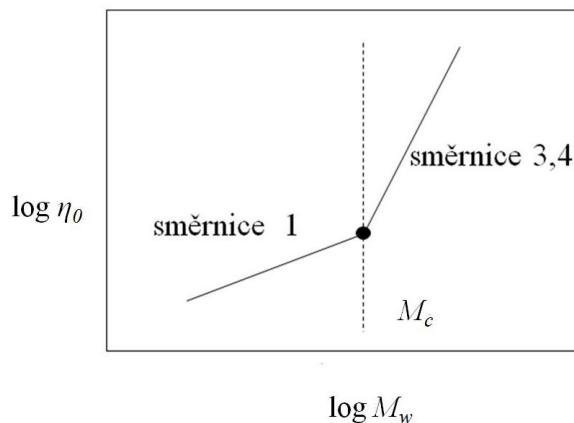
kde:

- η je viskozita při teplotě T
- η_0 je limitní (newtonská) viskozita
- E je aktivační energie
- R je univerzální plynová konstanta
- T je teplota [32].

Vztah vychází z tzv. energetické teorie, podle níž se přeskok částice může uskutečnit pouze, získá-li během toku takovou energii E , která jí umožní překonat energetickou bariéru, oddělující její polohu od polohy vakance [32].

B) Na molekulové hmotnosti:

Viskozita roste (Obrázek 33) s molekulovou hmotností přímo úměrně do tzv. kritické molekulové hmotnosti M_c , která reprezentuje pomyslný bod zlomu, kdy začnou být řetězce dostatečně dlouhé na to, aby vliv zapletenin začal být významný. Nad touto kritickou molekulovou hmotností M_c roste viskozita strměji. Hodnota směrnice závislosti newtonské viskozity na molekulové hmotnosti je většinou 3,4 [32].



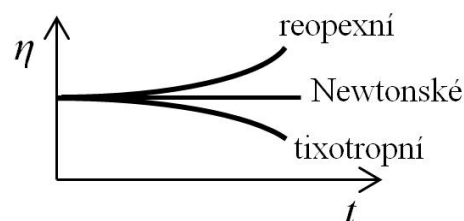
Obrázek 33 – Závislost viskozity na M_w [32]

C) Na tlaku:

Zvýšení tlaku má za následek omezení mobility molekulárních řetězců polymerní taveniny, a tedy zvýšení viskozity [32].

D) Na čase:

Viskozita časově závislých materiálů buď s časem roste – reopexní nebo klesá – chování tixotropní (Obrázek 34) [32].

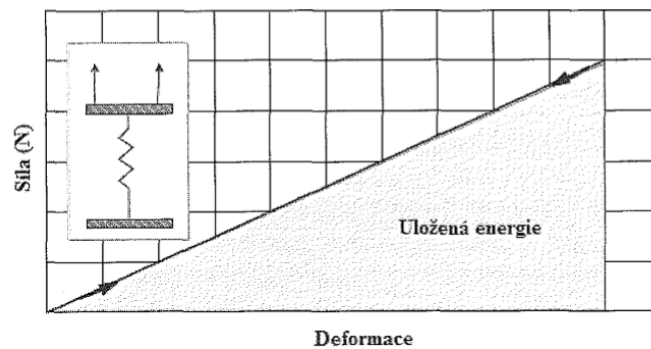


Obrázek 34 – Závislost viskozity na t [32]

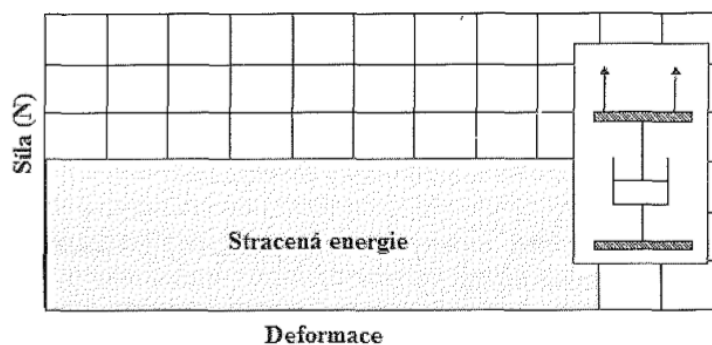
3.3.2 Měření tokových vlastností na RPA

Univerzální nástroj na měření komplexního krouticího momentu S^* , jako odezvy vzorku na smykové namáhání [33].

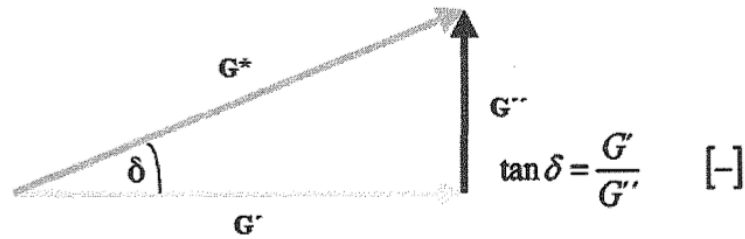
Mezi další velmi významné vlastnosti, které lze získat z měření na RPA patří hodnoty komplexního modulu G^* a jeho složek G' , G'' , ztrátového faktoru $\tan\delta$ (Obrázek 37) a komplexní dynamické viskozity η^* a jejich složek η' , η'' . Právě tyto veličiny vypovídají o skutečném chování materiálu. Komplexní modul je složen ze dvou základních složek charakterizujících viskoelastické chování materiálu. První je složka elastická (reálná) G' a druhá složka viskózní (imaginární) G'' . Elastickou složku G' , kterou si je možno představit jako chování ocelové pružiny, kde veškerá energie, kterou na pružinu působíme, se v ní ukládá a po uvolnění napětí se vyzáří zpět do okolí (Obrázek 35). Naproti tomu lze chování složky viskózní G'' demonstrovat na chování pístu (Obrázek 36). Zde je veškerá energie pohlcena viskózní kapalinou a přeměněna na teplo [34].



Obrázek 35 - Elastický modul G' [34]



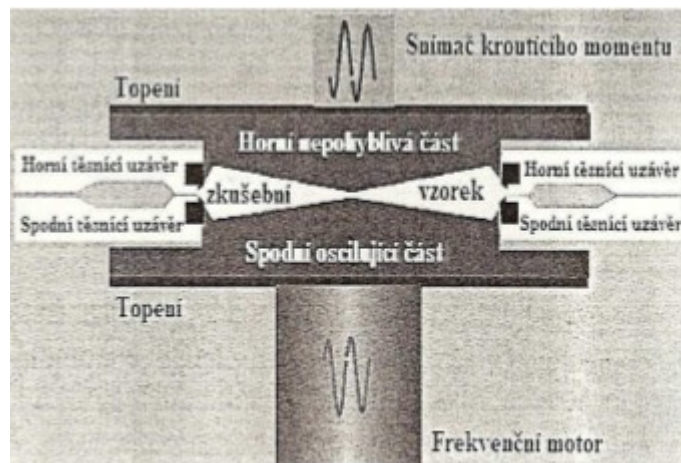
Obrázek 36 - Viskózní modul G'' [34]



Obrázek 37 - Ztrátový faktor $\tan \delta$ [34]

Velmi důležitou veličinou, která je dána poměrem elastické a viskózní složky, je elasticita (pružnost) materiálu $tg\delta$, která dává materiálu schopnost deformovat se vratně [33].

Na Obrázku 38 vidíme konstrukci komory RPA, do které se vkládá připravený vzorek směsi, o hmotnosti okolo 5g, kde je uzavřen silou 15 kN. Horní a spodní části formy jsou vyhřívány na nastavenou teplotu, na což dohlíží platinová teplotní čidla umístěná těsně u povrchu formy. Zařízení nabízí možnost formu chladit pomocí proudícího vzduchu. Krouticí moment je přenášen přes vzorek ze spodní oscilující části do horní. Ta je opatřena senzorem, který změnu zaznamenává softwarem. Oscilaci spodní části formy zajišťuje motor schopný pracovat v širokém rozsahu frekvencí a úhlů oscilace [35].



Obrázek 38 - Konstrukce komory RPA [35]

PRAKTICKÁ ČÁST

4 POUŽITÉ MATERIÁLY

4.1 Nenasycená polyesterová pryskyřice

E96 vykazuje dobrou smáčivost, díky čemuž může být použit ve směsi vysoký podíl plniv a výztuže. Dobré mechanické vlastnosti s vysokou teplotní odolností. Použití se doporučuje v kombinaci s LPA a to z důvodu dosažení kvalitního povrchu.

Technický list je uveden v Příloze.

4.2 Styren

Aromatický styren způsobuje u polyesterů tvorbu příčných můstků, kdy po vytvrzení vzniká 3D síť. Na vzduchu dochází k jeho odpařování.

4.3 Procesní aditiva

4.3.1 BYK W 972

Je přísada pro výrobu SMS/BMC směsí. Má za úkol homogenizovat a stabilizovat systém, zvýšit barevnou jednodolitost výlisků, zlepšit smáčivost vláken a optimalizovat vlastnosti.

Technický list je uveden v Příloze.

4.3.2 BYK W 996

Je taktéž přísada pro výrobu SMC/BMC směsí. Přísada pro plněné nenasycené polyesterové a epoxidové systémy. Má za úkol snižovat viskozitu.

Technický list je uveden v Příloze.

4.3.3 BYK P 9065

Je přísada pro výrobu SMC/BMC směsí. Jejím přidáním snáze vyjmeme vzorek z formy.

Technický list je uveden v Příloze.

4.4 Supraplast

Je komerčně vyráběná BMC směs určená pro lisování světlometů.

4.5 Pigment šedý

Výrobce: Chromaflo Technologies CF RAL 7035.

Disperze pigmentu v nenasyčené polyesterové pryskyřici.

4.6 LPA

Anglicky Low Profile Aditivum je látka bránící smrštění.

LPA je doporučeno užívat ve spojení s nenasyčenou polyesterovou pryskyřicí E-96 a to z důvodu dosažení kvalitního povrchu.

Technický list je uveden v Příloze.

4.7 TBPB

Tert-Butyl peroxybenzovát je nažloutlá aromatická tekutá látka používaná především při iniciaci polymeračních reakcí, kdy způsobuje rozpad dvojných vazeb a posléze také síťování.

4.8 Loxiol

Loxiol je mírně nažloutlá vysokomolekulární kapalina prakticky bez zápachu. Jako vnitřní separátor způsobí při lisování snadnější vystoupení výlisků z lisovací formy.

Technický list je uveden v Příloze.

4.9 CaCO₃

Mletý vápenec je jemným práškem šedivé barvy. Velikost 5 μm a 2 μm.

Technický list je uveden v Příloze.

4.10 Sekaná skelná vlákna

Délka vláken 6mm.

5 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES

V experimentální části diplomové práce bylo připraveno několik BMC směsí.

5.1 Míchání

První směs byla připravena bez procesního aditiva. Složení této směsi je znázorněno v Tabulce 2.

Tabulka 2 – Složení směsi bez procesního aditiva

Složky	m [g]
UP E96	120
Styren	10
Šedý pigment	6
LPA	80
TBPB	2,4
Loxiol	15
CaCO₃ (2 μm)	200
CaCO₃ (5 μm)	200
Skleněná vlákna	100
m_{teor} [g]	733,4

Ostatních devět směsí bylo připraveno s procesními aditivy. Navrhnuty byly tři různá aditiva (BYK W 972, BYK W 996, BYK P 9065), ze kterých se dále vycházelo. Přehled složení směsí s procesním aditivem BYK W 972 je znázorněn v Tabulce 3. Přehled složení směsí s procesním aditivem BYK W 996 je znázorněn v Tabulce 4. Přehled složení směsí s procesním aditivem BYK P 9065 je znázorněn v Tabulce 5.

Tabulka 3 – Složení první směsi s procesním aditivem BYK W 972

Složky	Směs 1A		Směs 1B		Směs 1C	
	m [g]	hmotnostní %	m [g]	hmotnostní %	m [g]	hmotnostní %
UP E96	120	15,4	120	15,3	120	15,2
Styren	10	1,3	10	1,3	10	1,3
BYK W - 972	3	0,4	6	0,8	12	1,5
Šedý pigment	12	1,5	12	1,5	12	1,5
LPA	80	10,3	80	10,2	80	10,1
TBPB	2,4	0,3	2,4	0,3	2,4	0,3
Loxiol	2	0,3	2	0,3	2	0,3
CaCO ₃ (2 μm)	200	25,7	200	25,6	200	25,4
CaCO ₃ (5 μm)	200	25,7	200	25,6	200	25,4
Skleněná vlákna	150	19,2	150	19,2	150	19,0
m _{teor} [g]	779,4	100	782,4	100	788,4	100

Tabulka 4 – Složení druhé směsi s procesním aditivem BYK W 996

Složky	Směs 2A		Směs 2B		Směs 2C	
	m [g]	hmotnostní %	m [g]	hmotnostní %	m [g]	hmotnostní %
UP E96	120	15,4	120	15,3	120	15,2
Styren	10	1,3	10	1,3	10	1,3
BYK W - 972	3	0,4	6	0,8	12	1,5
Šedý pigment	12	1,5	12	1,5	12	1,5
LPA	80	10,3	80	10,2	80	10,1
TBPB	2,4	0,3	2,4	0,3	2,4	0,3
Loxiol	2	0,3	2	0,3	2	0,3
CaCO ₃ (2 μm)	200	25,7	200	25,6	200	25,4
CaCO ₃ (5 μm)	200	25,7	200	25,6	200	25,4
Skleněná vlákna	150	19,2	150	19,2	150	19,0
m _{teor} [g]	779,4	100	782,4	100	788,4	100

Tabulka 5 – Složení třetí směsi s procesními aditivy

Složky	Směs 3A		Směs 3B	
	m [g]	hmotnostní %	m [g]	hmotnostní %
UP E96	120	15,3	120	15,3
Styren	10	1,3	10	1,3
BYK W - 972	6	0,8	0	0
BYK W - 996	0	0	6	0,8
BYK P - 9065	3	0,4	3	0,4
Šedý pigment	12	1,5	12	1,5
LPA	80	10,2	80	10,2
TBPB	2,4	0,3	2,4	0,3
CaCO ₃ (2 μm)	200	25,5	200	25,5
CaCO ₃ (5 μm)	200	25,5	200	25,5
Skleněná vlákna	150	19,1	150	19,1
m_{teor} [g]	783,4	100	783,4	100

Samotný míchací proces probíhal následovně:

- Viskózní přísady UP E96, styren a procesní aditivum (BYK W 972, BYK W 996, BYK P 9065) byly naváženy na laboratorních vahách do jednoho kelímku a následně přelity do mísy a míchány na laboratorním míchacím zařízení (Obrázek 39) s regulací otáček.



Obrázek 39 – Školní laboratorní míchací zařízení

- Šedé barvivo bylo do zamíchané směsi přidáno stříkačkou přímo do nádoby mixéru (Obrázek 40).



Obrázek 40 – Zamíchaná BMC směs

- Viskózní přísady LPA, TBPB a Loxiol byly naváženy do jednoho kelímku a přelity do směsi a zamíchány.
- Sypké přísady CaCO_3 (2 μm a 5 μm) se postupně přisypávaly (Obrázek 41), a protože hodně práší a zvyšuje viskozitu směsi, byla nutná i regulace otáček a teploty, která nesměla překročit 50 °C (sít'ovací reakce).



Obrázek 41 – Míchání BMC pasty s CaCO_3

Před přidání další složky pro přípravu BMC směsi muselo dojít vždy k úplné homogenizaci směsi.

5.2 Hnětení

Po zamíchání ve školním laboratorním míchacím zařízení vznikla směs s vysokou viskozitou – pasta, která se přenesla do hnětacího prostoru školního laboratorního hnětiče (Obrázek 42 a Obrázek 43). V tomto okamžiku došlo k materiálovým ztrátám. Hnětič je vodou chlazené zařízení s regulovatelnými otáčkami.



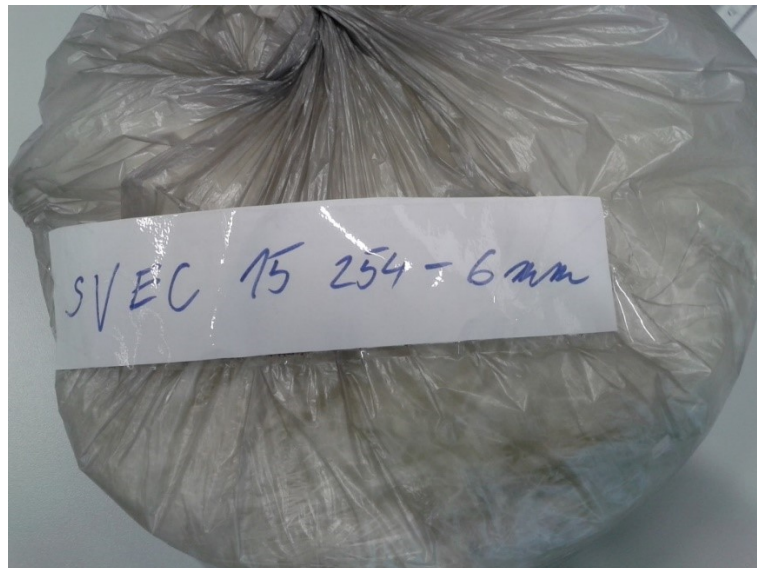
Obrázek 42 – Školní laboratorní hnětič chlazen vodou



Obrázek 43 – Míhací prostor hnětiče s BMC pastou

Samotný postup probíhal ve dvou krocích:

- Nejprve byla přidána předem zamíchaná BMC pasta, která se nechala promíchat po dobu 10 min (nejprve při nízkých, posléze při zvýšených otáčkách).
- Posléze byla přidána skelná vlákna (Obrázek 44), která spolu s pastou byla hnětena po dobu max. 5 minut.



Obrázek 44 – Detail parametrů skleněných vláken

Nakonec byly výsledné směsi (Obrázek 45) evakuovány a zataveny do HDPE pytlíku a uloženy do exikátoru.



Obrázek 45 – BMC směs 1A

5.3 Lisování

Podmínky lisování (stejně jako podmínky hnětení) byly pro všechny vzorky stejné.

Podmínky lisování:

- teplota: 150 °C
- čas: 5 minut
- rozměr formy: 125 x 125 x 4 mm
- navážka směsi: 150 g.

Směsi se lisovaly na školním laboratorním lisu s dolním přítlačným pístem (Obrázek 46).



Obrázek 46 – Školní laboratorní lis

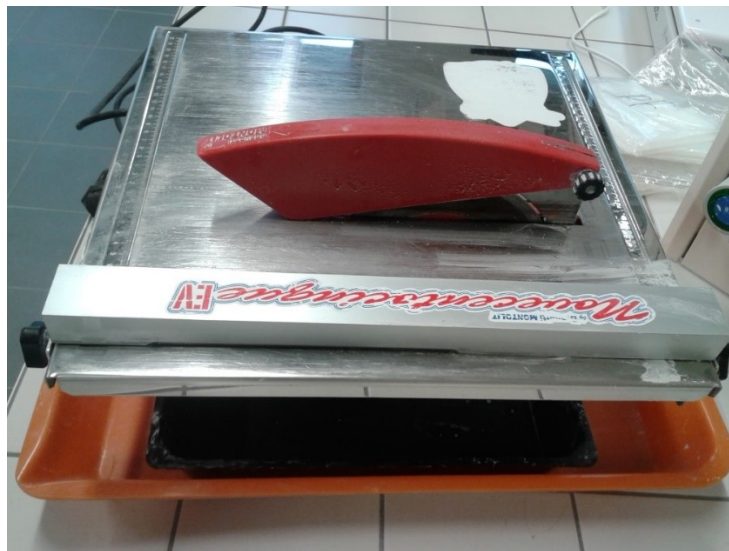
Použitá lisovací forma měla tvar čtverce, přičemž z důvodu zlepšení vzhledu výlisku byla vložena mezi kovové destičky a materiál PET fólie. Do lisovacího prostoru se tedy dávala kovová lisovací deska – kovový lisovací rámeček – PET fólie – materiál – PET fólie – kovová lisovací deska.

Po vyjmutí z lisu a následném zchlazení byly vzorky jednotlivých směsí vyfoceny pro posouzení.

Z každé receptury byly za účelem diplomové práce vylisovány tři destičky, celkem tedy dvacet sedm destiček.

Přetoky materiálu přesahující okraj formy, byly po vyjmutí z formy odstraněny pomocí laboratorních nůžek a pilníku.

Nakonec byly vylisované destičky rozřezány na školní laboratorní stolní pile s diamantovým kotoučem (Obrázek 47) na vzorky normovaných rozměrů, aby mohly být použity pro jednotlivé zkoušky.



Obrázek 47 - Školní laboratorní pila

6 POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ METODY

6.1 Vizuální kontrola výlisků

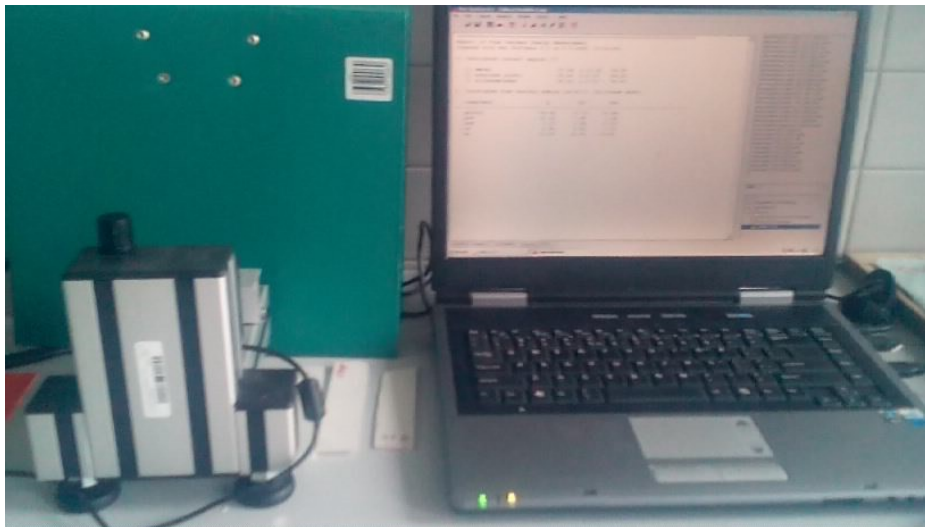
Prvním hodnoceným kritériem vylisovaných destiček byl vzhled povrchu a homogenita vybarvení.

