

Polymery s protizamlžovací úpravou

Dušan Navrátil

Bakalářská práce
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Dušan Navrátil**
Osobní číslo: **T15052**
Studijní program: **B2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Polymerní materiály a technologie**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Polymery s protizamlžovací úpravou**

Zásady pro vypracování:

Cílem bakalářské práce je vytvořit ucelenou rešerši pojednávající o polymerech s protizamlžovací úpravou. Takto upravené polymery se vyžadují v určitých aplikacích, jako např. zemědělské fólie, balení potravin, chladicí boxy či brýle. Pro odstranění zamlžování (kondenzace vody na povrchu) se používají protizamlžovací přísady migrující k povrchu, povrchové nátěry či chemická úprava povrchu. Součástí práce by měl být přehled používaných protizamlžovacích technologií a jejich praktických uplatnění v konkrétních případech.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jana Navrátilová, Ph.D.
Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání bakalářské práce:

2. ledna 2018

Termín odevzdání bakalářské práce:

18. května 2018

Ve Zlíně dne 1. března 2018



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 obhajoby ¹⁾;
- 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. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ 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 § 60 ³⁾ 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 11. 5. 2018



.....

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 též 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, užije-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 užít 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 da jejich skutečné výše; přitom se přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá řešením problému zamlžování plastů a výrobků z nich. Cílem práce je přinést široký přehled o nejčastěji používaných látkách a metodách pro zajištění protizamlžujícího účinku komerčně používaných plastů, včetně konkrétních příkladů řešení používaných v obalovém průmyslu, zemědělství a v automobilovém průmyslu. V práci jsou též zmíněny nejnovější postupy aplikace a použití nanotechnologií, povrchových vrstev, chemických a fyzikálních úprav povrchu plastů za účelem dosažení protizamlžujícího účinku. Dále práce obsahuje přehled nejčastěji používaných způsobů měření a vyhodnocování účinnosti používaných látek a metod.

Klíčová slova: Zamlžování, plazma, externí povrchové vrstvy, kontaktní úhel smáčení

ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on solving the problem of fogging of plastics materials and products from them. The aim of the work is to provide a broad overview of the most commonly used substances and methods of creating anti-fog effect of commercially used plastics, including concrete examples of solutions used in the packaging industry, agriculture and the automotive industry. The work also includes the latest methods of application of nanotechnologies, surface coatings, chemical and physical plastics surface treatment in order to achieve an anti-fog effect. The work also contains an overview of the most commonly used efficiency measurement methods of the used substances and methods.

Keywords: Fogging, plasma, external coating, contact angles

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucí mé bakalářské práce Ing. Janě Navrátilové Ph.D. za konstruktivní kritiku a odborné vedení při vytváření této bakalářské práce. Poděkování patří také mé přítelkyni a přátelům za jejich podporu během studia.