6.2 Stanovení povrchové energie výlisků

Pro zhodnocení smáčitelnosti a adhezních vlastností výlisků, které by se měli výrazně zlepšit nahrazením běžných typů separátorů právě procesním aditivem byla vybrána metoda stanovení povrchové energie z měření kontaktního úhlu smáčení.

6.2.1 Zkušební přístroj

Zkušebním přístrojem byla CCD kamera, ke které byl připojen PC se softwarem See systém (Obrázek 48).



Obrázek 48 - Zkušební přístroj pro měření povrchové energie

6.3 Tahová zkouška

Třetím hodnoceným kritériem vylisovaných destiček byla pevnost.

Postupovaly jsme dle normy ČSN EN ISO 527-1.

6.3.1 Zkušební přístroj

Zkušebním nástrojem byl školní laboratorní přístroj Quasar 25 (Galdabini) (Obrázek 49).



Obrázek 49 – Zkušební přístroj Quasar 25

6.4 Tokové chování BMC směsí

Čtvrtým hodnoceným kritériem vylisovaných destiček byla elasticita a zpracovatelské vlastnosti (viskozita).

6.4.1 Zkušební přístroj

Zkušebním přístrojem byl reometr v uspořádání kužel – kužel VTM (RPA 2000) (Obrázek 50).



Obrázek 50 – Viskozimetr

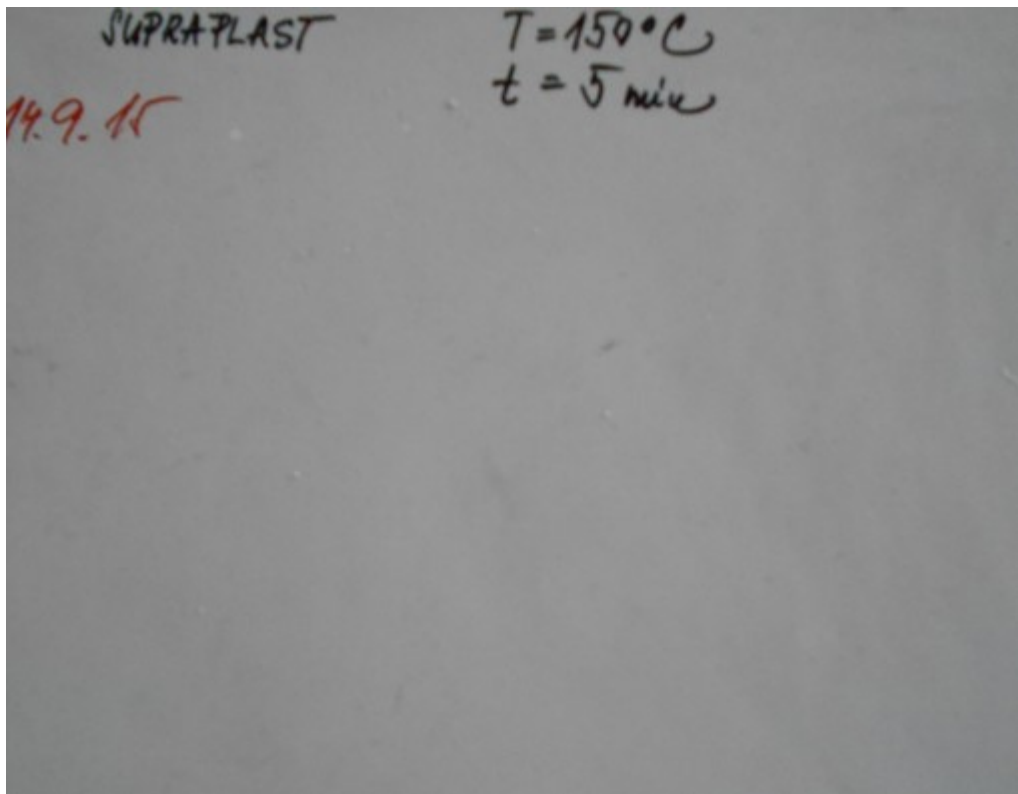
7 VÝSLEDKY A DISKUSE

7.1 Vizuální kontrola výlisků

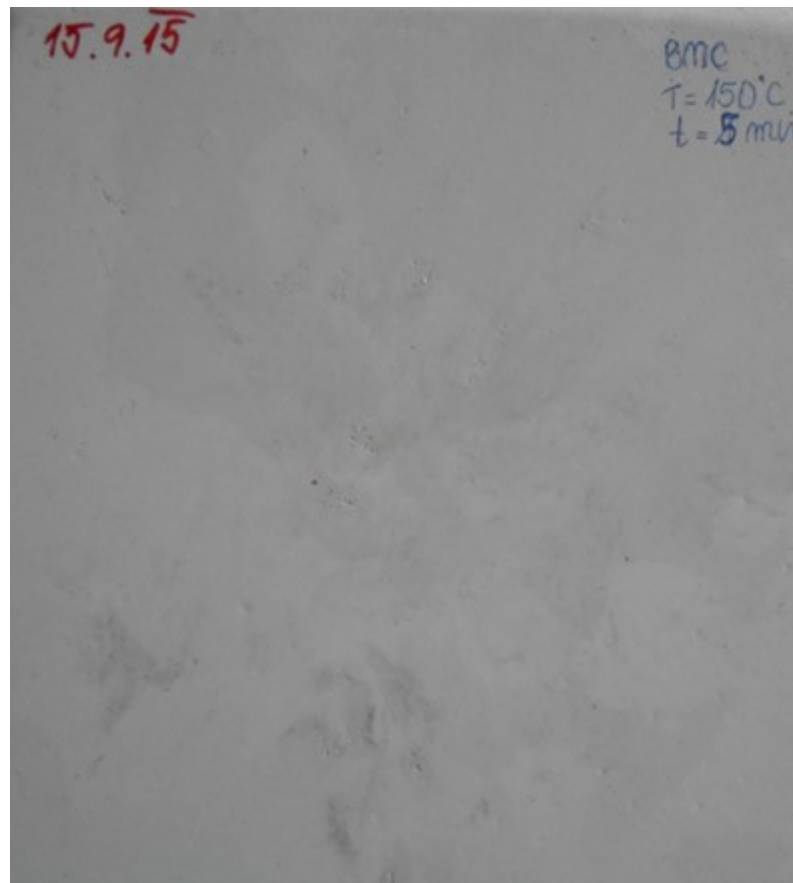
7.1.1 Postup zkoušky

- Vylisované destičky jsme vyfotily (Obrázek 51 – 55) a vyhodnocovaly mezi sebou známkováním (Tabulka 6).

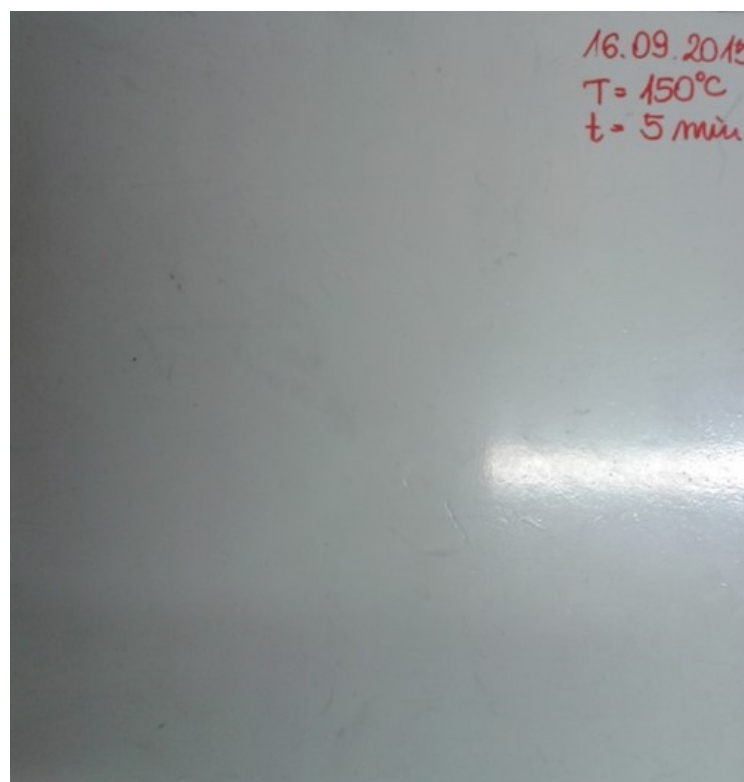
7.1.2 Vyhodnocení a diskuse

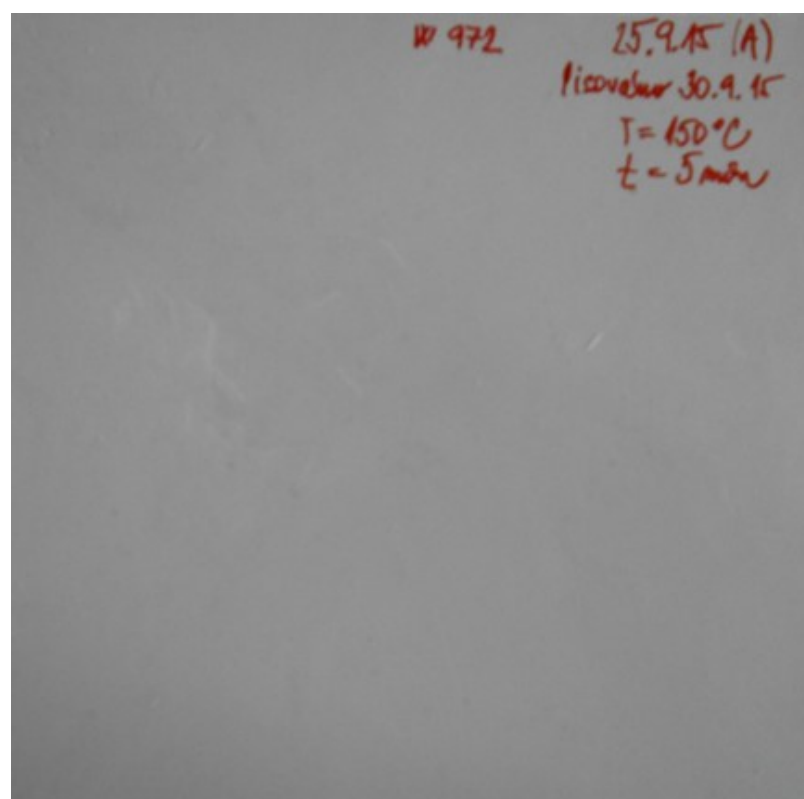
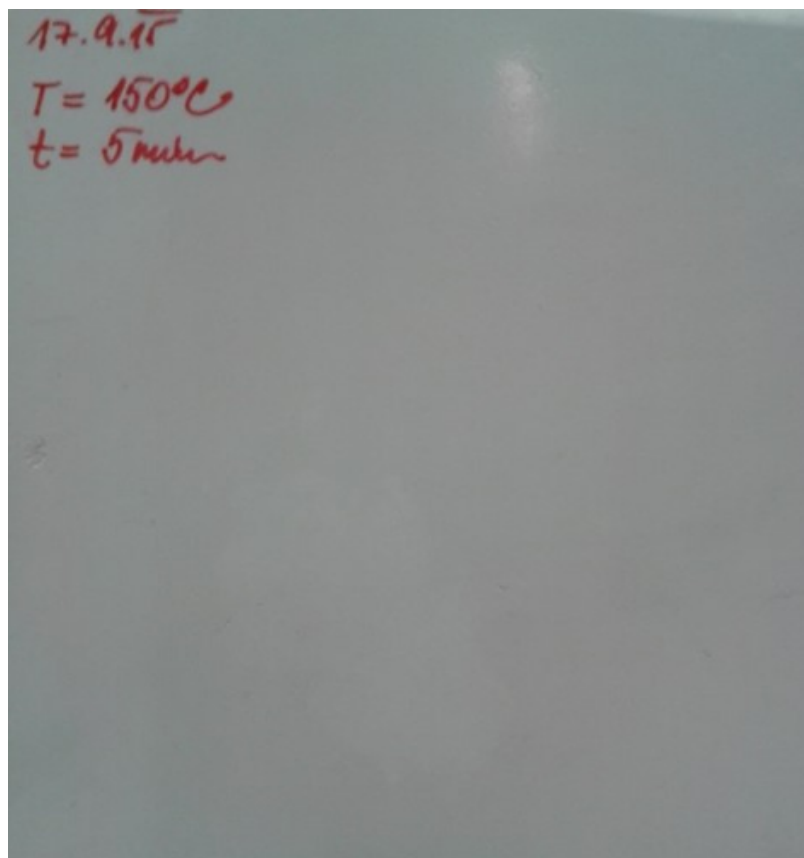


Obrázek 51 – Vylisovaná destička ze Supraplastu

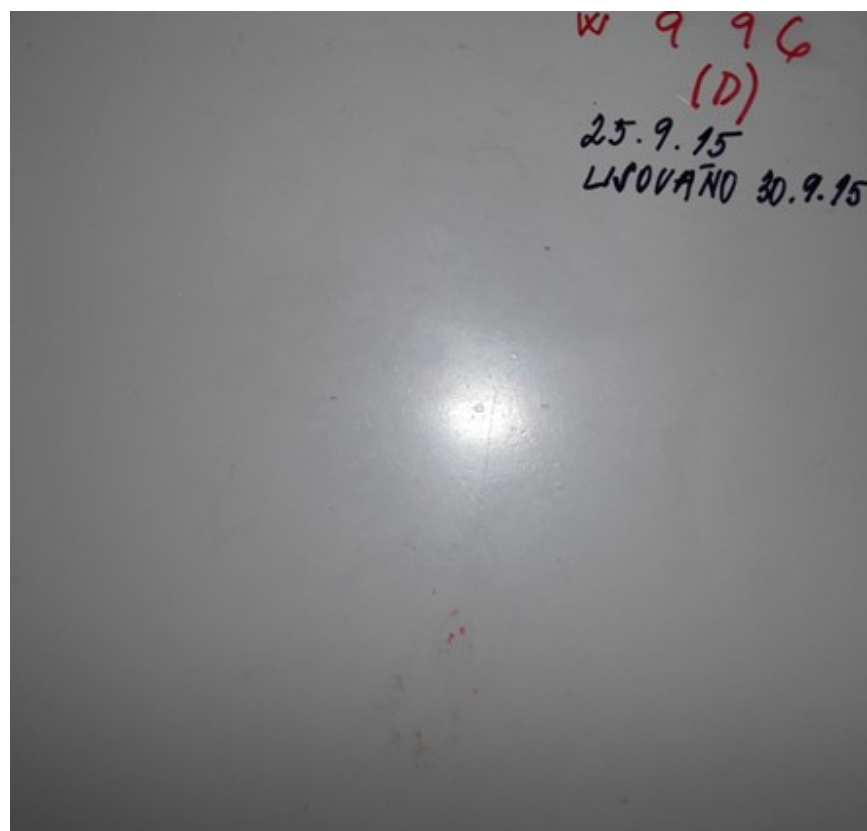
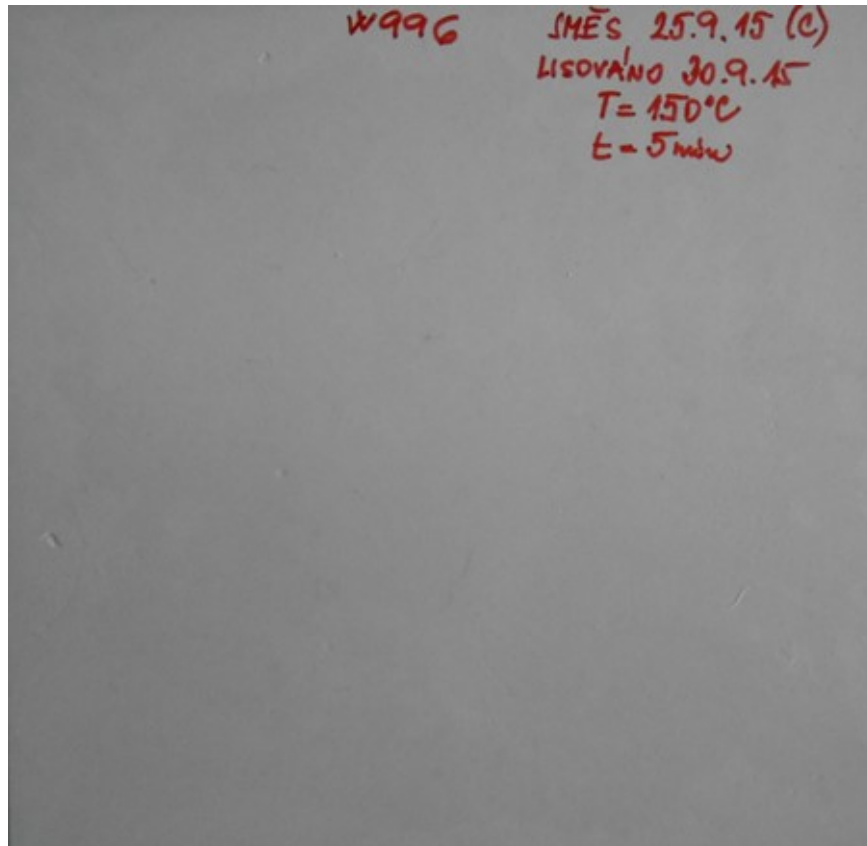


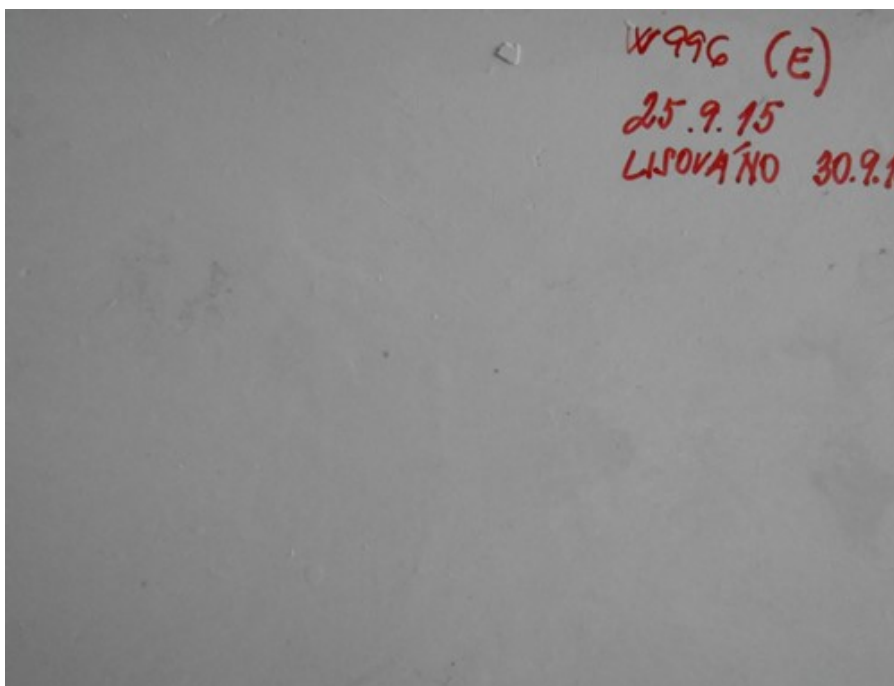
Obrázek 52 – Vylisovaná destička z
BMC směsi bez procesního aditiva



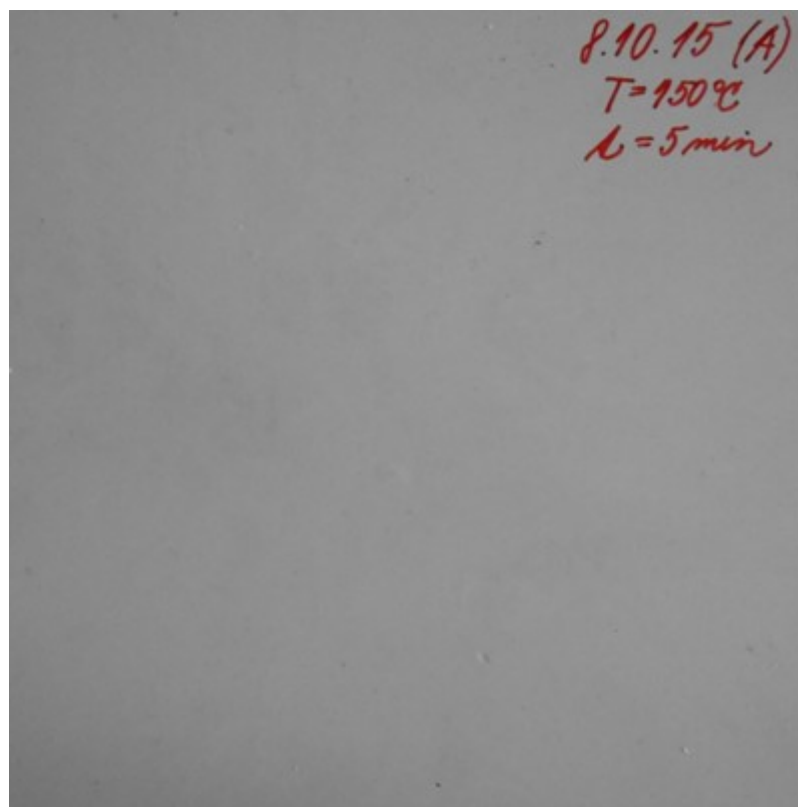


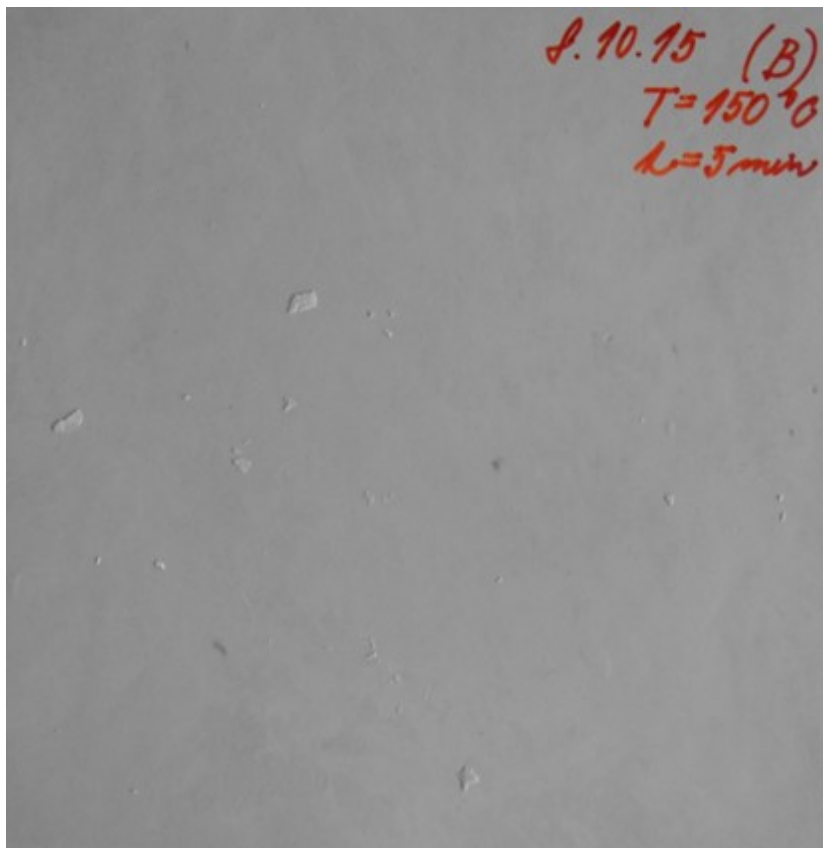
Obrázek 53 – Vylisované destičky z první BMC směsi s procesním aditivem (1A – 3g W 972, 1B – 6g W 972, 1C – 12 g W 972)





Obrázek 54 – Vylisované destičky z druhé BMC směsi s procesním aditivem
(2A – 3g W 996, 2B – 6g W 996, 2C – 12g W 996)





Obrázek 55 – Vylisované destičky ze třetí BMC směsi s procesním aditivem (3A – 6g W 972 + 3g P 9065, 3B – 6g W 996 + 3g P 9065)

Tabulka 6 – Zhodnocení vzhledu známkami

Supraplast	3
BMC směs bez procesního aditiva	5
BMC směs 1A (3g W 972)	2
BMC směs 1B (6g W 972)	1
BMC směs 1C (12g W 972)	4
BMC směs 2A (3g W 996)	2
BMC směs 2B (6g W 996)	1
BMC směs 2C (12g W 996)	4
BMC směs 3A (6g W 972 + 3g P 9065)	2
BMC směs 3B (6g W 996 + 3g P 9065)	4

Vysvětlivky: Znamka 1 - vzorek nejlepší, znamka 5 – vzorek nejhorší.

BMC směs bez použití procesních aditiv byla na základě měření posouzena jako nejhorší ze všech připravených BMC směsí s viditelnými prasklinami a znatelnými nerovnostmi.

Lepší barevné homogenity a rovnosti povrchu dosáhla pouze oproti BMC směsi bez použití procesního aditiva směs s 12g obsahem procesního aditiva W 972, směs s 12g obsahem procesního aditiva W 996 a směs s 6g obsahem procesního aditiva W 996 a 3g obsahem procesního aditiva P 9065. Zde byl viditelný nerovný povrch.

Ke zlepšení zkoumaných vlastností oproti předchozím směsím došlo u komerčně vyráběné BMC směsi zvané Supraplast.

BMC směs s 3g obsahem procesního aditiva W 972, směs s 3g obsahem procesního aditiva W 996 a směs s 6g obsahem procesního aditiva W 972 a 3g obsahem procesního aditiva P 9065 dosáhla zlepšení sledovaných vlastností i oproti komerčně vyráběnému Supraplastu. Destička je téměř homogenní bez viditelných prasklin a nerovností.

Nejlepší barevné homogenity a povrchu bez nerovností dosáhla BMC směs s 6g obsahem procesního aditiva W 972 a směs s 6g obsahem procesního aditiva W 996. Druhá zmíněná směs byla vyhodnocena jako nejlepší.

7.2 Stanovení povrchové energie výlisků

7.2.1 Postup zkoušky

- Zadané zkušební vzorky je třeba nejprve očistit, odmastit. K tomu jsme použili navlhčený ubrousek isopropanolem. Očištění jsme prováděly jedním tahem přes vzorek.
- Zapnuly PC program See Systém, ke kterému jsme připojily kameru.
- Na měřicí posuvný stolek kamery jsme umístily očištěný měřený vzorek.
- Na připravený vzorek jsme kápły mikropipetou (10 μ l) první kapku vybrané měřicí kapaliny (postupně pro vodu, ethylenglykol, diidometan).
- Pomocí posuvného stolku jsme zaostřily, abychom dobře viděly rozhraní mezi kapkou a měřeným povrchem.
- Postupně jsme nakapaly všech pět kapek od jedné měřené kapaliny a vyfotily je.
- Poté jsme provedly měření s druhou a třetí měřicí kapalinou, a taktéž je vyfotily.
- Otevřely jsme fotku kapky, kterou jsme chtěli analyzovat, vyznačily na ní tři body, podle kterých se opíše kružnice kolem kapky.

- Takto jsme vyhodnotily všechny kapky se všemi měřícími kapalinami (Obrázek 56).



Obrázek 56 – Jednotlivé kapky všech měřených kapalin

- Následoval výpočet povrchové energie dle modelu Acid-Base.
- Výsledné hodnoty jsme zapsaly do tabulek, ze kterých jsme vytvořily grafy.

7.2.2 Vyhodnocení a diskuse

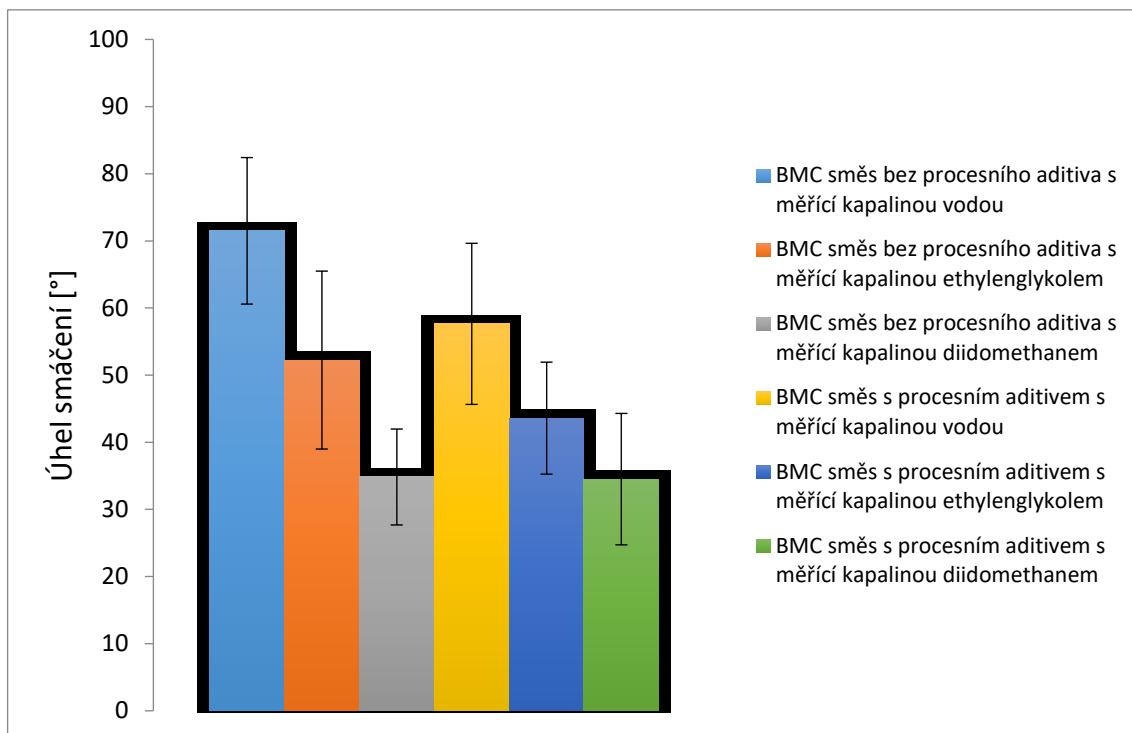
V Tabulce 7 jsou uvedeny hodnoty povrchového napětí vody, ethylenglykolu a diidometanu.

Tabulka 7 – Povrchové napětí kapalin

Kapaliny	σ [N/m]
Voda	0,07275
Ethylenglykol	0,04800
Diidometan	0,05088

Tabulka 8 – Kontaktní úhly jednotlivých vzorků

Vzorek	θ_{voda} [°]	$\theta_{\text{ethylenglykol}}$ [°]	$\theta_{\text{diidometan}}$ [°]
BMC směs bez procesního aditiva	71,50 ± 10,91	52,25 ± 13,25	34,83 ± 7,15
BMC směs 1A (3g W 972)	57,64 ± 12,00	43,60 ± 8,34	34,51 ± 9,79

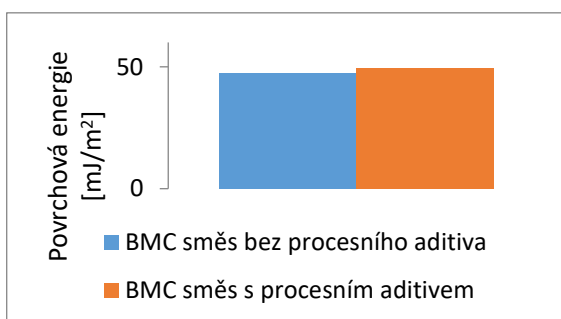


Graf 1 – Závislost úhlu smáčení s použitím a bez použití procesního aditiva

Z Tabulky 8 a Grafu 1 je vidět, že úhel smáčení vylisované destičky dosahuje vyšších hodnot u vzorku bez použití procesního aditiva.

Tabulka 9 – Hodnoty povrchové energie jednotlivých vzorků

Vzorek	γ_{total} [mJ/m ²]	γ_{LW} [mJ/m ²]	γ_{AB} [mJ/m ²]	γ_{+} [mJ/m ²]	γ_{-} [mJ/m ²]
BMC směs bez procesního aditiva	47,15	42,11	5,05	0,38	16,89
BMC směs 1A (3g W 972)	49,48	42,25	7,22	0,40	32,38

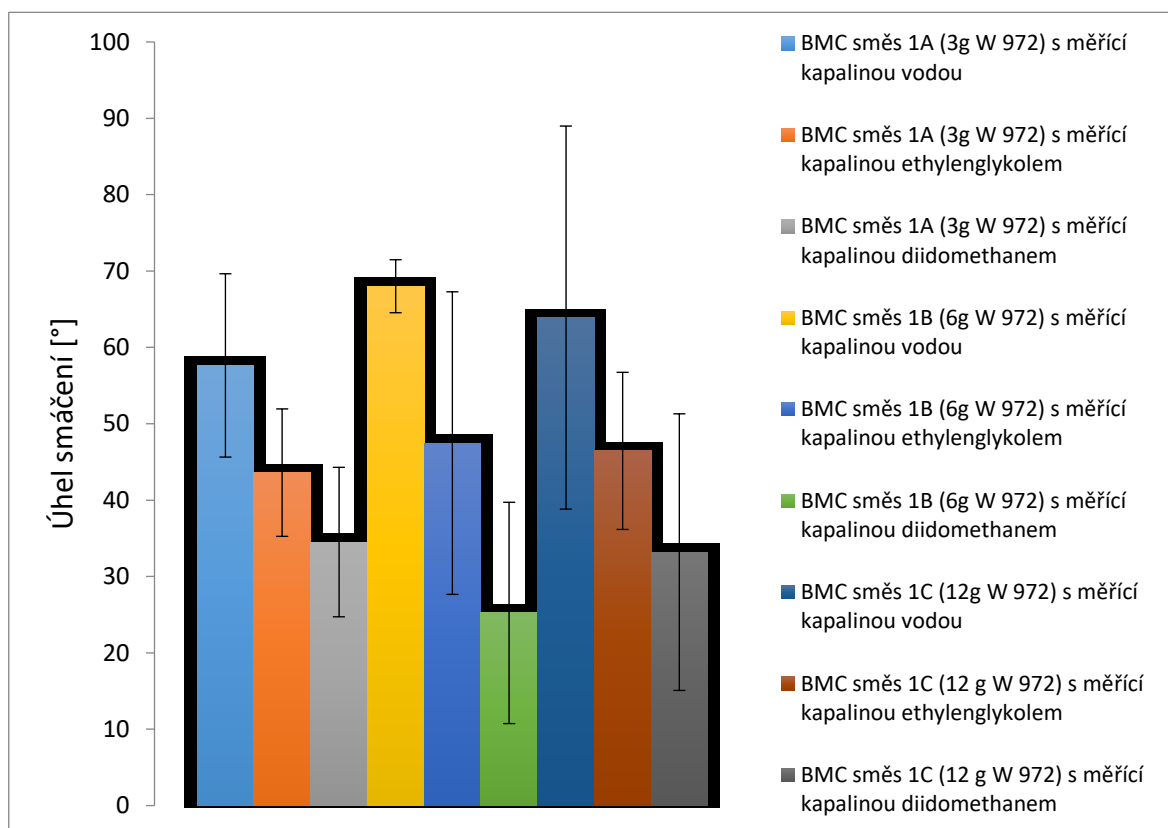


Graf 2 – Závislost povrchové energie s použitím a bez použití procesního aditiva

Z Tabulky 9 a Grafu 2 je vidět, že povrchová energie vylisované destičky dosahuje nižší hodnoty u vzorku bez použití procesního aditiva.

Tabulka 10 – Kontaktní úhly jednotlivých vzorků

Vzorek	$\theta_{\text{voda}} [^\circ]$	$\theta_{\text{ethylenglykol}} [^\circ]$	$\theta_{\text{diiodomethan}} [^\circ]$
BMC směs 1A (3g W972)	57,64 ± 12,00	43,60 ± 8,34	34,51 ± 9,79
BMC směs 1B (6g W972)	68,01 ± 3,47	47,47 ± 19,81	25,23 ± 14,49
BMC směs 1C (12g W972)	63,91 ± 25,08	46,45 ± 10,29	33,19 ± 18,11

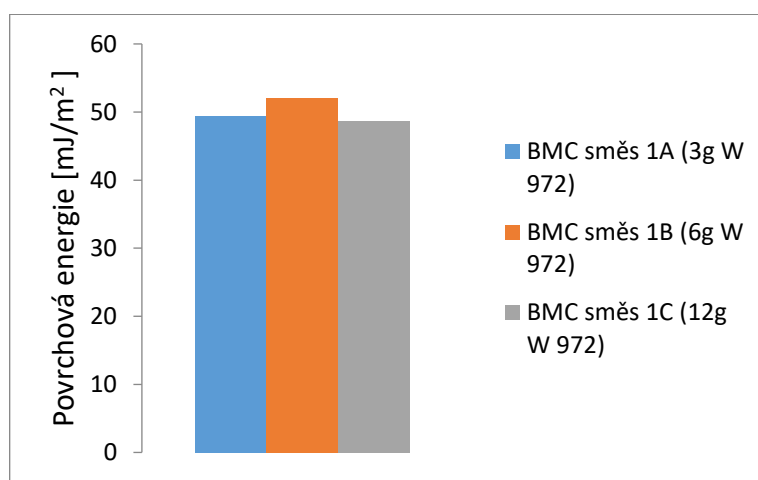


Graf 3 – Závislost úhlu smáčení na koncentraci použitého procesního aditiva

Z Tabulky 10 a Grafu 3 je vidět, že úhel smáčení dosahuje nejnižší hodnoty u vzorku s použitím střední koncentrace (6g) procesního aditiva s měřící kapalinou diiodomethanem. Nejvyšší hodnoty tohoto úhlu dosahuje taktéž vzorek s použitím střední koncentrace (6g) procesního aditiva, měřící kapalinou je zde voda.

Tabulka 11 – Hodnoty povrchové energie jednotlivých vzorků

Vzorek	γ_{total} [mJ/m ²]	γ_{LW} [mJ/m ²]	γ_{AB} [mJ/m ²]	γ_{+} [mJ/m ²]	γ_{-} [mJ/m ²]
BMC směs 1A (3g W 972)	49,48	42,25	7,22	7,22	32,38
BMC směs 1B (6g W 972)	52,11	46,07	6,04	0,49	18,74
BMC směs 1C (12g W 972)	48,62	42,85	5,78	0,35	24,15

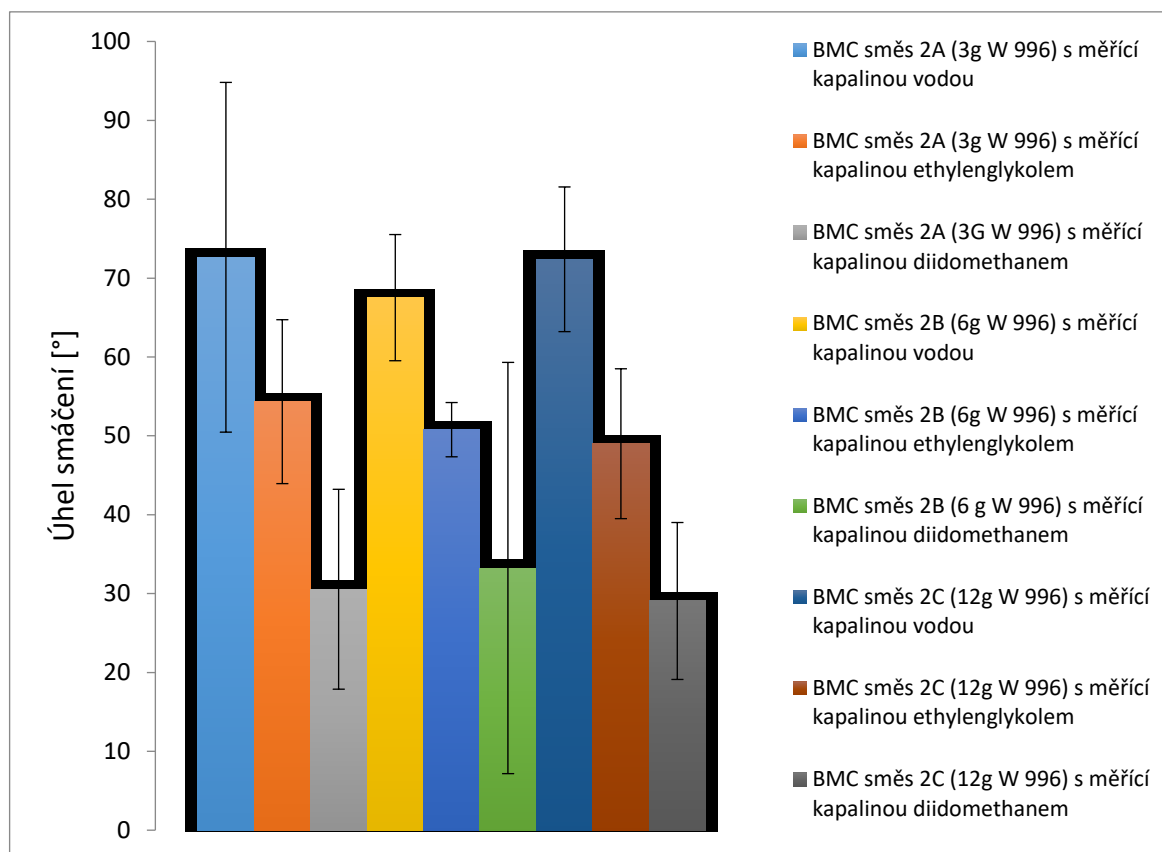


Graf 4 – Závislost povrchové energie na koncentraci použitého procesního aditiva

Z Tabulky 11 a Grafu 4 je vidět, že povrchová energie vylisované destičky dosahuje nejnižší hodnoty u vzorku s nejvyšší koncentrací (12g) procesního aditiva BYK W 972. Naopak nejvyšší hodnoty povrchové energie vylisované destičky dosahuje vzorek se střední koncentrací (6g) procesního aditiva.

Tabulka 12 – Kontaktní úhly jednotlivých vzorků

Vzorek	θ_{voda} [°]	$\theta_{\text{ethylenglykol}}$ [°]	$\theta_{\text{diiodomethan}}$ [°]
BMC směs 2A (3g W 996)	72,64 ± 22,19	54,33 ± 10,39	30,55 ± 12,67
BMC směs 2B (6g W 996)	67,52 ± 8,00	50,78 ± 3,44	33,24 ± 26,07
BMC směs 2C (12g W 996)	72,38 ± 9,17	49,00 ± 9,50	29,06 ± 9,95

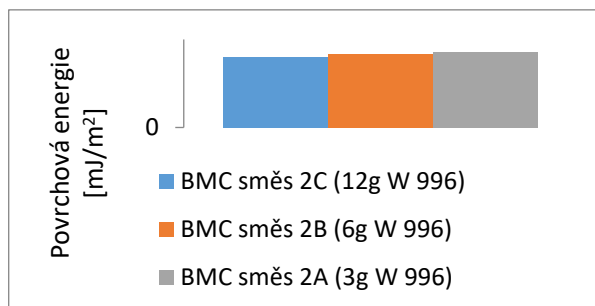


Graf 5 – Závislost úhlu smáčení na koncentraci použitého procesního aditiva

Z Tabulky 12 a Grafu 5 je vidět, že úhel smáčení dosahuje nejnižší hodnoty u vzorku s použitím nejvyšší koncentrace (12g) procesního aditiva s měřicí kapalinou diiodomethanem. Nejvyšší hodnoty tohoto úhlu dosahuje vzorek s použitím nejnižší koncentrace (3g) procesního aditiva s měřicí kapalinou vodou.