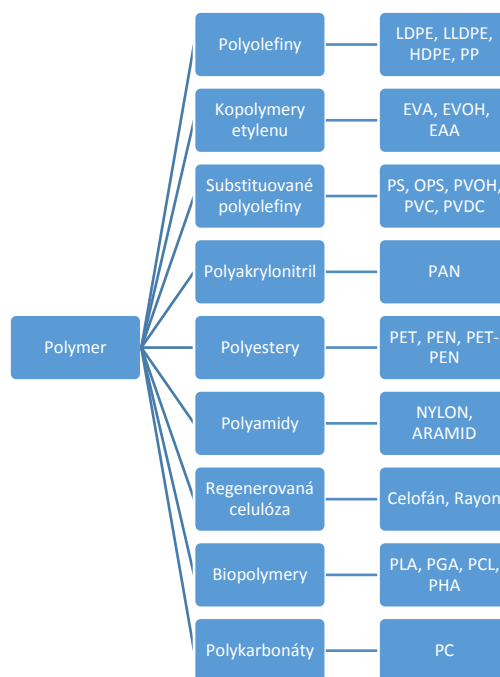
Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
1. ZAMLŽOVÁNÍ	11
1.1 KONDENZACE	11
1.2 USPOŘÁDÁNÍ KAPKY VODY NA POVRCHU PEVNÉ LÁTKY	12
1.3 VLIV TVARU KAPKY VODY NA OPTICKÉ VLASTNOSTI POLYMERU	15
2. ÚPRAVA POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ PROTI ZAMLŽOVÁNÍ	17
2.1 POUŽITÍ POVRCHOVĚ AKTIVNÍCH LÁTEK	17
2.2 MODIFIKACE POLYMERNÍHO ŘETĚZCE	20
2.2.1 Kopolymerace s vhodným monomerem	20
2.2.2 Kopolymerace s reaktivními povrchově aktivními látkami	21
2.3 EXTERNÍ PROTIZAMLŽOVACÍ VRSTVY	21
2.4 FYZIKÁLNÍ ÚPRAVA POVRCHU	25
2.4.1 Úprava povrchu plazmatem	25
2.4.2 Stárnutí povrchu upraveného plazmatem vlivem prostředí	27
3. ZPŮSOBY MĚŘENÍ ÚČINNOSTI PROTIZAMLŽOVACÍCH ÚPRAV	29
3.1 MĚŘENÍ KONTAKTNÍHO ÚHLU PŘISEDLÉ KAPKY	29
3.2 HOT A COLD FOG TEST	31
3.2.1 Hot Fog Test	31
3.2.2 Cold Fog Test	31
3.3 OPTICKÉ METODY MĚŘENÍ	33
3.3.1 Metoda reflektance	33
3.3.2 Metoda transmitance	33
3.3.3 Metoda mikroskopická	34
4. KONKRÉTNÍ PŘÍKLADY POUŽITÍ	35
4.1 OBALOVÝ PRŮMYSL.....	35
4.2 ZEMĚDĚLSKÝ PRŮMYSL – FÓLIOVNÍKY	36
4.3 AUTOMOBILOVÝ PRŮMYSL	36
4.4 OCHRANNÉ POMŮCKY	37
4.5 OCHRANNÁ SKLA SOLÁRNÍCH ČLÁNKŮ.....	38
ZÁVĚR	39
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	40
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	45
SEZNAM OBRÁZKŮ	47
SEZNAM TABULEK	49

ÚVOD

Jedním z největších sektorů použití polymerních materiálů je obalový průmysl. Polymerní materiály stále více nahrazují dříve používané obalové materiály, jako jsou sklo, papír a kov. Seznam nejčastěji používaných polymerních materiálů v obalovém průmyslu je uveden na (Obr. 1) [1]. Důvodem stále větší popularity obalů z polymerních materiálů je především jejich cena, fyzikální vlastnosti a nízká energetická náročnost zpracování. Dalším důvodem použití je to, že zabalenému zboží poskytují lepší mechanickou ochranu při převozu. Možností kombinace více polymerních materiálů v jednom obalu lze variabilně přizpůsobit vlastnosti obalu pro konkrétní výrobek. Možnost použití transparentních polymerních materiálů dovoluje výrobci zabalit výrobek tak, aby byl mnohem atraktivnější pro zákazníka.



Obr. 1 Nejčastěji používané polymery v obalovém průmyslu.[1]

Dalším odvětvím, ve kterém se stále více prosazuje náhrada tradičních materiálů za polymerní materiály, je zemědělství. Jednou z nejdůležitějších oblastí použití plastů v zemědělství je náhrada skla při konstrukci skleníků. Nejčastěji používané materiály pro tyto účely jsou nízko-hustotní polyetylen LDPE, kopolymer etylen-vinylacetát EVA a kopolymer etylen-butyl akrylát EBA.[2]

Značný nárůst použití polymerních materiálů vykazuje i automobilový průmysl. Polymerní materiály se zde využívají jak pro karoserie, tak pro interiérové díly či pro výrobu světlometů. Jednou z nevýhod používání polymerních materiálů je u většiny z nich jejich nízká volná povrchová energie, viz tabulka (Tab. 1).