Tabulka 13 – Hodnoty povrchové energie jednotlivých vzorků

Vzorek	γ_{total} [mJ/m ²]	γ_{LW} [mJ/m ²]	γ_{AB} [mJ/m ²]	γ_{+} [mJ/m ²]	γ_{-} [mJ/m ²]
BMC směs 2A (3g W 996)	51,24	43,99	7,25	0,78	16,88
BMC směs 2B (6g W 996)	49,90	42,83	7,08	0,57	21,82
BMC směs 2C (12g W 996)	48,12	44,61	3,52	0,23	13,62

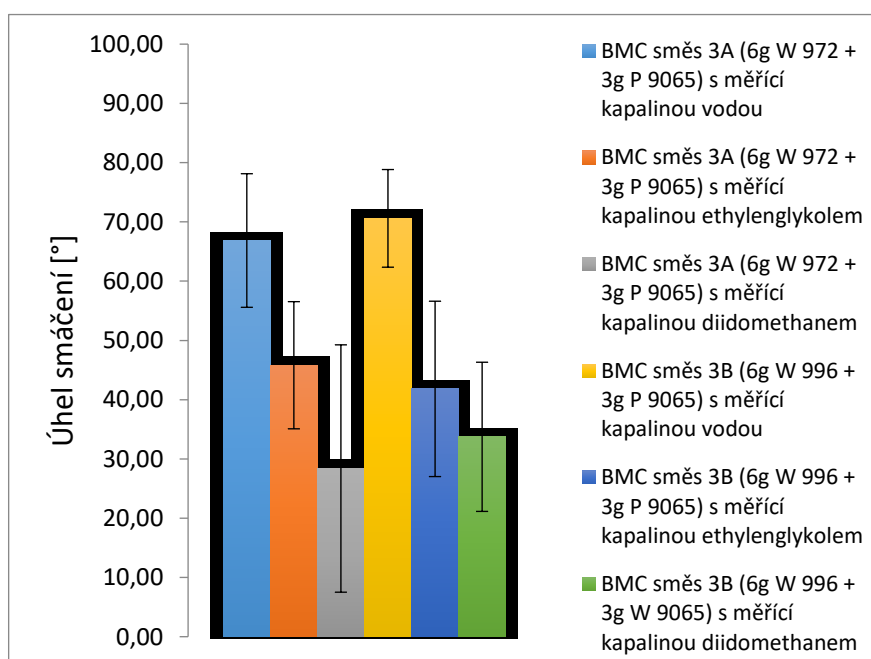


Graf 6 – Závislost povrchové energie na koncentraci použitého procesního aditiva

Z Tabulky 13 a Grafu 6 je vidět, že povrchová energie vylisované destičky dosahuje nejnižší hodnoty u vzorku s nejvyšší koncentrací (12g) procesního aditiva W 996. Naopak nejvyšší hodnoty povrchové energie vylisované destičky dosahuje vzorek s nejnižší koncentrací (3g) procesního aditiva.

Tabulka 14 – Kontaktní úhly jednotlivých vzorků

Vzorek	$\theta_{\text{voda}} [^\circ]$	$\theta_{\text{ethylenglykol}} [^\circ]$	$\theta_{\text{diiodomethan}} [^\circ]$
BMC směs 3A (6g W 972 + 3g P 9065)	66,86 ± 11,27	45,81 ± 10,73	28,38 ± 20,87
BMC směs 3B (6g W 996 + 3g P 9065)	70,60 ± 8,24	41,82 ± 24,80	33,73 ± 12,59

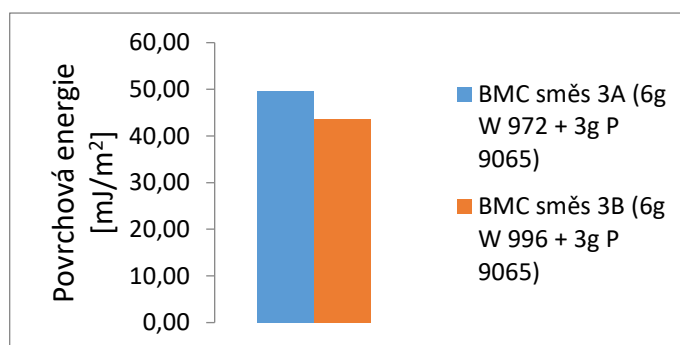


Graf 7 – Závislost úhlu smáčení na koncentraci použitého procesního aditiva

Z Tabulky 14 a Grafu 7 je vidět, že úhel smáčení dosahuje nejnižší hodnoty u vzorku s použitím střední koncentrace (6g) procesního aditiva W 972 a nejnižší koncentrace (3g) procesního aditiva P 9065 s měřicí kapalinou diidomethanem. Nejvyšší hodnoty tohoto úhlu dosahuje vzorek s použitím střední koncentrace (6g) procesního aditiva W 996 a nejnižší koncentrace (3g) procesního aditiva P 9065 s měřicí kapalinou vodou.

Tabulka 15 – Hodnoty povrchové energie jednotlivých vzorků

Vzorek	γ_{total} [mJ/m ²]	γ_{LW} [mJ/m ²]	γ_{AB} [mJ/m ²]	γ_{+} [mJ/m ²]	γ_{-} [mJ/m ²]
BMC směs 3A (6g W 972 + 3g P 9065)	49,57	44,88	4,69	0,29	19,21
BMC směs 3B (6g W 996 + 3g P 9065)	43,62	42,61	1,01	0,02	11,68



Graf 8 – Závislost povrchové energie na koncentraci použitých procesních aditiv

Z Tabulky 15 a Grafu 8 je vidět, že povrchová energie vylisované destičky dosahuje nižší hodnoty u vzorku s 6g obsahem procesního aditiva W 996 a 3g obsahem procesního aditiva P 9065.

Ke zhoršení smáčecích vlastností oproti BMC směsím bez použití procesního aditiva došlo u směsi s 6g obsahem procesního aditiva W 972 a směsi s 3g obsahem procesního aditiva W 996. Díky takto vysokým hodnotám povrchové energie se bude špatně provádět následná povrchová úprava.

Ke zlepšení v rámci následných povrchových úprav nedošlo ani po přidání malého množství procesního aditiva u směsi s 3g obsahem procesního aditiva W 972.

Velmi podobných hodnot povrchové energie, kterými nedosáhneme snazšího vytažení z formy dosahujeme u směsi s 6g obsahem procesního aditiva W 996.

Stejných smáčecích vlastností dosahujeme i u směsi s 6g obsahem procesního aditiva W 972 a 3g obsahem procesního aditiva P 9065.

I směsi s 12g obsahem procesního aditiva W 972 a směsi s 12g obsahem procesního aditiva W 996 nedosahují vyšších smáčecích vlastností, než směsi bez použití procesních aditiv.

Směs bez procesních aditiv dosahovala lepších separačních vlastností než předchozí směsi.

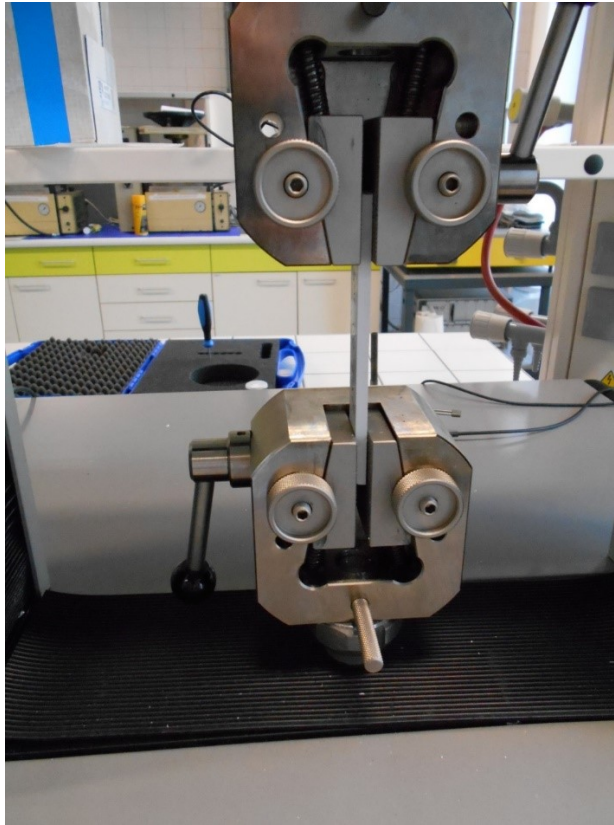
Ke zlepšení separačních vlastností (snížení hodnot povrchové energie) oproti BMC směsi bez procesního aditiva, které způsobí fakt, že snadno vytáhneme směs z formy došlo u směsi s 6g obsahem procesního aditiva W 996 a 3g obsahem procesního aditiva P 9065. Tato směs byla na základě měření posouzena jako nejlepší.

7.3 Tahová zkouška

7.3.1 Postup zkoušky

U druhé zkoušky jsme postupovaly následovně dle normy ČSN EN ISO 527-1.

- Pro každou směs jsme z vylisovaných destiček nařezaly 5 zkušebních vzorků (př. ze směsi 1A jsme nařezali 5 destiček).
- Připravily jsme stroj pro zkoušku tahem.
- Nastavily jsme příslušný rozsah zatěžování podle velikosti průřezu a přibližné hodnoty pevnosti materiálu zkoušeného vzorku.
- Na daném vzorku jsme určily pomocí posuvného měřítka na několika místech příslušné rozměry tyče (průměrnou d , respektive b , h), kterou jsme zapsaly do PC programu.
- Nastavily jsme vzdálenost čelistí l v PC programu.
- Nastavily jsme rychlost zkoušení (zatěžování) v PC programu.
- Upevnily jsme vzorek do čelistí pomocí příručníků (postupně nejdříve horní, následně nastavení v PC programu a posléze dolní) (Obrázek 57).



Obrázek 57 - Vzorek upevněný v čelistech

- Zapnuly jsme tlačítko začátku zkoušky v PC programu.
- Průtahoměr na měření deformace jsme nepoužily.
- Konec zkoušky se rovná bodu přetržení zkušebního vzorku (automaticky zastaví zkouška).
- Uvolnily jsme z obou upínacích čelistí části zkušebního vzorku.

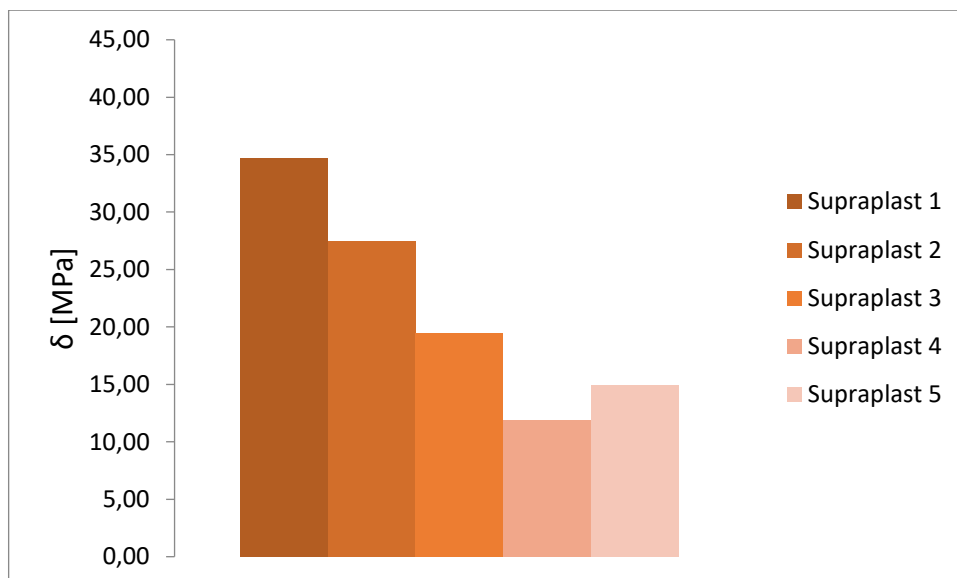
Podmínky zkoušky:

- rozměr zkušebního vzorku: 80 x 20 x 5 mm
- vzdálenost čelistí: 72 mm
- rychlost zkoušení: 2 mm/min.

7.3.2 Vyhodnocení a diskuse

Tabulka 16 – Výsledky tahové zkoušky u Supraplastu

Supraplast Vzorek	Deformace [%]	F _M [N]	δ [MPa]
Supraplast 1	3,19	3656,00	34,69
Supraplast 2	2,81	2925,60	27,47
Supraplast 3	2,85	2055,70	19,45
Supraplast 4	1,85	1263,10	11,88
Supraplast 5	2,85	1570,20	14,93

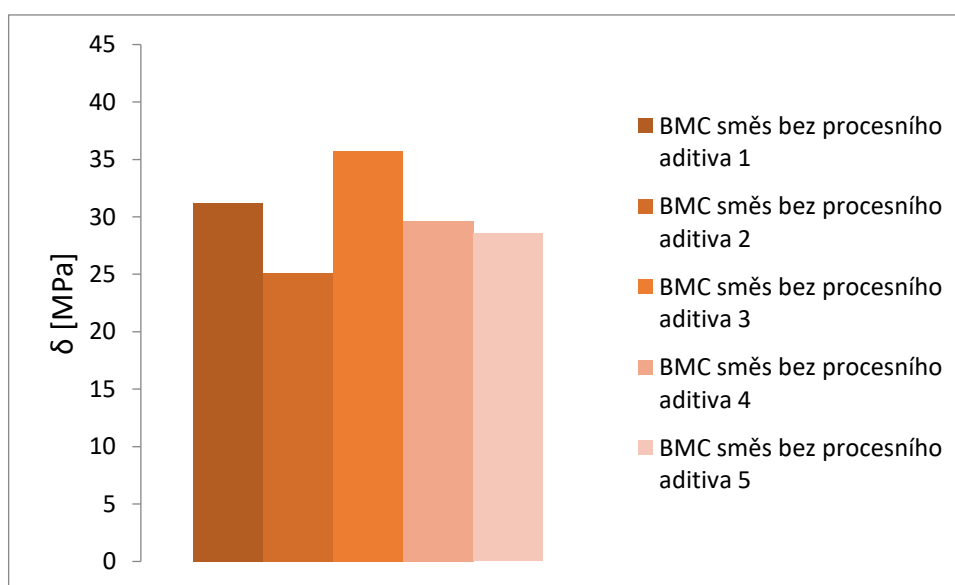


Graf 9 – Závislost pevnosti v tahu na Supraplastu

Z Tabulky 16 a Grafu 9 jsou patrné výsledky a průběh zkoušky tahem materiálu z komerčně vyráběné směsi Supraplast. Hodnoty maximální síly v tahu se pohybují v rozmezí 1263,10 – 3656,00 N a hodnoty pevnosti v tahu v rozmezí 11,88 – 34,69 MPa.

Tabulka 17 – Výsledky tahové zkoušky u BMC směsi bez procesního aditiva

BMC směs bez procesního aditiva	Deformace [%]	F _M [N]	δ [MPa]
Vzorek			
BMC směs bez procesního aditiva 1	2,62	3303,70	31,20
BMC směs bez procesního aditiva 2	2,44	2663,60	25,01
BMC směs bez procesního aditiva 3	3,04	3710,00	35,71
BMC směs bez procesního aditiva 4	2,69	3129,30	29,65
BMC směs bez procesního aditiva 5	2,49	3006,20	28,55

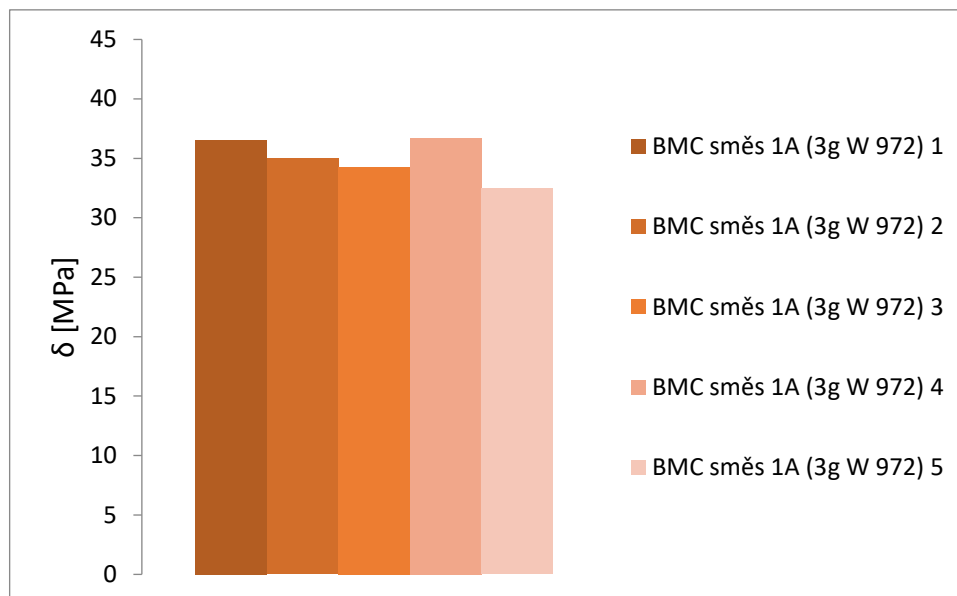


Graf 10 – Závislost pevnosti v tahu na BMC směsi bez procesního aditiva

Z Tabulky 17 a Grafu 10 jsou patrné výsledky a průběh zkoušky tahem materiálu z BMC směsi bez procesního aditiva. Hodnoty maximální síly v tahu se pohybují v rozmezí 2663,60 – 3710,00 N a hodnoty pevnosti v tahu v rozmezí 25,01 – 35,71 MPa.

Tabulka 18 – Výsledky tahové zkoušky u BMC směsi 1A

BMC směs 1A (3g W 972)	Deformace [%]	F _M [N]	δ [MPa]
Vzorek			
BMC směs 1A (3g W 972) 1	2,73	3826,50	36,56
BMC směs 1A (3g W 972) 2	2,41	3689,40	34,99
BMC směs 1A (3g W 972) 3	2,57	3610,20	34,28
BMC směs 1A (3g W 972) 4	2,87	3907,30	36,69
BMC směs 1A (3g W 972) 5	2,25	3445,70	32,45

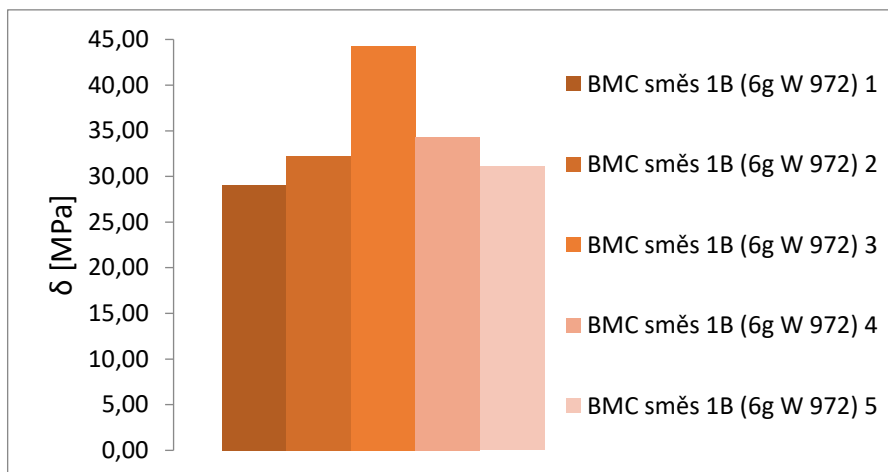


Graf 11 – Závislost pevnosti v tahu na BMC směsi 1A

Z Tabulky 18 a Grafu 11 jsou patrné výsledky a průběh zkoušky tahem materiálu z BMC směsi s 3g obsahem procesního aditiva W 972. Hodnoty maximální síly v tahu se pohybují v rozmezí 3445,70 – 3907,3 N a hodnoty pevnosti v tahu v rozmezí 32,45 – 36,69 MPa.

Tabulka 19 – Výsledky tahové zkoušky u BMC směsi 1B

BMC směsi 1B (6g W 972)	Deformace [%]	F _M [N]	δ [MPa]
Vzorek			
BMC směsi 1B (6g W 972) 1	2,12	3066,10	29,08
BMC směsi 1B (6g W 972) 2	2,65	3400,10	32,21
BMC směsi 1B (6g W 972) 3	3,10	4653,60	44,28
BMC směsi 1B (6g W 972) 4	2,25	3632,90	34,27
BMC směsi 1B (6g W 972) 5	2,38	3228,90	31,03

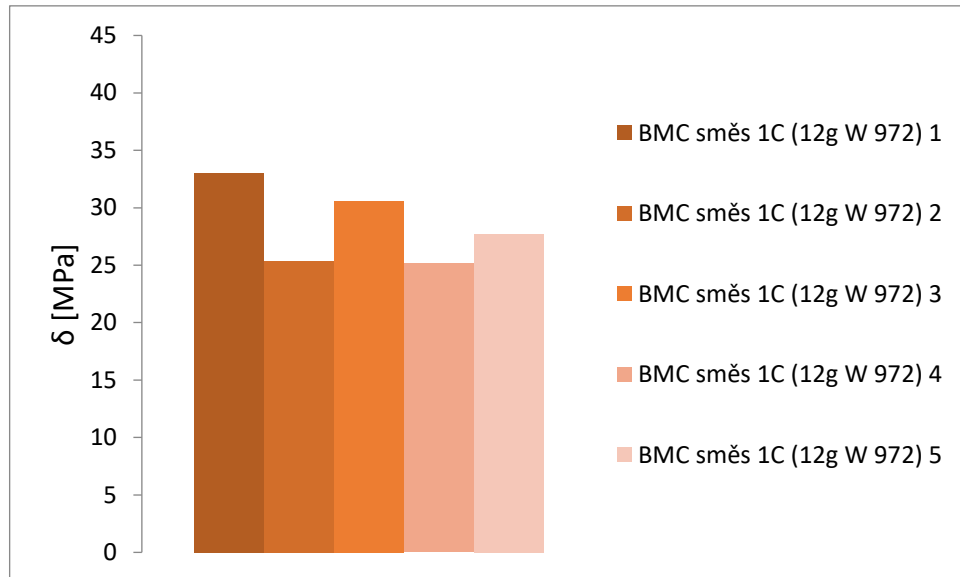


Graf 12 – Závislost pevnosti v tahu na BMC směsi 1B

Z Tabulky 19 a Grafu 12 jsou patrné výsledky a průběh zkoušky tahem materiálu z BMC směsi s 6g obsahem procesního aditiva W 972. Hodnoty maximální síly v tahu se pohybují v rozmezí 3066,10 – 4653,60 N a hodnoty pevnosti v tahu v rozmezí 29,08 – 44,28 MPa.

Tabulka 20 – Výsledky tahové zkoušky u BMC směsi 1C

BMC směsi 1C (12g W 972)	Deformace [%]	F _M [N]	δ [MPa]
Vzorek			
BMC směs 1C (12g W 972) 1	2,27	3469,60	33,03
BMC směs 1C (12g W 972) 2	2,11	2673,70	25,34
BMC směs 1C (12g W 972) 3	2,26	3234,80	30,59
BMC směs 1C (12g W 972) 4	1,93	2642,10	25,13
BMC směs 1C (12g W 972) 5	5,41	2927,80	27,71

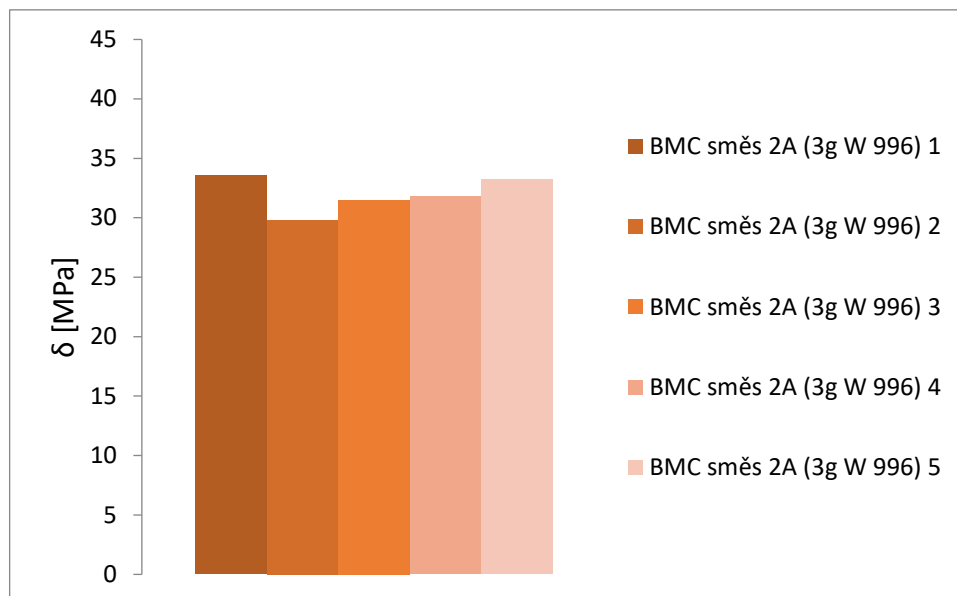


Graf 13 – Závislost pevnosti v tahu na BMC směsi 1C

Z Tabulky 20 a Grafu 13 jsou patrné výsledky a průběh zkoušky tahem materiálu z BMC směsi s 12g obsahem procesního aditiva W 972. Hodnoty maximální síly v tahu se pohybují v rozmezí 2642,10 – 3469,60 N a hodnoty pevnosti v tahu v rozmezí 25,13 – 33,03 MPa.

Tabulka 21 – Výsledky tahové zkoušky u BMC směsi 2A

BMC směs 2A (3g W 996)	Deformace [%]	F _M [N]	δ [MPa]
Vzorek			
BMC směs 2A (3g W 996) 1	1,82	3537,90	33,57
BMC směs 2A (3g W 996) 2	1,48	3116,10	29,83
BMC směs 2A (3g W 996) 3	1,52	3272,70	31,05
BMC směs 2A (3g W 996) 4	1,76	3338,50	31,78
BMC směs 2A (3g W 996) 5	1,66	3492,40	33,21

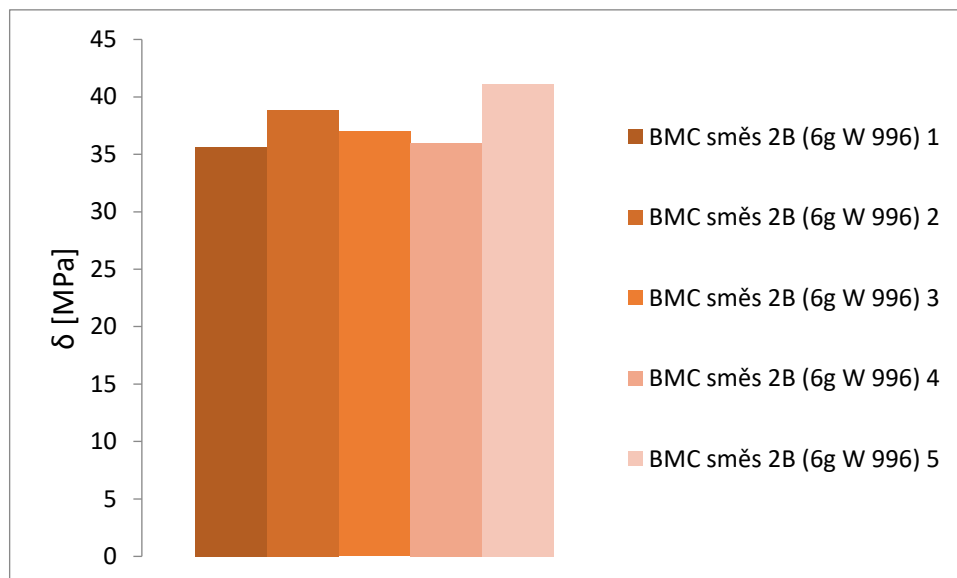


Graf 14 – Závislost pevnosti v tahu na BMC směsi 2A

Z Tabulky 21 a Grafu 14 jsou patrné výsledky a průběh zkoušky tahem materiálu z BMC směsi s 3g obsahem procesního aditiva W 996. Hodnoty maximální síly v tahu se pohybují v rozmezí 3116,10 – 3537,90 N a hodnoty pevnosti v tahu v rozmezí 29,83 – 33,57 MPa.

Tabulka 22 – Výsledky tahové zkoušky u BMC směsi 2B

BMC směs 2B (6g W 996)	Deformace [%]	F _M [N]	δ [MPa]
Vzorek			
BMC směs 2B (6g W 996) 1	1,36	3616,30	35,66
BMC směs 2B (6g W 996) 2	1,74	4099,30	38,86
BMC směs 2B (6g W 996) 3	1,56	3893,30	36,97
BMC směs 2B (6g W 996) 4	1,87	3774,80	36,02
BMC směs 2B (6g W 996) 5	1,84	4346,10	41,12

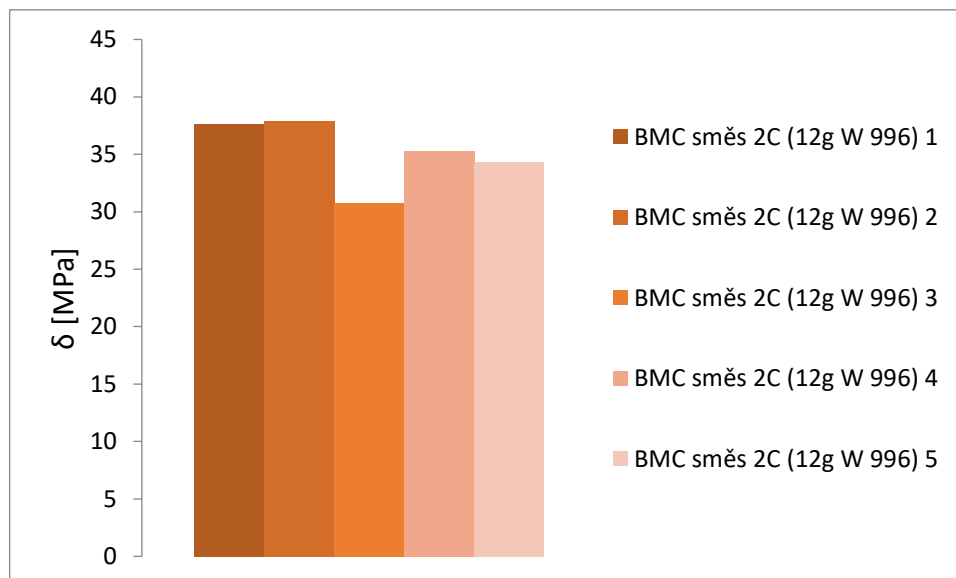


Graf 15 – Závislost pevnosti v tahu na BMC směsi 2B

Z Tabulky 22 a Grafu 15 jsou patrné výsledky a průběh zkoušky tahem materiálu z BMC směsi s 6g obsahem procesního aditiva W 996. Hodnoty maximální síly v tahu se pohybují v rozmezí 3616,30 – 4346,10 N a hodnoty pevnosti v tahu v rozmezí 35,66 – 41,12 MPa.

Tabulka 23 – Výsledky tahové zkoušky u BMC směsi 2C

BMC směsi 2C (12g W 996)	Deformace [%]	F _M [N]	δ [MPa]
Vzorek			
BMC směsi 2C (12g W 996) 1	2,68	3976,30	37,65
BMC směsi 2C (12g W 996) 2	2,04	3957,20	37,89
BMC směsi 2C (12g W 996) 3	1,43	3075,80	30,08
BMC směsi 2C (12g W 996) 4	1,84	3714,30	35,29
BMC směsi 2C (12g W 996) 5	1,79	3614,10	34,37

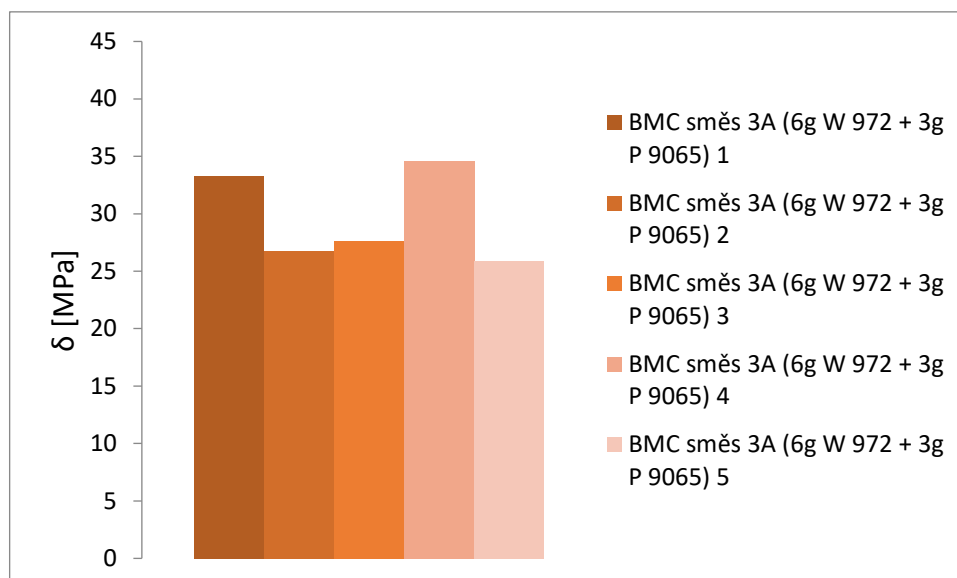


Graf 16 – Závislost pevnosti v tahu na BMC směsi 2C

Z Tabulky 23 a Grafu 16 jsou patrné výsledky a průběh zkoušky tahem materiálu z BMC směsi s 12g obsahem procesního aditiva W 996. Hodnoty maximální síly v tahu se pohybují v rozmezí 3075,80 – 3976,30 N a hodnoty pevnosti v tahu v rozmezí 30,08 – 37,89 MPa.

Tabulka 24 – Výsledky tahové zkoušky u BMC směsi 3A

BMC směs 3A (6g W 972 + 3g P 9065)	Deformace [%]	F_M [N]	δ [MPa]
Vzorek			
BMC směs 3A (6g W 972 + 3g P 9065) 1	1,62	3475,50	33,31
BMC směs 3A (6g W 972 + 3g P 9065) 2	1,66	2836,40	26,72
BMC směs 3A (6g W 972 + 3g P 9065) 3	1,27	2899,90	27,61
BMC směs 3A (6g W 972 + 3g P 9065) 4	1,82	3630,80	34,58
BMC směs 3A (6g W 972 + 3g P 9065) 5	1,10	2748,10	25,91



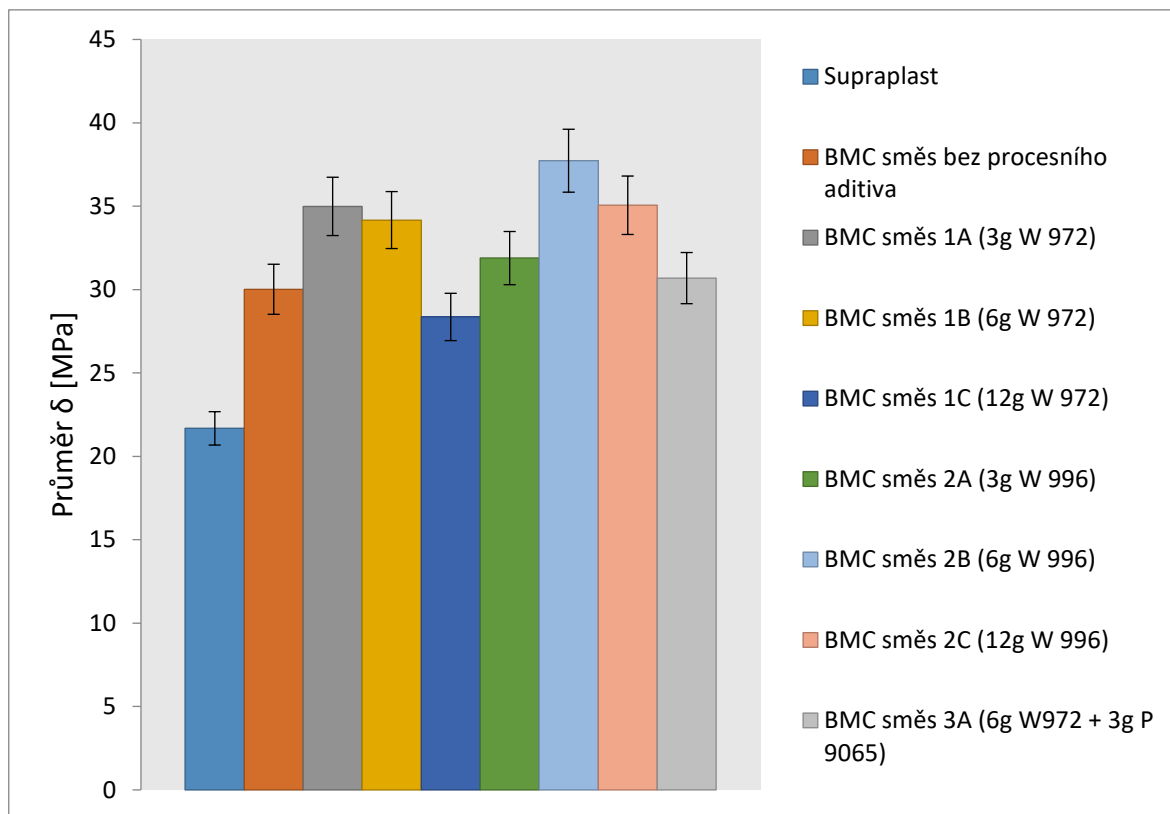
Graf 17 – Závislost pevnosti v tahu na BMC směsi 3A

Z Tabulky 24 a Grafu 17 jsou patrné výsledky a průběh zkoušky tahem materiálu z BMC směsi s 6g obsahem procesního aditiva W 972 a 3g obsahem procesního aditiva P 9065. Hodnoty maximální síly v tahu se pohybují v rozmezí 2748,10 – 3630,80 N a hodnoty pevnosti v tahu v rozmezí 25,91 – 34,58 MPa.

Následující Tabulka 25 uvádí statistiku jednotlivých směsí.

Tabulka 25 – Průměr a rozptyl jednotlivých směsí

	Průměr pevností [MPa]	Rozptyl pevností [MPa]
Supraplast	21,68	11,88 – 34,69
BMC směs bez procesního aditiva	30,02	25,01 – 35,71
BMC směs 1A (3g W 972)	34,99	32,45 – 36,69
BMC směs 1B (6g W 972)	34,17	29,10 – 44,28
BMC směs 1C (12g W 972)	28,36	25,13 – 33,03
BMC směs 2A (3g W 996)	31,89	29,83 – 33,57
BMC směs 2B (6g W 996)	37,73	35,66 – 41,12
BMC směs 2C (12g W 996)	35,06	30,10 – 37,89
BMC směs 3A (6g W 972 + 3g P 9065)	30,69	25,91 – 38,34



Graf 18 - Závislost průměrných hodnot pevností na jednotlivých BMC směsích

Vzorky Supraplastu se chovaly nestandardně – praskaly v čelistech zkušebního stroje, ale z důvodu nedostatku materiálu nemohl být test zopakován. Tyto vzorky vykazovaly nejhorší pevnost.

Ke zlepšení pevnosti pouze oproti Supraplastu došlo u vzorků s 12g obsahem procesního aditiva W 972.

Směs bez procesních aditiv vykazovala vyšší hodnoty pevnosti než předchozí směsi.

Ke zlepšení pevnosti oproti Supraplastu i směsi bez použití procesního aditiva došlo u směsi s 6g obsahem procesního aditiva W 972 a s 3g obsahem procesního aditiva P 9065.

K ještě většímu zlepšení pevnosti došlo u směsi s 3g obsahem procesního aditiva W 996.

Vysoké pevnosti dosahovaly vzorky směsi s 6g obsahem procesního aditiva W 972.

Podobných hodnot pevností dosahovala směs s 3g obsahem procesního aditiva W 972 a směs s 12g obsahem procesního aditiva W 996.

Vzorky BMC směsi s 6g obsahem procesního aditiva W 996 dosahují nejvyšších hodnot pevností. Tato směs byla na základě měření posouzena jako nejlepší (viz Graf 18).

7.4 Tokové chování BMC směsí

7.4.1 Postup zkoušky

- Z BMC směsi jsme pomocí školního laboratorního zařízení vytvořily vzorek přesných požadovaných rozměrů (Obrázek 58).



Obrázek 58 – Přístroj pro vyhotovení vzorků

- Připravený vzorek daných rozměrů jsme umístily do měřícího zařízení (Obrázek 59), kde je uzavřen silou 15 kN.



Obrázek 59 – Vzorek vložený ve viskozimetru

- Horní nepohyblivá část formy a spodní pohyblivá část formy byly vyhřívány s přesností $\pm 0,3$ °C, na což dohlíží velmi přesná platinová teplotní čidla umístěná těsně u povrchu formy.
- Součástí přístroje je speciální zařízení sloužící k uzavírání měřících částí, aby nedošlo k poškození.
- Komora je utěsněna pryžovým těsněním udržující konstantní objem vzorku.
- Kroutící moment je přenášen přes vzorek ze spodní oscilující části do horní opatřené senzorem.
- Speciální motor se stará o oscilaci spodní části formy.
- Poté jsme v PC programu zadaly podmínky měření.
- Následovalo spuštění tří testů; první - stabilizace (vláken) trvalo přibližně 10 minut, druhá - změna deformace za konstantního napětí a třetí - změna napětí za konstantní deformace.
- Po dokončení testů jsme vytáhly vzorek.
- A vytiskly jsme protokol s naměřenými hodnotami.

Podmínky zkoušky:

- teplota – 50 °C
- čas – 10 minut.

7.4.2 Vyhodnocení a diskuse

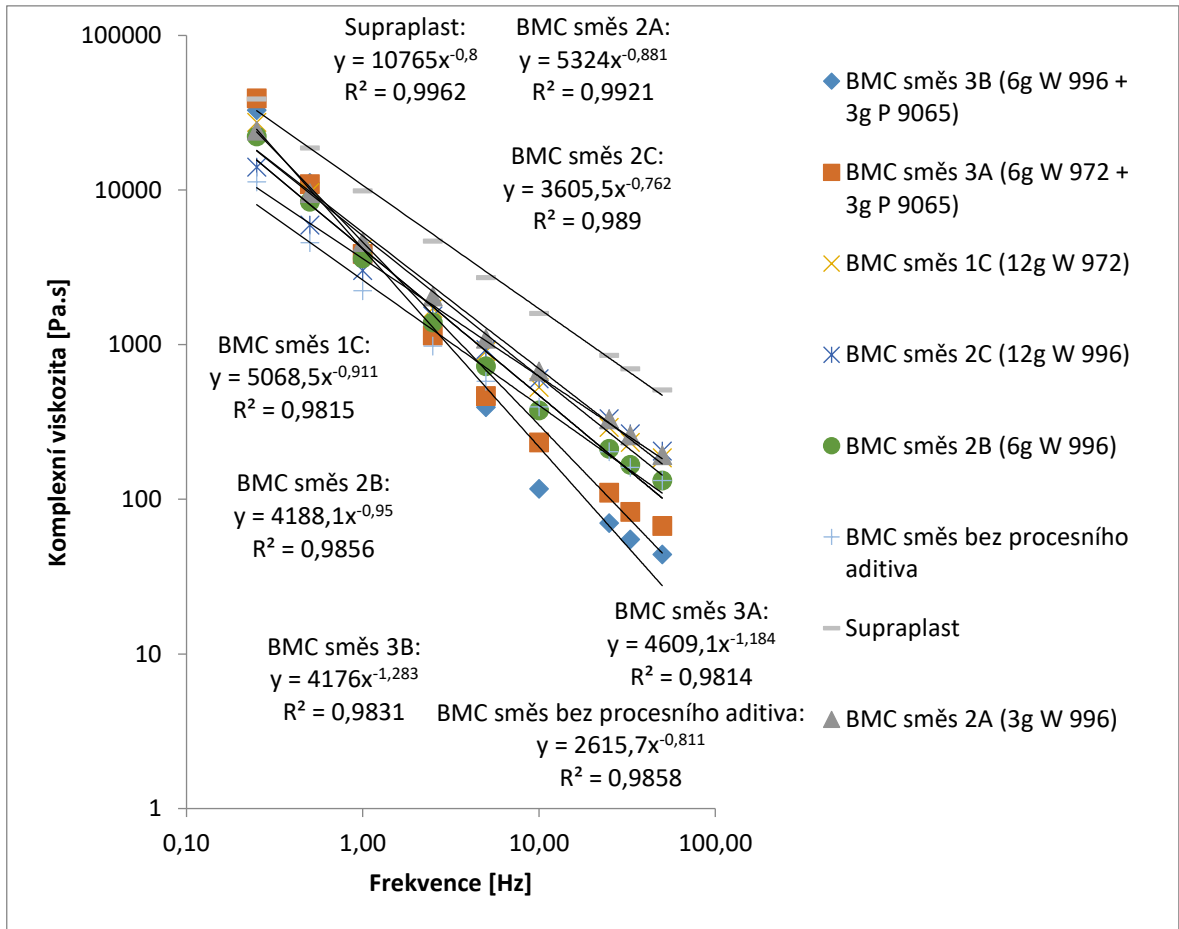
V Tabulce 26 jsou vypsány naměřené hodnoty frekvencí a deformací.