Tab. 1 *Volná povrchová energie polymerů používaných v obalovém průmyslu.*

Polymer	Volná povrchová energie [mN/m]
PE	30 – 31
PP	29 – 31
EVA	34 – 38
PS	38
PVC	39
Měkčené PVC	33 – 38
PAN	44
PET	41 – 44
PC	46
PA 66	33 – 46
PLA	43
Celofán	45

Z tohoto důvodu dochází vlivem špatného smáčení povrchu ke vzniku diskrétních kapiček vody. Tento jev se nazývá zamlžování a je velkým problémem v mnoha aplikacích. Příkladem problému se zamlžováním může být zkrácená doba trvanlivosti potravin [3], zhoršení funkce automobilových světlometů či snížení propustnosti světla ve fóliovnících.

Proto je nutné polymerní materiály upravit tak, aby nedocházelo ke vzniku kapiček na jejich povrchu. Jelikož se tento problém intenzivně řeší, je předmětem mnoha výzkumných a vývojových prací [4–6]. Tím pádem přibývá mnoho nových způsobů, jak jej řešit v konkrétních aplikacích. Cílem této bakalářské práce je přinést ucelený přehled způsobů úpravy polymerních materiálů proti zamlžení, měření účinnosti těchto úprav a jejich konkrétní aplikace.

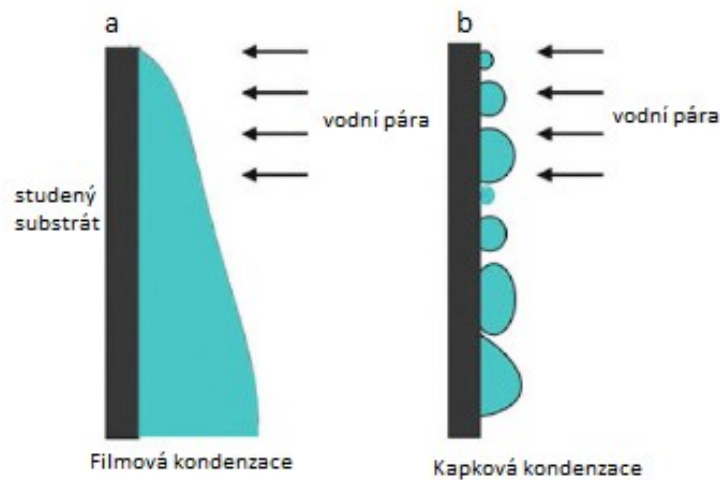
1. ZAMLŽOVÁNÍ

Zamlžování je častý problém, který je možné pozorovat u výrobků z polymerních materiálů. K tomuto jevu dochází z důvodu kondenzace vodních par na povrchu polymerního materiálu důsledkem snížení teploty uzavřené vzduchové hmoty obsahující vodní páru pod rosný bod. Vzduch za určité teploty může obsahovat jen určité množství vodních par. Čím je teplota vzduchu (a tím i vodní páry) vyšší, tím více páry může v jednotce objemu být, aniž začne pára kondenzovat. Pokud se vzduchová hmota začne ochlazovat pod rosný bod, vodní páry začnou kondenzovat. Tento efekt je přímo úměrný množství obsažených vodních par v uzavřené vzduchové hmotě. Tento problém se často vyskytuje u balení výrobků obsahující velké procento vlhkosti jako je čerstvá zelenina nebo maso a u fóliovníků pro pěstování rostlin [2,3].

1.1 KONDENZACE

Kondenzační proces může být buď homogenní, nebo heterogenní. Homogenní kondenzace neboli kondenzace uvnitř samotného objemu páry nastává, pokud dojde ke snížení tlaku nebo snížení teploty páry. Vytvoří se nukleační zárodky kondenzátu v objemu páry. Pro vytvoření těchto zárodků na povrchu materiálu je nutné podchlazení.