Tabulka 26 - Naměřené hodnoty frekvencí a deformací

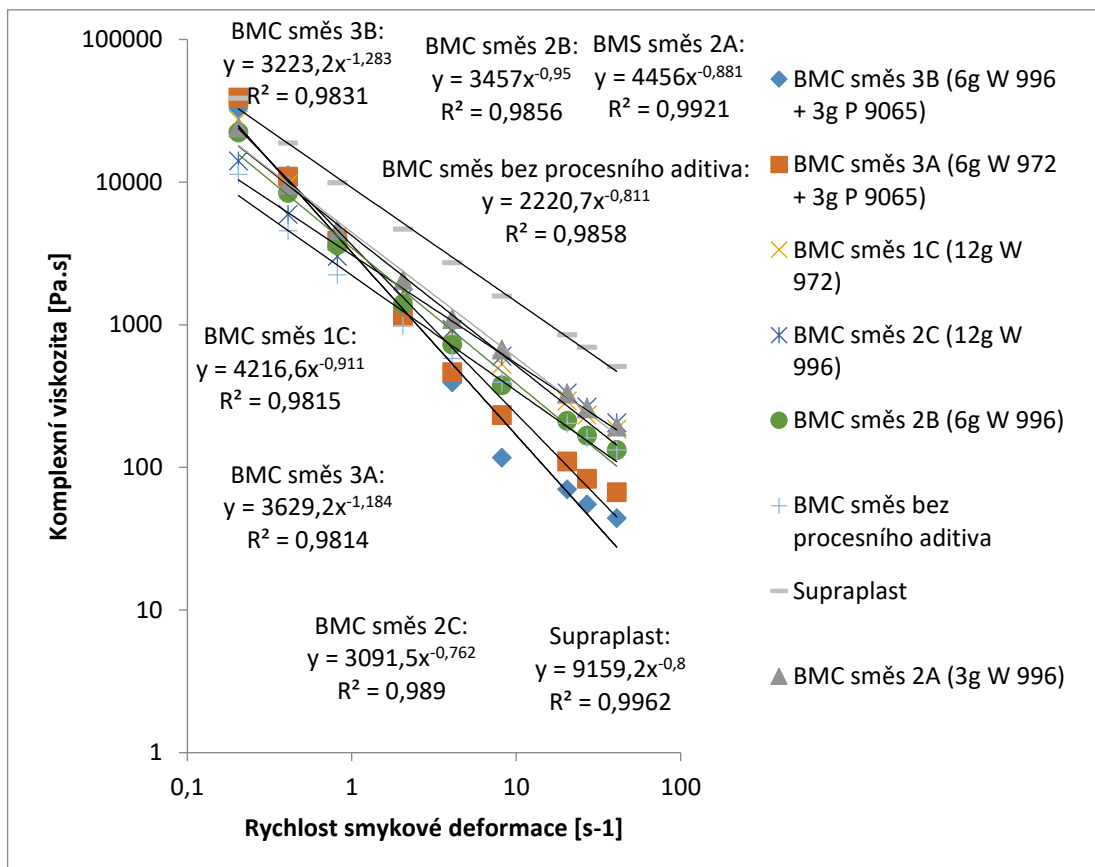
Frekvence [Hz]	Deformace [s ⁻¹]
0,25	0,2043
0,50	0,4086
1,00	0,8171
2,50	2,0428
5,00	4,0855
10,00	8,1711
25,00	20,4277
33,00	26,9645
50,00	40,8554

Tabulka 27 – Naměřené hodnoty viskozit získaných metodou RPA pro jednotlivé směsi

Vzorky	Viskozita η' [Pa.s]								
	1707	18735	9883	4673	2719	1591	852	696	510
Supraplast									
BMC směs bez procesního aditiva	11290	4567	2235	980	580	396	203	161	132
BMC směs 1C (12g W 972)	27335	9634	4159	1714	901	529	291	233	185
BMC směs 2A (3g W 996)	24148	9529	4602	2044	1094	670	329	259	193
BMC směs 2B (6g W 996)	22236	8406	3620	1395	725	375	212	167	132
BMC směs 2C (12g W 996)	14038	5931	3012	1530	930	602	332	265	205
BMC směs 3A (6g W 972 + 3g P 9065)	39080	10921	3866	1143	465	233	110	83	67
BMC směs 3B (6g W 996 + 3g P 9065)	32859	11138	4212	1140	393	117	70	55	44

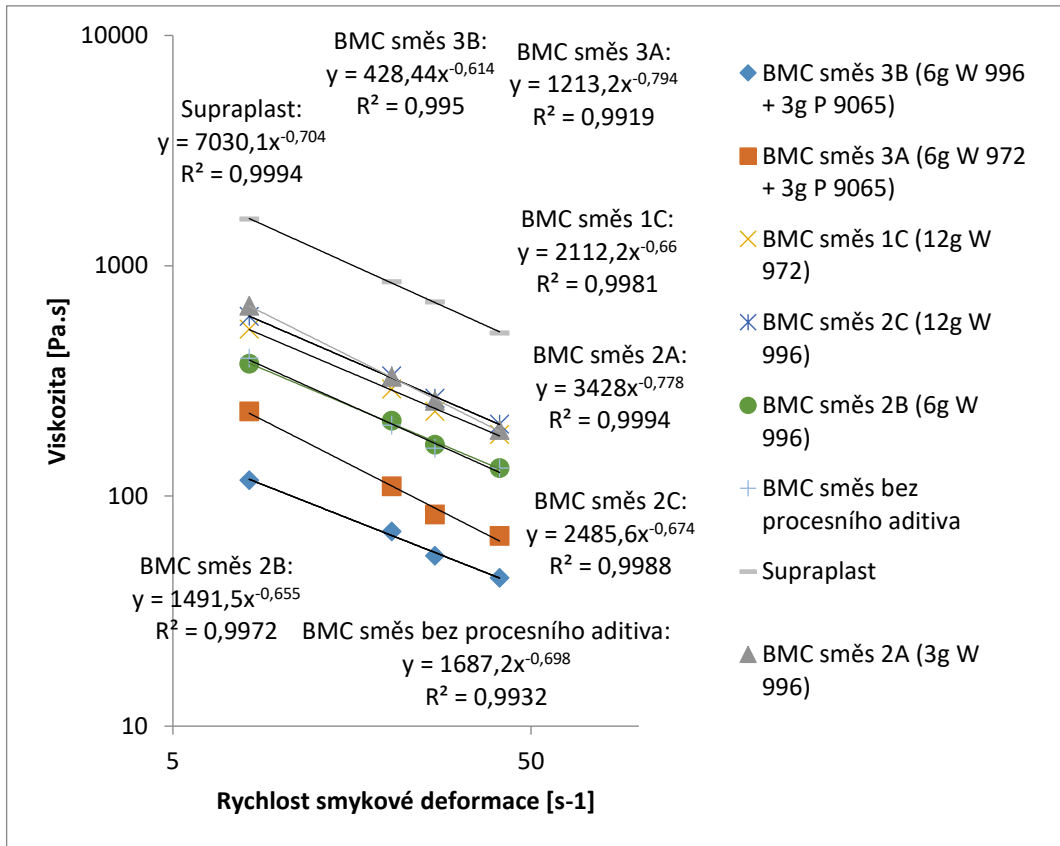


Graf 19 – Závislost komplexní viskozity na frekvenci

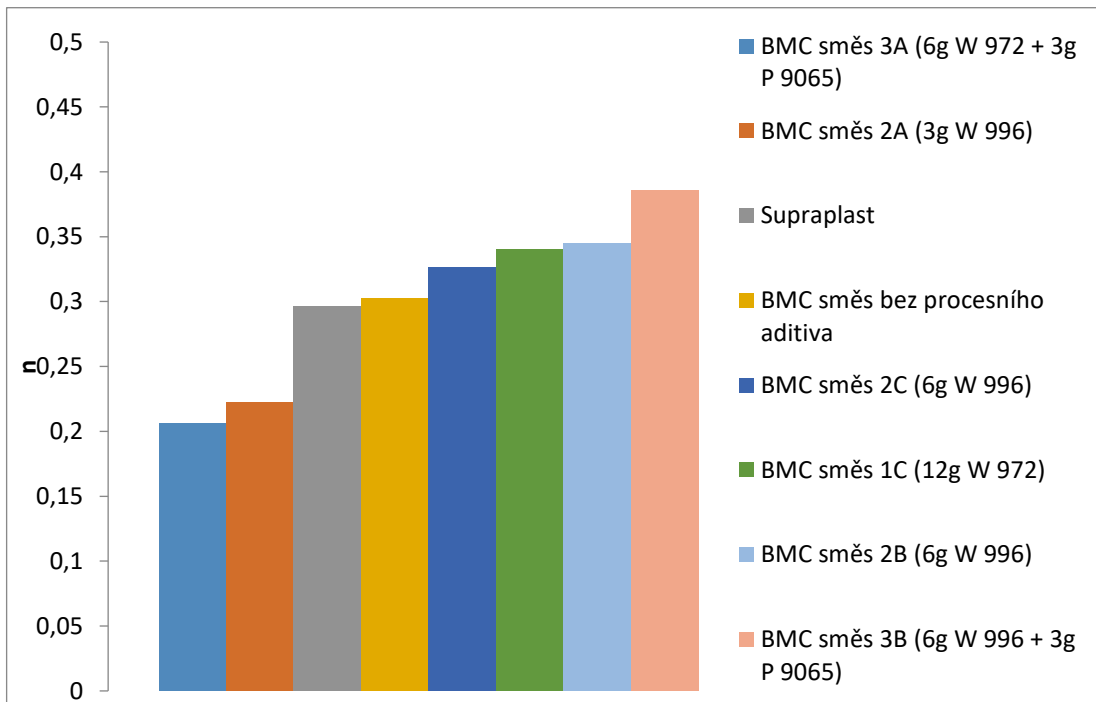


Graf 20 – Závislost viskozity na rychlosti smykové deformace

Z Tabulky 27 a Grafů 19 a 20 vidíme, že k nejmarkantnějšímu snižování viskozity v průběhu měření došlo u BMC směsi s použitím dvou procesních aditiv, směsi s 6g obsahem procesního aditiva W 972 a 3g obsahem procesního aditiva P 9065 a směsi s 6g obsahem procesního aditiva W 996 a 3g obsahem procesního aditiva P 9065. K nejméně markantnímu snižování viskozity dochází u BMC směsi bez použití jakýchkoliv procesních aditiv a komerčně vyráběné směsi Supraplast.



Graf 21 – Závislost vybraných hodnot viskozit na rychlosti smykové deformace



Graf 22 - Závislost n na jednotlivých typech BMC směsí

Z grafu 22 vidíme, že nejnižší hodnoty indexu neneutonského chování dosahuje BMC směs s 6g obsahem procesních aditiv W 972 a 3g obsahem procesních aditiv P 9065. Naopak nejvyšší hodnoty indexu neneutonského chování dosahuje BMC směs s 6g obsahem procesních aditiv W 996 a 3g obsahem procesních aditiv P 9065.

Nejhorší zpracovatelské vlastnosti (nejvyšší viskozita) vykazuje komerčně vyráběný Supraplast.

Ke zlepšení zpracovatelských vlastností (nižší viskozita) pouze oproti Supraplastu došlo u směsi s 3g obsahem procesního aditiva W 996.

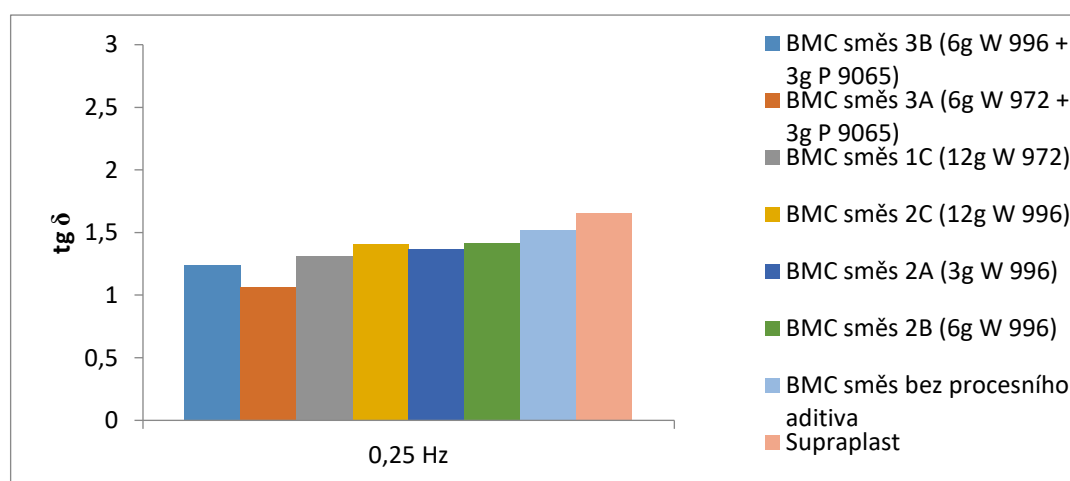
Podobných hodnot zpracovatelských vlastností dosáhla směs s 12g obsahem procesního aditiva W 996 a směs s 12g obsahem procesního aditiva W 972.

BMC směs bez procesního aditiva dosahuje vyšších hodnot viskozit a tím lepších zpracovatelských vlastností než předchozí směsi.

Zlepšení zpracovatelských vlastností (nízká viskozita) oproti Supraplastu i oproti směsi bez procesního aditiva dosahujeme u směsi s 6g obsahem procesního aditiva W 996.

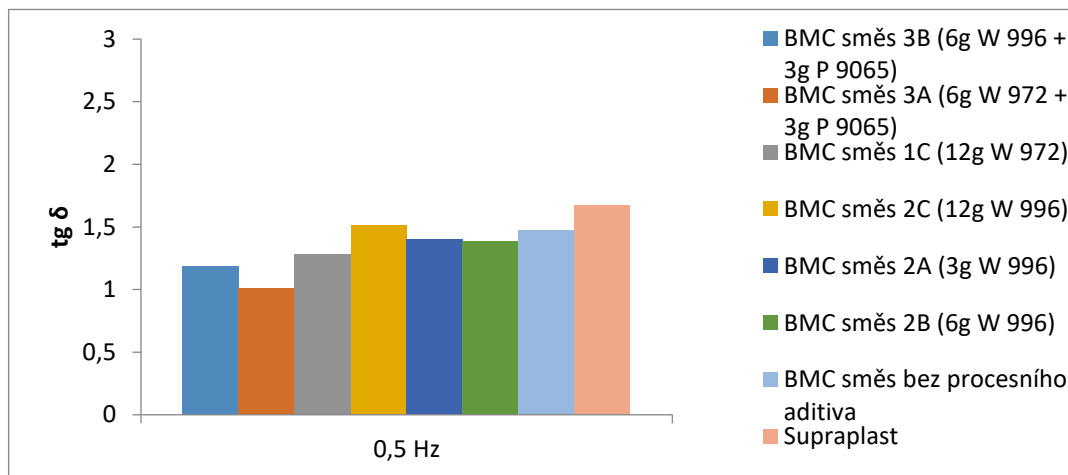
Vysokých zpracovatelských vlastností (ještě nižší viskozita) dosahuje směs s 6g obsahem procesního aditiva W 972 a s 3g obsahem procesního aditiva P 9065.

Nejlepší zpracovatelnosti (nejnižší viskozita) dosahujeme u směsi s 6g obsahem procesního aditiva W 996 a 3g obsahem procesního aditiva P 9065. Tato směs byla na základě měření posouzena jako nejlepší (viz Graf 21).



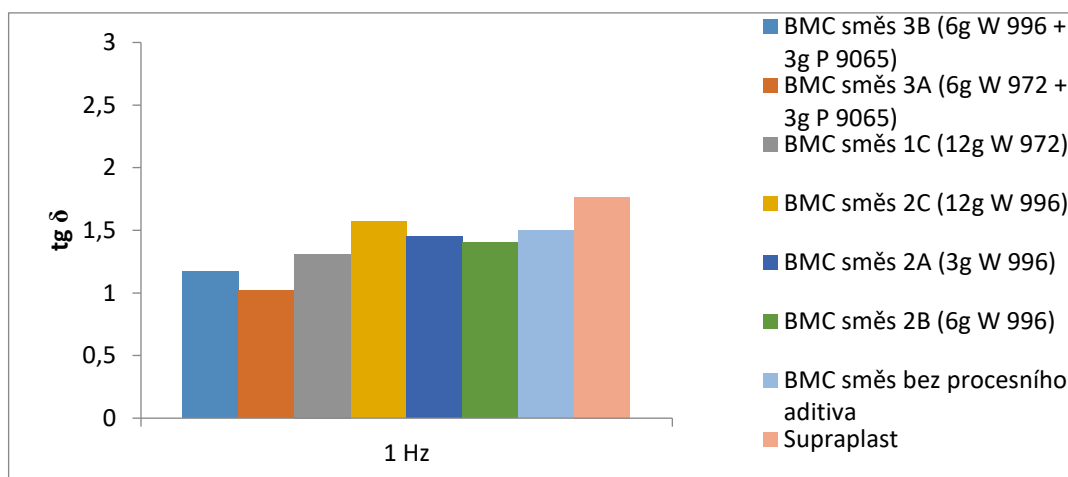
Graf 23 – Závislost elasticity na jednotlivých typech BMC směsí pro frekvenci 0,25 Hz

Z grafu 23 vidíme, že při frekvenci 0,25 Hz nejnižší hodnoty elasticity dosahuje Supraplast. Naopak nejvyšší hodnoty elasticity dosahuje BMC směs s 6g obsahem procesního aditiva W 972 a 3g obsahem procesního aditiva P 9065.



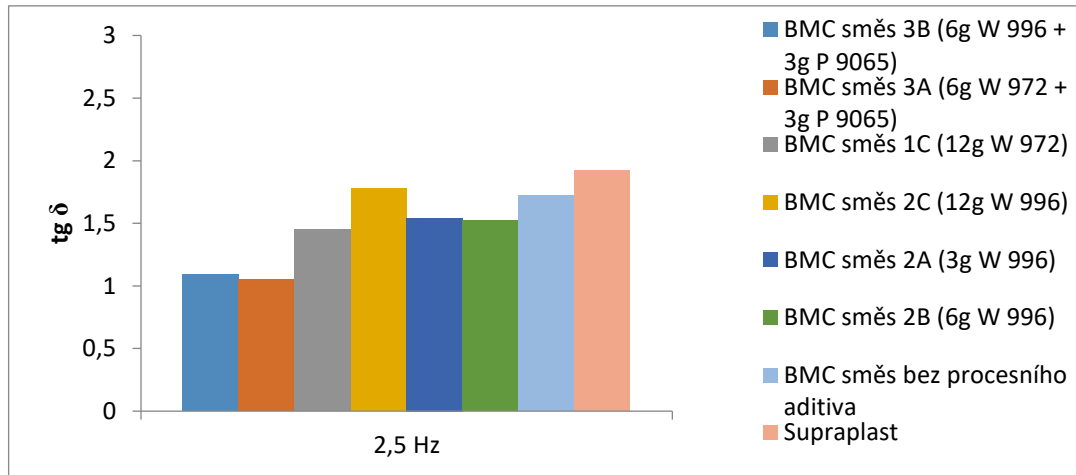
Graf 24 – Závislost elasticity na jednotlivých typech BMC směsí pro frekvenci 0,5 Hz

Z grafu 24 vidíme, že při frekvenci 0,5 Hz nejnižší hodnoty elasticity dosahuje Supraplast. Naopak nejvyšší hodnoty elasticity dosahuje BMC směs s 6g obsahem procesního aditiva W 972 a 3g obsahem procesního aditiva P 9065.



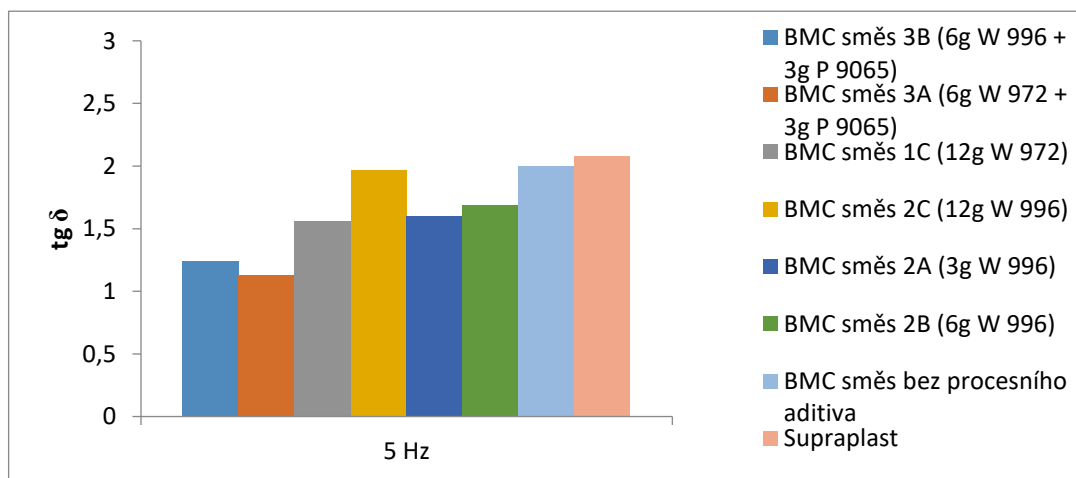
Graf 25 – Závislost elasticity na jednotlivých typech BMC směsí pro frekvenci 1 Hz

Z grafu 25 vidíme, že při frekvenci 1,00 Hz nejnižší hodnoty elasticity dosahuje Supraplast. Naopak nejvyšší hodnoty elasticity dosahuje BMC směs s 6g obsahem procesního aditiva W 972 a 3g obsahem procesního aditiva P 9065.



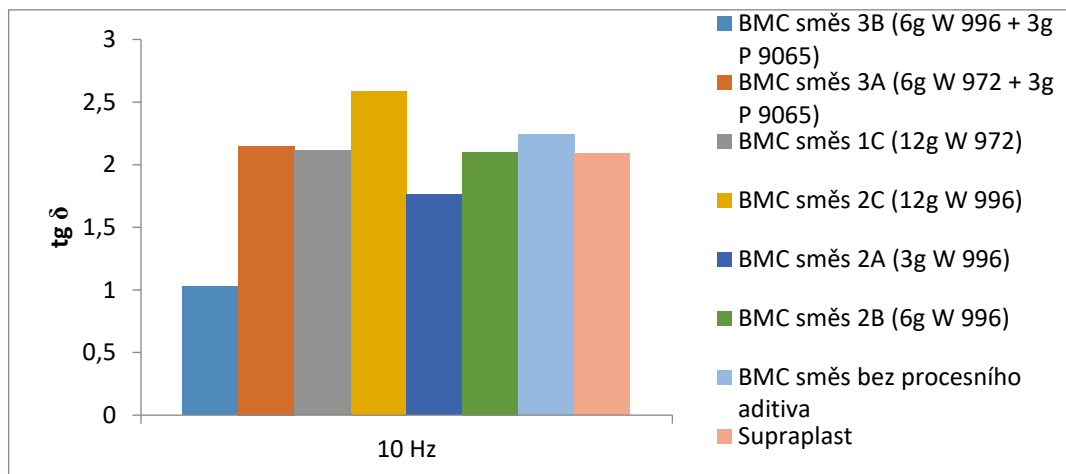
Graf 26 – Závislost elasticity na jednotlivých typech BMC směsí pro frekvenci 2,5 Hz

Z grafu 26 vidíme, že při frekvenci 2,5 Hz nejnižší hodnoty elasticity dosahuje Supraplast. Naopak nejvyšší hodnoty elasticity dosahuje BMC směs s 6g obsahem procesního aditiva W 972 a 3g obsahem procesního aditiva P 9065.



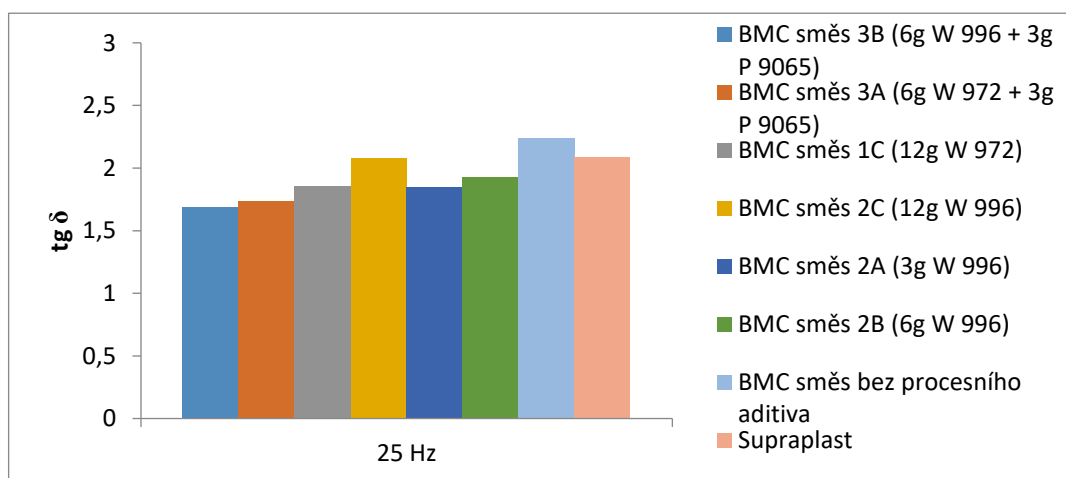
Graf 27 – Závislost elasticity na jednotlivých typech BMC směsí pro frekvenci 5 Hz

Z grafu 27 vidíme, že při frekvenci 5,00 Hz nejnižší hodnoty elasticity dosahuje Supraplast. Naopak nejvyšší hodnoty elasticity dosahuje BMC směs s 6g obsahem procesního aditiva W 972 a 3g obsahem procesního aditiva P 9065.



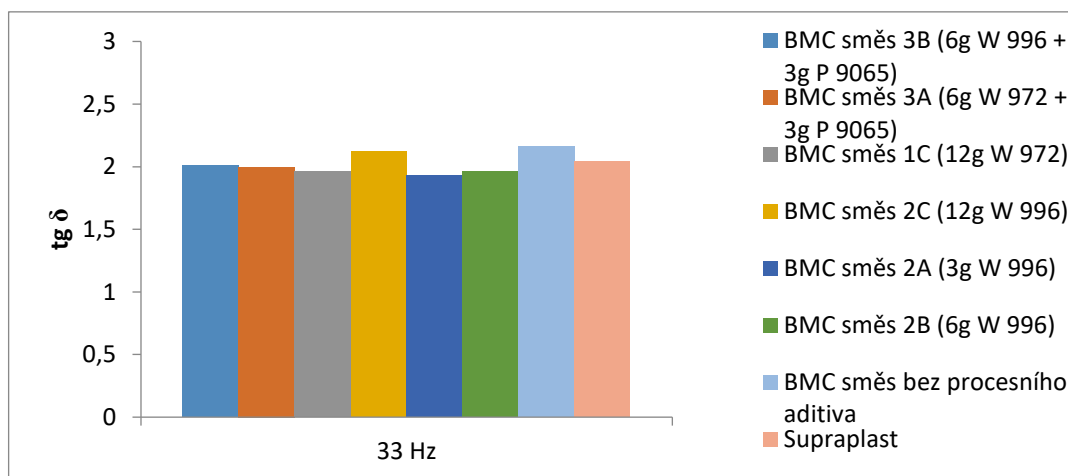
Graf 28 – Závislost elasticity na jednotlivých typech BMC směsí pro frekvenci 10 Hz

Z grafu 28 vidíme, že při frekvenci 10,00 Hz nejnižší hodnoty elasticity dosahuje BMC směs s 12g obsahem procesního aditiva W 996. Naopak nejvyšší hodnoty elasticity dosahuje BMC směs s 6g obsahem procesního aditiva W 996 a 3g obsahem procesního aditiva P 9065.



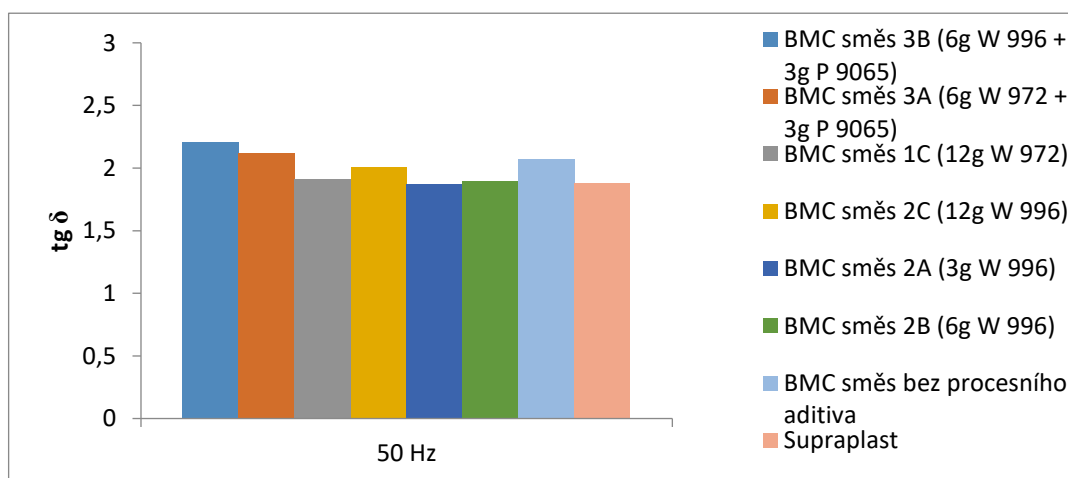
Graf 29 – Závislost elasticity na jednotlivých typech BMC směsí pro frekvenci 25 Hz

Z grafu 29 vidíme, že při frekvenci 25,00 Hz nejnižší hodnoty elasticity dosahuje BMC směs bez procesního aditiva. Naopak nejvyšší hodnoty elasticity dosahuje BMC směs s 6g obsahem procesního aditiva W 996 a 3g obsahem procesního aditiva P 9065.



Graf 30 – Závislost elasticity na jednotlivých typech BMC směsí pro frekvenci 33 Hz

Z grafu 30 vidíme, že při frekvenci 33,00 Hz nejnižší hodnoty elasticity dosahuje BMC směs bez procesního aditiva. Naopak nejvyšší hodnoty elasticity dosahuje BMC směs s 3g obsahem procesního aditiva W 996.



Graf 31 – Závislost elasticity na jednotlivých typech BMC směsí pro frekvenci 50 Hz

Z grafu 31 vidíme, že při frekvenci 50,00 Hz nejnižší hodnoty elasticity dosahuje BMC směs s 6g obsahem procesního aditiva W 996 a 3g obsahem procesního aditiva P 9065. Naopak nejvyšší hodnoty elasticity dosahuje BMC směs s 3g obsahem procesního aditiva W 996.

Nejhorší elastické vlastnosti vykazuje Supraplast a BMC směs bez použití procesních aditiv. Zlepšení elasticity oproti Supraplastu i směsi bez procesního aditiva dosahujeme u směsi s 6g obsahem procesního aditiva W 996 a směsi s 12g obsahem procesního aditiva W 996.

Vysoké elasticity dosahujeme u směsi s 3g obsahem procesního aditiva W 996 a směsi s 12g obsahem procesního aditiva W 972.

Ještě vyšší hodnoty elasticity dosahujeme u směsi s 6g obsahem procesního aditiva W 996 a 3g obsahem procesního aditiva P 9065.

Nejlepší elasticity dosahujeme u směsi s 6g obsahem procesního aditiva W 972 a 3g obsahem procesního aditiva P 9065. Tato směs byla na základě měření posouzena jako nejlepší (Graf 23).

ZÁVĚR

V této diplomové práci jsou shrnuty poznatky o BMC směsích.

V teoretické části se diplomová práce zabývá složením, výrobou a zpracováním BMC směsí, které jsou záměrně upravovány procesními aditivami, která jsou právě v této části diplomové práce také rozebrána. V této části nalezneme i kapitoly nazvané zkušební metody, ve kterých jsme naznačily řešení problematiky této diplomové práce, tedy případný vliv použitých procesních aditiv na vlastnosti BMC směsí.

V experimentální části diplomové práce jsme v podmínkách školní laboratoře připravily několik BMC směsí s různou koncentrací procesních aditiv, ze kterých jsme získaly vzorky pro zkušební metody. Bylo vylisováno několik destiček z navrhnutých BMC směsí. Devět těchto směsí vycházelo ze tří základních receptur. První dvě receptury se lišily pouze typem použitého procesního aditiva. Ve třetí receptuře bylo aditivum (Loxiol) nahrazeno procesním aditivem – byla tedy použita dvě procesní aditiva. Tyto vzorky jsme následně srovnávaly s komerčně vyráběnou BMC směsí používanou pro výrobu světlometu a elektrických součástek automobilového průmyslu Supraplast a BMC směsí bez procesního aditiva.

Při stanovení první zkoušky – vizuální kontrola vylisků, jsme posuzovaly vzhled povrchu a homogenitu vybarvení vylisovaných destiček BMC směsí. Prokázalo se, že směsi připravené s jakýmkoliv (W 972, W 996, P 9065) procesním aditivem vykazují zlepšení barevné homogenity oproti směsím připraveným bez procesních aditiv.

Při stanovení druhé zkoušky – stanovení povrchové energie vylisků, jsme posuzovaly separační vlastnosti vylisovaných destiček BMC směsí. Prokázalo se, že pouze směsi připravené s procesním aditivem P 9065 vykazují zlepšení separačních vlastností oproti směsím připraveným bez procesních aditiv.

Při stanovení třetí zkoušky – tahová zkouška, jsme posuzovaly pevnost vylisovaných destiček BMC směsí. Prokázalo se, že směsi připravené s jakýmkoliv (W 972, W 996, P 9065) procesním aditivem vykazují vyšší hodnoty pevnosti v tahu oproti směsím připraveným bez procesních aditiv.

Při stanovení čtvrté zkoušky – reologie, jsme posuzovaly elasticitu a zpracovatelské vlastnosti vylisovaných destiček BMC směsí. Prokázalo se, že směsi připravené s jakýmkoliv (W 972, W 996, P 9065) procesním aditivem vykazují zvýšení elasticity a snížení viskozity oproti směsím připraveným bez procesních aditiv.

Z výsledků plyne, že BMC směsi bez použití procesních aditiv vykazovaly horší vlastnosti oproti směsím, které byly připraveny s použitím procesních aditiv. Pokud bych měla být konkrétní, tak nejlepších výsledků dosáhla BMC směs s použitím střední (6g) koncentrace procesního aditiva W 996 (popřípadě v kombinaci s 3g P 9065). U této směsi bylo dosaženo lepších výsledků i oproti komerčně vyráběnému Supraplastu a to konkrétně u všech námi zkoumaných vlastností. Na druhou stranu je ale nutno říci, že BMC směsi, ať už s použitím nebo bez použití procesních aditiv, jsou obecně ještě velmi neprobádanou oblastí. Z výsledků diplomové práce je také vidět hned několik možností, kam by se další případný výzkum na toto téma mohl vydat.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HARTLOVÁ, I. Reaktoplastické lisovací hmoty, diplomová práce [online]. Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2015. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z <http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/33685/hartlov%20a1_2015_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [2] HROMADOVÁ, R. Vlastnosti lisovacích hmot, diplomová práce [online]. Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2015. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z <https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/33689/hromadov%20a1_2015_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [3] RADKOVIČOVÁ, R. Aditiva na bázi polysacharidů upravující texturu, bakalářská práce [online]. Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2014. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z <https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/28247/radkovi%20a1_2014_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [4] Additives for Bulk Molding Compounds (BMC) and Thick Molding Compounds (TMC). BYK, firemní literatura. [cit. 2017-01-26].
- [5] JUŘÍK, M. Dependence of aging of bulk moulding compounds on their rheological and processing properties, diplomová práce [online]. Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati v Brně, 2009, s. 91. [cit. 2017-01-26]. Dostupné z <https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/10431/ju%20EDk_2009_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=n>.
- [6] ORGÉAS, L., P. J. J. DUMONT, T.-H. LE a D. FAVIER. Lubricated compression of BMC, a concentrated and fibre-reinforced granular polymer suspension. *Rheologica Acta* [online]. 2008, vol. 47, issue 5-6, s. 677-688. [cit. 2017-02-07]. DOI: 10.1007/s00397-008-0276-1. Dostupné z <<http://link.springer.com/10.1007/s00397-008-0276-1>>.
- [7] MLEZIVA, J. Polyestery, jejich výroba a zpracování. 2. přeprac. a rozš. vyd. Praha: SNTL, 1978, 405 s.
- [8] MRKVIČKOVÁ, S. Modifikace nenasycených polyesterových pryskyřic, disertační práce. Fakulta Technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2005.
- [9] ČERNÝ, V. Srovnání vlivu kaolínu a uhličitanu vápenatého v měkčených PVC směsích, diplomová práce [online]. Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009, s. 109. [cit. 2015-03-12]. Dostupné z <https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/10341/%C4%8Dern%C3%BD_2009_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- [10] HUCZALA, V. Vliv fyzikální úpravy sráženého CaCO₃ na vlastnosti kompozitu na bázi PP, přednášky [online]. Fakulta chemická, Vysoké učení technické v Brně, 2014, s. 74. [cit. 2017-01-25]. Dostupné z <<https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/30888/DPHuczala.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.
- [11] JANČÁŘ, J. Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů. 1. vyd. Brno: VUT, 2003, s. 194. ISBN 80-214-2443-5.
- [12] MA, Ch.-ch. M., Ch.-t. HSIEH, H.-ch. KUAN, T.-y. TSAI a S.-w. YU. Effects of molecular weight and molecular structure of low profile additives on the properties of bulk molding compound (BMC). Polymer Engineering & Science [online]. 2003, vol. 43, issue 5, s. 989-998. [cit. 2017-02-07]. DOI: 10.1002/pen.10083. Dostupné z <<http://doi.wiley.com/10.1002/pen.10083>>.
- [13] Styren. Wikipedia [online]. 2006. [cit. 2017-01-26]. Dostupné z <<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cb/Styren.svg>>.
- [14] Styren. Arnika [online]. 2001. [cit. 2017-01-26]. Dostupné z <<http://arnika.org/styren>>.
- [15] ROWE, Jason. Advanced materials in automotive engineering. Philadelphia, PA: Woodhead Publishing, 2012. Woodhead Publishing in materials. ISBN 1845695615.
- [16] Peroxidy. Lach:ner [online]. 2015. [cit. 2017-01-26]. Dostupné z <<http://www.lachner.com/peroxydy/t-317/?n=10>>.
- [17] Pigmenty. AQUA obnova staveb [online]. 2010. [cit. 2017-01-26]. Dostupné z <[http://www.aquabarta.cz/pigmenty.html?utm_source=seznam&utm_medium=cpc&utm_campaign=obecn%a1+slova+\(VS\)+5299125737&utm_content=Pigmenty+pr%a1%a5%a1kov%a9](http://www.aquabarta.cz/pigmenty.html?utm_source=seznam&utm_medium=cpc&utm_campaign=obecn%a1+slova+(VS)+5299125737&utm_content=Pigmenty+pr%a1%a5%a1kov%a9)>.
- [18] BENÍČEK, L. Plastikářská technologie, přednášky, Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2015.
- [19] HARTL, P. Univerzální testovací stroj, laboratorní materiály. Gymnázium Moravská Třebová, 1998.
- [20] Additives for the Closed Mold Application. BYK, firemní literatura. [cit. 2017-01-26].
- [21] BYK. Additives for Sheet Molding Compounds (SMC). BYK, firemní literatura. [cit. 2017-01-26].

- [22] Additives for Molding Compounds. BYK [online]. 2010. [cit. 2017-01-26]. Dostupné z <http://www.tecnologiademateriais.com.br/mt/2010/cobertura_paineis/congresso_pr/apresentacoes/byk.pdf>.
- [23] Insights on SMC / BMC / DMC Start-ups. BYK [online]. 2012. [cit. 2017-01-26]. Dostupné z <<http://www.frpinstitute.org/pdf/SMC-DMC-nbsridhar.pdf>>.
- [24] Sheet Moulding Compound, Bulk Moulding Compound. BYK [online]. 2002. [cit. 2017-01-26]. Dostupné z <<http://www.ist.edu.pk/downloads/iccm/11-smc.pdf>>.
- [25] MRKVIČKOVÁ, S. Povrchové úpravy a lepení, přednášky. Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2016.
- [26] KRÁSNÝ, I. Měření kontaktních úhlů smáčení a určování povrchové energie plastů, diplomová práce [online]. Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2010. Dostupné z <https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/14169/kr%3%a1sn%3%bd_2010_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [27] Kontaktní úhel – úhel smáčivosti. Optikarium [online]. 2017. [cit. 2017-01-26]. Dostupné z <<http://www.optikarium.cz/kontaktni-cocky-a-roztoky/kontaktni-uhel-smacivost>>.
- [28] SVOBODA, J. Studie vlivu povrchové energie různých druhů kapalin a povrchů – experiment, bakalářská práce [online]. Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně, 2007. Dostupné z <<https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/15986/Bakal%3%a1%5%99sk%3%a1%20pr%3%a1ce.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.
- [29] Statické zkoušky. Západočeská univerzita v Plzni [online]. 1991. Dostupné z <<http://home.zcu.cz/~dyxon/DATA/Nauka%20o%20M/Zkouska.pdf>>.
- [30] KOVÁŘ, V. Mechanické chování dílů zhotovených metodami RP, bakalářská práce [online]. Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011. Dostupné z <https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/16896/kov%3%a1%5%99_2011_bp.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [31] ČSN EN ISO 527-1. Plasty-Stanovení tahových vlastností. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [32] HAUSNEROVÁ, B. Vlastnosti polymerních materiálů, přednášky [online]. Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2015. Dostupné z <http://ufmi.ft.utb.cz/index.php?page=fyzika_pol>.
- [33] ZATLOUKAL, M. Reologie, přednášky, Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2015.

[34] WILCZYNSKI, O. a POSPÍŠIL R. RPA 2000 - univerzální nástroj pro gumárenský průmysl. 11-12 vyd. Zlín: Plasty a kaučuk, 2008. Dostupné z <https://publikace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/1002870/Fulltext_1002870.pdf?sequence=1>.

[35] MIKULENČÁKOVÁ, L. Charakterizace kaučuků pomocí Viskozimetru Mooney a přístroje RPA, diplomová práce [online]. Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009. Dostupné z <https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/9021/mikulen%c4%8d%c3%a1kov%c3%a1_2009_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

α	Retardační čas [K]
CO ₂	Oxid uhličitý
DMC	Dough moulding compound
E	Aktivační energie [J]
γ^+	Elektron-akceptorový parametr acido-bazické komponenty volné povrchové energie [mN.m ⁻¹]
γ^-	Elektron-donorový parametr acido-bazické komponenty volné povrchové energie [mN.m ⁻¹]
γ^{AB}	Acidobazická část povrchové energie [mN.m ⁻¹]
γ_{lg} [mN.m ⁻¹]	Povrchové napětí na rozhraní kapalně a plynné fáze
γ_{ls} [mN.m ⁻¹]	Povrchové napětí na rozhraní kapalně a pevné fáze
γ^{LW}	Disperzní část povrchové energie [mN.m ⁻¹]
γ_{sg} [mN.m ⁻¹]	Povrchové napětí na rozhraní pevné a plynné fáze
γ, δ	Povrchové napětí [mN.m ⁻¹]
IMC	In mould rating
N ₂	Dusík
ω	Úhlová rychlost [rad.s ⁻¹]
PMMA	Polymethylmetakrylát
PS	Polystyren
PVA	Polyvinylalkohol
ρ	Hustota [kg.m ⁻³]
SMC	Sheet moulding compound
Sn	Cín
T	Teplota [°C]
T _g	Teplota skelného přechodu [°C]
Ti	Titan
θ	Kontaktní úhel smáčení [°]
Zr	Zirkonium

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Struktura BMC výrobku [7]	12
Obrázek 2 – Vytvrzování polyesteru a styrenu [7]	13
Obrázek 3 – Izomerie kyseliny maleinové a fumarové [7]	14
Obrázek 4 – Struktura kalcitu a aragonitu [9]	15
Obrázek 5 – Přírodní CaCO ₃ [9]	15
Obrázek 6 – Stabilizace LPA systému před (a) a po (b) přidání aditiv [4]	17
Obrázek 7 – Styren [13]	18
Obrázek 8 – Výroba BMC směsi [2]	19
Obrázek 9 – Změna viskozity [1]	20
Obrázek 10 – Hydraulický lis s krátkým zdvihem [18]	21
Obrázek 11 – Vytvrzovací reakce BMC směsi [18]	22
Obrázek 12 – Univerzální testovací stroj [19]	22
Obrázek 13 – Disperze plniva [20]	23
Obrázek 14 – Smáčení a disperzní proces [21]	23
Obrázek 15 – Anti-separační aditivum [20]	24
Obrázek 16 – Separace od UP [22]	24
Obrázek 17 – Vzorek bez a s procesními aditivami [23]	25
Obrázek 18 - Vzorek bez (a) a s (b) procesními aditivami [23]	25
Obrázek 19 – Směs bez anti-separačního aditiva [20]	26
Obrázek 20 - Stabilizace systému anti-separačním aditivem [20]	26
Obrázek 21 – Světlomet bez (a) a s (b) procesním aditivem [23]	27
Obrázek 22 – Smáčení povrchu bez (a) a s (b) procesním aditivem [24]	27
Obrázek 23 – Hladkost povrchu bez (a) a s (b) procesním aditivem [23]	28
Obrázek 24 – Dokonalé smáčení [25]	30
Obrázek 25 – Dobré smáčení [25]	30
Obrázek 26 – Špatné smáčení [25]	31
Obrázek 27 – Dokonalé nesmáčení [25]	31
Obrázek 28 - See systém [27]	32
Obrázek 29 – Zkouška tahem [29]	33
Obrázek 30 - Pracovní diagram [29]	35
Obrázek 31 – Model reologického chování během smykového namáhání [32]	36
Obrázek 32 – Toková křivka polymerních látek [32]	37