Dojde-li ke kondenzaci na povrchu substrátu, nazývá se tato kondenzace heterogenní. Heterogenní kondenzaci dělíme na filmovou a kapkovou. Typ kondenzace záleží na rozdílu povrchových napětí vody a povrchové energii substrátu. Pokud je volná povrchová energie polymerního materiálu podobná povrchovému napětí vody, dochází ke smočení substrátu a ke vzniku filmové kondenzace, pokud je rozdíl povrchového napětí a energie vysoký, nedojde ke smočení substrátu a dochází ke vzniku kondenzace kapkové (Obr. 2). [7]



Obr. 2 a) *Filmová kondenzace* b) *Kapková kondenzace na svislém studeném substrátu.* [7]

1.2 USPOŘADÁNÍ KAPKY VODY NA POVRCHU PEVNÉ LÁTKY

V případě kontaktu kapky kapaliny s pevným povrchem dojde ke styku tří fází, přičemž kapka zaujme jistý tvar. Smáčení povrchu je dáno velikostí parciálních mezifázových energií. Tuto závislost popisuje Youngova rovnice [7]

$$\gamma_{lg} \cdot \cos \theta = \gamma_{sg} - \gamma_{sl} \quad (1),$$

kde:

γ_{lg} je povrchové napětí kapaliny

γ_{sg} je povrchová energie substrátu

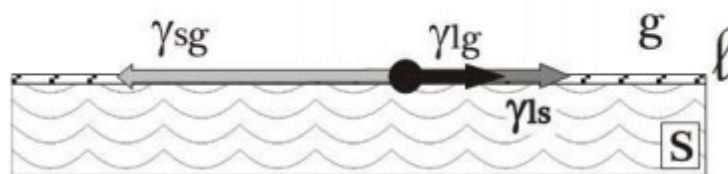
γ_{sl} je mezifázová energie rozhraní kapalina/pevná látka

θ je úhel, který svírá kapka s povrchem (kontaktní úhel smáčení)

V závislosti na velikosti parciálních mezifázových energií mohou teoreticky nastat čtyři různé případy (Obr. 3 – 6). [8]

a) Dokonalé smočení povrchu – dokonale hydrofilní materiál

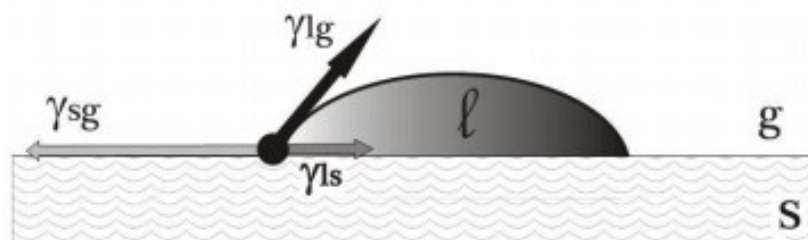
Tento případ nastane, když je velikost povrchové energie polymerního materiálu rovna součtu mezifázové energie pevná látka/kapalina a povrchového napětí kapaliny. V tomto případě dojde k rozprostření kapky kapaliny po povrchu polymeru a vzniku mezifází pevná látka/kapalina a mezifází kapalina/plyn, což vede ke snížení celkové energie. Hodnota kontaktního úhlu θ bude rovna 0° (Obr. 3).



Obr. 3 Dokonalé smáčení povrchu. [9]

b) Částečné smáčení povrchu – částečně hydrofilní materiál

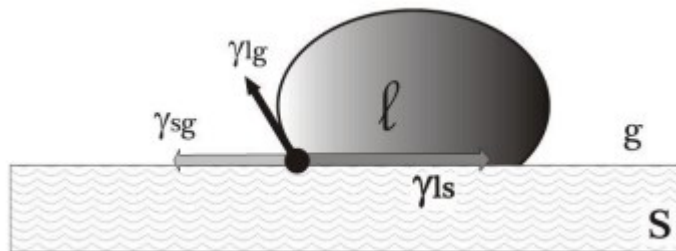
Tento případ nastane, když je výslednice povrchové energie větší než součet mezifázové energie pevná látka/kapalina a energie povrchového napětí. Velikost kontaktního úhlu θ bude větší než 0° a menší než 90° (Obr. 4).



Obr. 4 Částečné smáčení povrchu. [9]

c) Částečné nesmáčení povrchu – částečně hydrofobní materiál

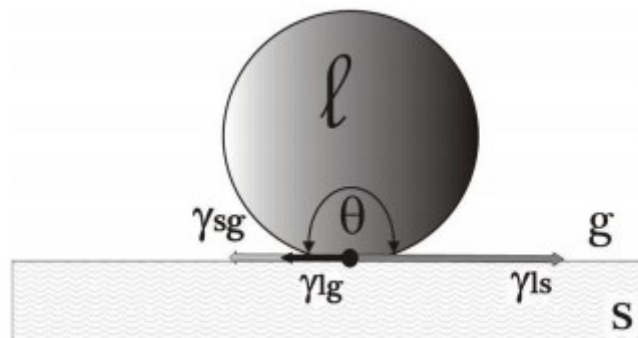
V případech, kdy je povrchová energie pevné látky menší než součet zbylých dvou energií, dojde k tomu, že se kapka se snaží zaujmout s povrchem pevné látky co nejmenší plochu. Dochází k částečnému nesmáčení povrchu. Kontaktní úhel θ se bude pohybovat v intervalu 90° až 180° (Obr. 5).



Obr. 5 Částečné nesmáčení povrchu. [9]

d) Dokonalé nesmáčení povrchu – dokonale hydrofobní materiál

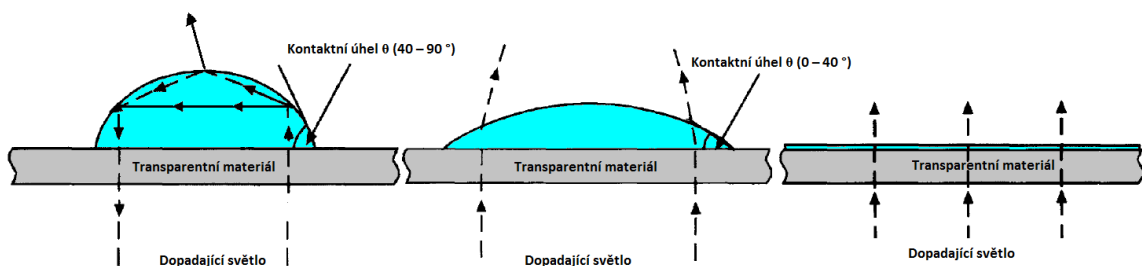
K dokonalému nesmáčení povrchu dochází tehdy, když je povrchová energie rovna rozdílu mezifázové energie a povrchového napětí kapaliny. V tomto případě je kontaktní úhel roven 180° (Obr. 6).



Obr. 6 Dokonalé nesmáčení povrchu. [9]