Obrázek 33 – Závislost viskozity na M_w [32]	39
Obrázek 34 - Závislost viskozity na t [32]	39
Obrázek 35 - Elastický modul G' [34]	40
Obrázek 36 - Viskózní modul G'' [34]	40
Obrázek 37 - Ztrátový faktor $\tan\delta$ [34]	41
Obrázek 38 - Konstrukce komory RPA [35]	41
Obrázek 39 – Školní laboratorní míchací zařízení	47
Obrázek 40 – Zamíchaná BMC směs	48
Obrázek 41 – Míchání BMC pasty s CaCO_3	49
Obrázek 42 – Školní laboratorní hnětič chlazen vodou	50
Obrázek 43 – Míchací prostor hnětiče s BMC pastou	50
Obrázek 44 – Detail parametrů skleněných vláken	51
Obrázek 45 – BMC směs 1A	51
Obrázek 46 – Školní laboratorní lis	52
Obrázek 47 - Školní laboratorní pila	53
Obrázek 48 - Zkušební přístroj pro měření povrchové energie	54
Obrázek 49 – Zkušební přístroj Quasar 25	55
Obrázek 50 – Viskozimetr	56
Obrázek 51 – Vylisovaná destička ze Supraplastu	57
Obrázek 52 – Vylisovaná destička z BMC směsi bez procesního aditiva	58
Obrázek 53 – Vylisované destičky z první BMC směsi s procesním aditivem (1A – 3g W 972, 1B – 6g W 972, 1C – 12 g W 972)	58
Obrázek 54 – Vylisované destičky z druhé BMC směsi s procesním aditivem (2A – 3g W 996, 2B – 6g W 996, 2C – 12g W 996)	60
Obrázek 55 – Vylisované destičky ze třetí BMC směsi s procesním aditivem (3A – 6g W 972 + 3g P 9065, 3B – 6g W 996 + 3g P 9065)	61
Obrázek 56 – Jednotlivé kapky všech měřených kapalin	64
Obrázek 57 - Vzorek upevněný v čelistech	72
Obrázek 58 – Přístroj pro vyhotovení vzorků	83
Obrázek 59 – Vzorek vložený ve viskozimetru	84

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Vlastnosti uhličitanu vápenatého [10]	16
Tabulka 2 – Složení směsi bez procesního aditiva	45
Tabulka 3 – Složení první směsi s procesním aditivem BYK W 972	46
Tabulka 4 – Složení druhé směsi s procesním aditivem BYK P 996	46
Tabulka 5 – Složení třetí směsi s procesními aditivami	47
Tabulka 6 – Zhodnocení vzhledu známkami	62
Tabulka 7 – Povrchové napětí kapalin	64
Tabulka 8 – Kontaktní úhly jednotlivých vzorků	64
Tabulka 9 – Hodnoty povrchové energie jednotlivých vzorků	65
Tabulka 10 – Kontaktní úhly jednotlivých vzorků	66
Tabulka 11 – Hodnoty povrchové energie jednotlivých vzorků	67
Tabulka 12 – Kontaktní úhly jednotlivých vzorků	67
Tabulka 13 – Hodnoty povrchové energie jednotlivých vzorků	68
Tabulka 14 – Kontaktní úhly jednotlivých vzorků	69
Tabulka 15 – Hodnoty povrchové energie jednotlivých vzorků	70
Tabulka 16 – Výsledky tahové zkoušky u Supraplastu	73
Tabulka 17 – Výsledky tahové zkoušky u BMC směsi bez procesního aditiva	74
Tabulka 18 – Výsledky tahové zkoušky u BMC směsi 1A	74
Tabulka 19 – Výsledky tahové zkoušky u BMC směsi 1B	75
Tabulka 20 – Výsledky tahové zkoušky u BMC směsi 1C	76
Tabulka 21 – Výsledky tahové zkoušky u BMC směsi 2A	77
Tabulka 22 – Výsledky tahové zkoušky u BMC směsi 2B	78
Tabulka 23 – Výsledky tahové zkoušky u BMC směsi 2C	79
Tabulka 24 – Výsledky tahové zkoušky u BMC směsi 3A	80
Tabulka 25 – Průměr a rozptyl jednotlivých směsí	81
Tabulka 26 - Naměřené hodnoty frekvencí a deformací získané metodou RPA	85
Tabulka 27 – Naměřené hodnoty viskozit získaných metodou RPA pro jednotlivé směsi	85

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 – Závislost úhlu smáčení s použitím a bez použití procesního aditiva	65
Graf 2 – Závislost povrchové energie s použitím a bez použití procesního aditiva	65
Graf 3 – Závislost úhlu smáčení na koncentraci použitého procesního aditiva	66
Graf 4 – Závislost povrchové energie na koncentraci použitého procesního aditiva	67
Graf 5 – Závislost úhlu smáčení na koncentraci použitého procesního aditiva	68
Graf 6 – Závislost povrchové energie na koncentraci použitého procesního aditiva	69
Graf 7 – Závislost úhlu smáčení na koncentraci použitého procesního aditiva	69
Graf 8 – Závislost povrchové energie na koncentraci použitých procesních aditiv	70
Graf 9 – Závislost pevnosti v tahu na Supraplastu	73
Graf 10 – Závislost pevnosti v tahu na BMC směsi bez procesního aditiva	74
Graf 11 – Závislost pevnosti v tahu na BMC směsi 1A	75
Graf 12 – Závislost pevnosti v tahu na BMC směsi 1B	76
Graf 13 – Závislost pevnosti v tahu na BMC směsi 1C	77
Graf 14 – Závislost pevnosti v tahu na BMC směsi 2A	78
Graf 15 – Závislost pevnosti v tahu na BMC směsi 2B	79
Graf 16 – Závislost pevnosti v tahu na BMC směsi 2C	80
Graf 17 – Závislost pevnosti v tahu na BMC směsi 3A	81
Graf 18 - Závislost průměrných hodnot pevností na jednotlivých BMC směsích	82
Graf 19 – Závislost komplexní viskozity na frekvenci	86
Graf 20 – Závislost viskozity na rychlosti smykové deformace	87
Graf 21 – Závislost vybraných hodnot viskozit na rychlosti smykové deformace	88
Graf 22 - Závislost n na jednotlivých typech BMC směsí	88
Graf 23 – Závislost elasticity na jednotlivých typech BMC směsí pro frekvenci 0,25 Hz	89
Graf 24 – Závislost elasticity na jednotlivých typech BMC směsí pro frekvenci 0,5 Hz	90
Graf 25 – Závislost elasticity na jednotlivých typech BMC směsí pro frekvenci 1 Hz	90
Graf 26 – Závislost elasticity na jednotlivých typech BMC směsí pro frekvenci 2,5 Hz	91
Graf 27 – Závislost elasticity na jednotlivých typech BMC směsí pro frekvenci 5 Hz	91
Graf 28 – Závislost elasticity na jednotlivých typech BMC směsí pro frekvenci 10 Hz	92
Graf 29 – Závislost elasticity na jednotlivých typech BMC směsí pro frekvenci 25 Hz	92
Graf 30 – Závislost elasticity na jednotlivých typech BMC směsí pro frekvenci 33 Hz	93
Graf 31 – Závislost elasticity na jednotlivých typech BMC směsí pro frekvenci 50 Hz	93

SEZNAM VZORCŮ

(1) Povrchová energie	29
(2) Youngova rovnice	29
(3) Výpočet celkové povrchové energie	32
(4) Young – Duprého rovnice	32
(5) Výpočet polární složky	32
(6) Metoda nejmenších čtverců	33
(7) Výpočet meze kluzu v tahu	33
(8) Výpočet meze pevnosti v tahu	34
(9) Výpočet tažnosti	34
(10) Výpočet kontrakce	34
(11) Newtonův zákon	35
(12) Výpočet smykového napětí	36
(13) Výpočet smykové deformace	36
(14) Výpočet rychlosti smykové deformace	36
(15) Mocninový zákon	37
(16) Williams - Landel - Ferry rovnice	38
(17) Arrheniův vztah	38

SEZNAM PŘÍLOH

<i>Příloha 1: Technický datový list – E96.....</i>	108
<i>Příloha 2: Technický datový list – LPA.....</i>	109
<i>Příloha 3: Technický datový list – CaCO₃.....</i>	110
<i>Příloha 4: Technický datový list – Loxiol.....</i>	111
<i>Příloha 5: Technický datový list – BYK W 972.....</i>	113
<i>Příloha 6: Technický datový list – BYK W 996.....</i>	114
<i>Příloha 7: Technický datový list – BYK P 9065.....</i>	115

Příloha 1: *Technický datový list – E96***erco**[®]**TECHNICAL DATA SHEET E-96****Product Description and Properties**

E-96 is an maleic based SMC/BMC type unsaturated polyester resin which has high reactivity and high viscosity.

Due to its high wetting property, E-96 can be used with high amounts of fillers. It is recommended to use E-96 with Low Profile Additives. It has very high mechanical properties and high heat resistance. When properly used with Erco LPA, Class A surfaces are obtained.

E-96 can be used in a lot of business sectors with Sheet Moulding Compound applications where fiber glass is present. It is commonly used in production of interior and exterior automotive parts and other industries where high mechanical values and Class A are desired.

This product is non-thixotropic and non-accelerated.

Application

SMC/BMC	Suitable
---------	----------

Chemical Properties

Acid	Maleic
Accelerator	No
Reactivity	High
Glycol	Standard
Modification	No

Liquid Resin Properties

Test	Method	Value
Color	ISO 2211	- 1 Gardner
Acid Value	ISO 2114	±%20 20 mg KOH/gr
Viscosity	ISO 2555	±%20 3550 cps
Thixotropy		-
Gel Time	ISO 2535	±%20 5'30"
Peak Exotherm		±%5 220 °C
Solids Content		±%3 69%
Flash Point	Abel-Pernsky	- 33 °C
Stability, no init.,	dark, 20 °C	- 3 months

- Measured with Brookfield spindle 3, 50 rpm at 20 °C.
- Measured with 0,2 % ml Cobalt Octoate (6 %), 2 % ml MEK-P (50 %) at 20 °C.

Storage Guidelines

The product should be stored in a dark and dry place at temperatures between 5°C and 20°C. Shelf life is reduced at higher temperatures. The shelf life of styrene containing unsaturated polyesters will be significantly reduced when exposed to light. Store in dark and in 100% light tight containers only. Keep away from ignition sources: flames, pilot lights, electrical sparks and sparking tools. No smoking. Store separately from oxidising materials, peroxides and metal salts.

Material Safety

A material safety data sheet for the product is available.

Test Methods

Test methods for this product are available upon request.



Příloha 2: Technický datový list – LPA



TECHNICAL DATA SHEET LPA

Product Description and Properties

LPA is a polymethylmethacrylate (PMMA) resin dissolved in styrene for low profile SMC applications.

It is recommended to use LPA with Erco E-96. Applications made by these components result as products which have very low shrinkage (sometimes extensions) and Class A surfaces (when properly used). Using pigment pastes is not preferred, since it may not lead to homogeneous dispersion.

LPA can be used in a lot of business sectors with Sheet Moulding Compound applications where fiber glass is present. It is commonly used in production of interior and exterior automotive parts and other industries where high mechanical values and Class A are desired.

This product is non-thixotropic and non-accelerated.

Application

SMC/BMC	Suitable
---------	----------

Liquid Resin Properties

Test	Method	Value
Appearance	-	Transparent
Acid Value	ISO 2114	±%20 2 mg KOH/gr
Viscosity	ISO 2555	±%20 1150 cps
Solids Content		±%3 34%
Flash Point	Abel-Pernsky	- 33 °C
Stability, no init.,	dark, 20 °C	- 6 months

- Measured with Brookfield spindle 3, 50 rpm at 20 °C.

Storage Guidelines

The product should be stored in a dark and dry place at temperatures between 5°C and 20°C. Shelf life is reduced at higher temperatures. The shelf life of styrene containing unsaturated polyesters will be significantly reduced when exposed to light. Store in dark and in 100% light tight containers only. Keep away from ignition sources: flames, pilot lights, electrical sparks and sparking tools. No smoking. Store separately from oxidising materials, peroxides and metal salts.

Material Safety

A material safety data sheet for the product is available.

Test Methods

Test methods for this product are available upon request.



Příloha 3: *Technický datový list – CaCO₃*

DATA SHEET
MATERIÁLOVÝ LIST

OMYACARB 2VA, 5VA, 15VA

OMYACARB 2 VA, 5 VA, 15 VA

Chemical name - CaCO₃

Form - fine powder of white colour

Physico-chemical properties - Carbonate filler Omyacarb is clearly white marble powder acquired by grinding, milling and sorting of a natural crystalline calcite.

Usage - It is used in production of paints, bindings, rubber and plastic mixtures, building materials, disperse and mineral plasters, fine ceramic etc.

Packing - 2VA - 40 kg, 5VA - 50 kg, 15VA - 50 kg paper bags, 1 pallet / 1200 kg

Technical characteristic / Technická charakteristika	2VA	5VA	15-VA
CaCO ₃ + MgCO ₃	% min 98,5	98,5	98,5
from that MgCO ₃ / z toho MgCO ₃	% max 0,8	0,8	0,8
SiO ₂	% max 0,8	0,8	0,8
Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	% max 0,4	0,4	0,4
from that Fe ₂ O ₃ / z toho Fe ₂ O ₃	% max 0,1	0,1	0,1
Insoluble residue in HCl / nerozpustný zbytek v HCL	% max 1,5	1,5	1,5
MnO	% max 0,01	0,01	0,01
SO ₃	% max 0,05	0,05	0,05
Whiteness Ry / Bělost Ry	% min 93,7	92±2	88-93
Average particles size / Průměrná velikost částic	µm 2	5	12
Moisture / Vlhkost	% max 0,2	0,3	0,5

OMYACARB 2 VA, 5 VA, 15 VA

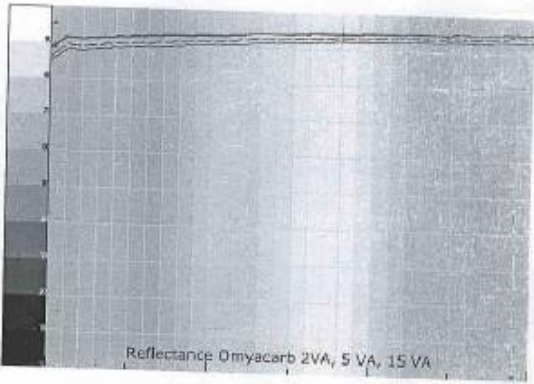
Chemický vzorec - CaCO₃

Forma - jemný prášek bílé barvy

Fyzikálně-chemické vlastnosti - Karbonátové plnidlo Omyacarb je čistě bílá mramorová moučka získaná drcením, mletím a tříděním přírodního krystalického vápence.

Použití - Používá se k výrobě barev, tmelů, gumárenských a plastkářských směsí, stavebních hmot, disperzních a minerálních omítek, jemné keramiky atd.

Balení - 2VA - 40 kg, 5VA - 50 kg, 15VA - 50 kg papírové pytle, 1 paleta / 1200 kg



MOLTEK CO.ORGANO., Přetýčkov 686, 209 01 Přetýčkov Hradčitz

Ref: 04.1.3.2010, strana 17

Příloha 4: *Technický datový list* – Loxiol**Analysis methods**

Acid value	DIN EN ISO 2114
Saponification value	DIN EN ISO 3681
Refractive index	DIN 51423
Lovibond 1"	
yellow	DGF C-IV 4b
red	DGF C-IV 4b

Storage

It is recommended to store LOXIOL® G 71 S at room temperature and to protect the product against the effects of heat and frost. If stored in sealed original containers, LOXIOL® G 71 S will keep for at least 24 months.

All products in the text marked with an ® are trademarks of the Emery Oleochemicals.

The information on product specifications provided herein is only binding to the extent confirmed by Emery Oleochemicals in a written Sales Agreement. Emery Oleochemicals EXPRESSLY DISCLAIMS ANY RESPONSIBILITY FOR THE SUITABILITY OF THE PRODUCTS FOR ANY SPECIFIC OR PARTICULAR PURPOSES INTENDED BY THE USER. Suggestions for the use and application of the products and guide formulations are given for information purposes only and without commitment. Such suggestions do not release Emery Oleochemicals' customers from testing the products as to their suitability for the customer's intended processes and purposes. Emery Oleochemicals does not assume any liability or risk involved in the use of its products as the conditions of use are beyond its control. The user of the products is solely responsible for compliance with all laws and regulations applying to the use of the products, including intellectual property rights of third parties.

Emery**Oleochemicals**

07/27/2009

1-05.2006 / LOXIOL® G 71 S

2

LOXIOL® G 71 S

Emery
Oleochemicals

Revision-No.:
1-05.2006 Effective May 3, 2006

Description Liquid, high molecular, multi-functional fatty acid ester (complex ester)

Appearance Slight yellow, practically odourless

Technical Data

Acid value	0 - 12 mg KOH/g
Saponification value	258 - 272 mg KOH/g
Refractive index	1.476 - 1.479
Lovibond 1"	
yellow	0 - 30
red	0 - 4

Further Details

Solidification point	< -20 °C
Viscosity, 20 °C	1200 - 1900 mPa·s

Applications

- processing of rigid PVC
- processing of plasticized PVC
- processing of PVC in paste form

Properties External lubricant with an optimal release effect. Compared with LOXIOL® G 71 the dosage can be reduced. There is very good compatibility in rigid and plasticized PVC.

Dosage 0.2 - 0.6 phr for rigid and plasticized PVC

Food Law Approvals In the EU and USA, information on request

Drinking water approval
Germany, Italy

07/27/2006

1-05.2006 / LOXIOL® G 71 S

1

Příloha 5: *Technický datový list* – *BYK W 972*

BYK-W 972

Data Sheet
Issue 01/2014

BYK-W 972

Wetting and dispersing additive for SMC/BMC and pultrusion to homogenize and stabilize the system, and to increase the color homogeneity in molding compounds. Improved fiber wetting and therefore optimized properties. Anti-separation additive.

Product Data

Composition

Solution of a high molecular weight block copolymer with pigment affinic groups

Typical Properties

The values indicated in this data sheet describe typical properties and do not constitute specification limits.

Amine value:	11 mg KOH/g
Density (20 °C):	1.02 g/ml
Refractive index (20 °C):	1.438
Non-volatile matter (20 min., 150 °C):	30 %
Flash point:	38 °C

Food Contact Legal Status

For the current food contact legal status, please contact our product safety department or visit www.byk.com for further information.

Storage and Transportation

Separation or turbidity may occur at temperatures below 0 °C. Warm to 20 °C and mix well.

Applications

SMC, BMC, Pultrusion

Special Features and Benefits

Additive to prevent phase separation in PS-UP filled molding compounds. It improves the pigment dispersion and pigment stability in LS systems. In HMC, BYK-W 972 optimizes the fiber wetting and therefore the mechanical properties.

Recommended Levels

0.5-1 % additive (as supplied) based upon the resin, to prevent phase separation.

0.5-1 % additive (as supplied) based upon the fiber content, for fiber wetting.

30-140 % additive (as supplied) based on the pigment, to stabilize organic pigments and carbon blacks.

The above recommended levels can be used for orientation. Optimal levels are determined through a series of laboratory tests.

Incorporation and Processing Instructions

BYK-W 972 should be homogenized in the resin mixture before incorporating in the fillers/pigments.

A member of ALIANA

BYK-W 996

Wetting and dispersing additive for filled, unsaturated polyester systems and epoxy systems.

Product Data

Composition

Solution of a copolymer with acidic groups

Typical Properties

The values indicated in this data sheet describe typical properties and do not constitute specification limits.

Acid value:	71 mg KOH/g
Density (20 °C):	1.04 g/ml
Refractive Index (20 °C):	1.462
Water content:	0.13 %
Non-volatile matter (10 min., 150 °C):	52 %
Flash point:	> 40 °C

Food Contact Legal Status

For the current food contact legal status, please contact our product safety department or visit www.byk.com for further information.

Storage and Transportation

Separation and turbidity may occur. Mix well before use. Warm to 30-40°C and mix well.

Applications

SMC, BMC, Pultrusion

Special Features and Benefits


Universal and cost-effective wetting and dispersing additive for virtually all closed mold applications. Very effective in highly ATH-filled systems. The product can be combined with BYK-W 9010 (1:1) if high additive quantities are required.

Recommended Use

LP and Class A formulations	<input checked="" type="checkbox"/>
LS formulations	<input checked="" type="checkbox"/>
Epoxy systems	<input checked="" type="checkbox"/>
Pultrusion	<input checked="" type="checkbox"/>
Viscosity stabilization BMC	<input checked="" type="checkbox"/>

especially recommended recommended

Příloha 7: *Technický datový list* – BYK P 9065

Material Safety Data Sheet		
BYK-P 9065		
Version 3	Revision Date 07/19/2010	Print Date 07/19/2010
SECTION 1. PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION		
Product name	:	BYK-P 9065
Product Use Description	:	Processing Additive
Company	:	BYK USA Inc. 524 South Cherry Street Wallingford CT 06492
Prepared by	:	J.Nole, Safety; M.McCutcheon, Regulatory
Telephone	:	(203) 265-2086
Visit our web site	:	www.byk.com
E-mail address	:	ehs.byk.usa@altana.com
Emergency telephone number	:	CHEMTREC 800-424-9300
SECTION 2. HAZARDS IDENTIFICATION		
Emergency Overview		
Form	:	liquid
Colour	:	amber
Odour	:	characteristic
OSHA Regulatory Status		
This material is considered hazardous by the OSHA Hazard Communication Standard (29 CFR1910.1200)		
Potential Health Effects		
Eyes	:	Contact may cause irritation.
Skin	:	Contact may cause irritation and sensitization.
Ingestion	:	Ingestion may irritate the digestive tract.
Inhalation	:	High concentrations of heated vapors may irritate the respiratory tract and mucous membranes.
Chronic Exposure	:	Absorption of ingredients (solvents) by inhalation and/or repeated skin contact has caused injury to liver/kidney/blood in laboratory animals.
Aggravated Medical Condition	:	May be aggravating to some pre-existing liver and/or kidney disorders
Primary Routes of Entry	:	Inhalation Ingestion Eyes Skin contact
1 / 8		