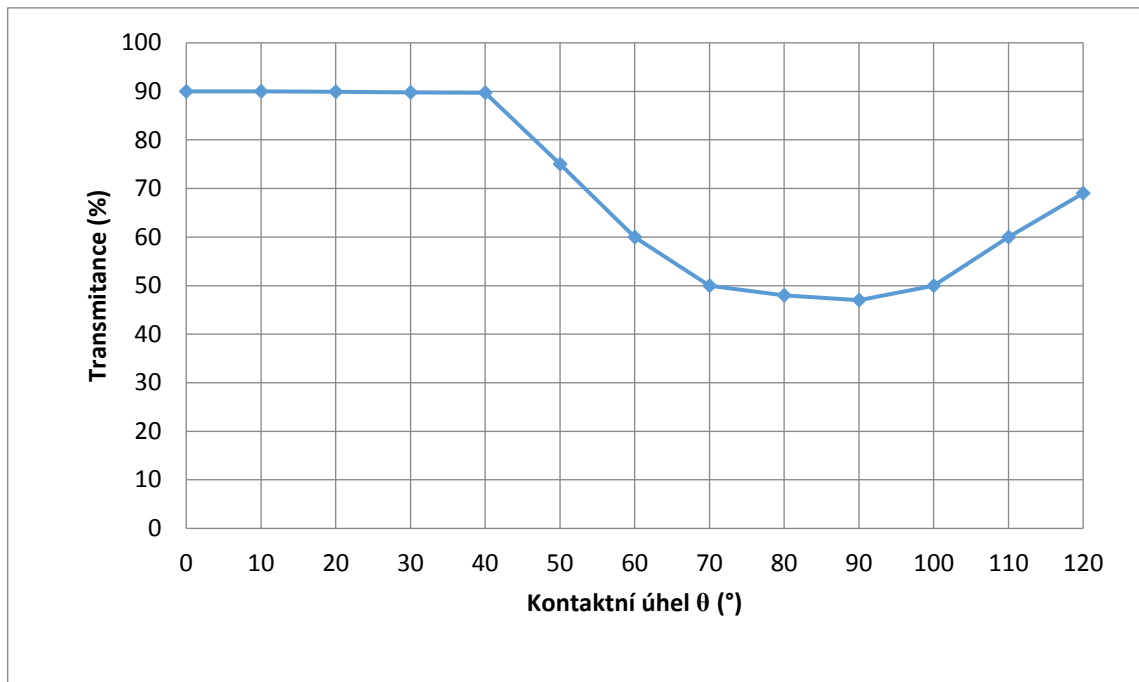
1.3 VLIV TVARU KAPKY VODY NA OPTICKÉ VLASTNOSTI POLYMERU

Kapky vody na povrchu transparentního polymerního materiálu rozptylují světlo v důsledku částečného odrazu dopadajícího světelného paprsku na rozhraní vzduch – kapalina. Ztráta propustnosti je primárně ovlivněna kontaktním úhlem kapky a sekundárně ovlivněna velikostí kapky. U kapiček s nízkým kontaktním úhlem je pozorována takřka nezměněná propustnost pro světlo až 90 %. Nicméně, jak se zvětšuje kontaktní úhel, roste pravděpodobnost vnitřního odrazu paprsku a tím klesá propustnost pro světlo (Obr. 7).



Obr. 7 Vliv kontaktního úhlu na propustnost světla procházejícího transparentním materiálem. [10]

Vliv velikosti kontaktního úhlu smáčení θ na propustnost světla byl podrobně popsán v práci B. J. Briscoa [11], který uvádí matematický výpočet podpořený experimentálními měřeními. Uvádí, že nejvyšší ztráty propustnosti světla je dosaženo, pokud kontaktní úhel smáčení dosahuje rozmezí 40 až 90°. Pokud je úhel smáčení vyšší než 90°, dochází k pomalému zvyšování propustnosti světla, jelikož se zmenšuje plocha kontaktu materiálu s kapkou vody (Obr. 8). Pro správnou funkci protizamlžujících aditiv a úprav je tedy nutné úhel smáčení snížit pod hranici 40°.



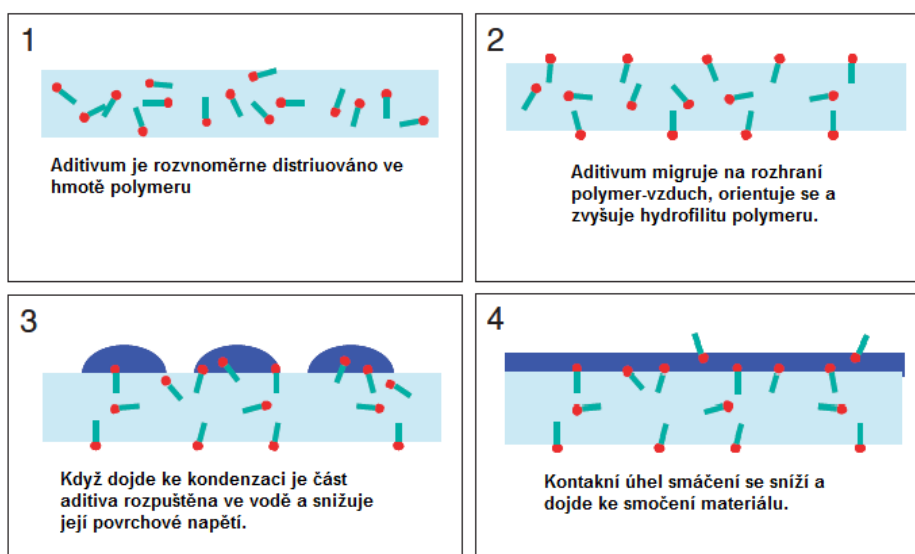
Obr. 8 Závislost transmittance na kontaktním úhlu θ . [11]

2. ÚPRAVA POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ PROTI ZAMLŽOVÁNÍ

2.1 POUŽITÍ POVRCHOVĚ AKTIVNÍCH LÁTEK

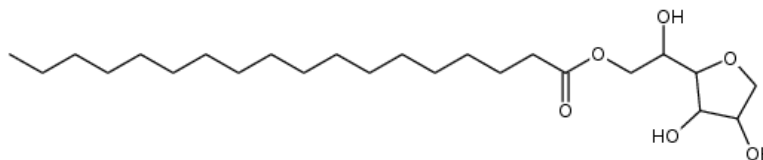
Tato úprava je založena na použití nízkomolekulárních povrchově aktivních látek přímo ve hmotě používaného polymerního materiálu. Jedná se o velmi levnou a efektivní úpravu proti zamlžování. Nejčastěji se používají neiontové povrchově aktivní látky, jako jsou: estery glycerolu, estery polyglycerolu, estery polyetylen glykolu, estery sorbitanu a ethoxyláty alkoholů. Tyto látky jsou obecně tvořeny hydrofilní částí (hlava), která většinou obsahuje polární hydroxylové skupiny (OH), a nepolárním hydrofobním uhlovodíkovým řetězcem (ocas). Tyto povrchově aktivní látky jsou částečně nesnášenlivé s použitým polymerem, a dochází tedy k jejich migraci na povrch materiálu. Na povrchu materiálu se orientují tak, že hydrofobní konec směřuje do materiálu a hydrofilní konec ven z materiálu. Tato aditiva tedy zvyšují povrchovou energii materiálu a zároveň snižují povrchové napětí vody. V důsledku toho dochází ke vzniku filmové kondenzace a povrch je smočen rovnoměrnou vrstvou vody. Chování látek v polymerním materiálu znázorňuje (Obr. 9).

[12]

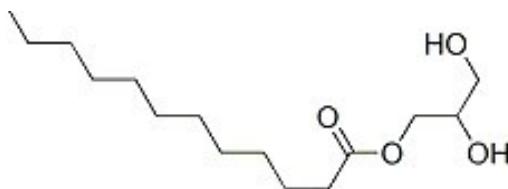


Obr. 9 Popis funkce protizamlžujících aditiv. [12]

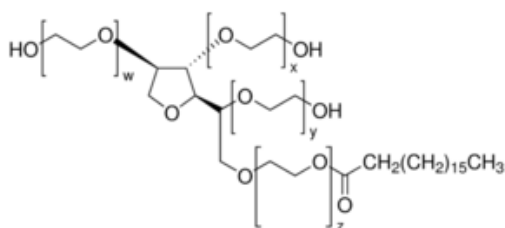
Mezi nejčastěji používaná interní aditiva proti zamlžování v komerčních polymerech patří estery glycerolu, polyglycerolu a sorbitanu s mastnými kyselinami, nejčastěji s kyselinou olejovou, stearovou a laurovou (Obr. 10 – 12).



Obr. 10 *Strukturní vzorec sorbitan monostearát (SMO)*



Obr. 11 *Strukturní vzorec glycerol monolaurát (GML)*



Obr. 12 *Strukturní vzorec polyoxyetylen-sorbitan-monostearát*

Výběr vhodného aditiva pro konkrétní polymer je velmi složitý proces. Závisí jak na druhu použitého polymeru, tak na jeho krystalinitě, polaritě a povrchové energii. Důležitá je také tloušťka konečného výrobku, a to z důvodu koncentrace aditiva na požadovanou plochu, které bude k dispozici ve hmotě polymeru. U tenkovrstvých fólií a filmů je tedy nutné použití vyšší koncentrace protizamlžujících aditiv než u výrobků silnostěnných. [13]

V případě, že se vyráběná fólie skládá z více vrstev různých polymerních materiálů z důvodů bariérové ochrany, propustnosti pro plyny apod., je tento problém řešen tak, že se protizamlžující aditivum dávkuje i do materiálů, které nejsou v přímém

kontaktu s vlhkostí. Tato aditiva pak migrují z jednoho polymeru do druhého a prodlužují účinnost ochrany proti zamlžení.

Dalším důležitým faktorem, který výrazně ovlivňuje použití konkrétního typu aditiva, je teplota použití konečného výrobku. Jak uvádí ve své práci L. Irusta [14], při použití polymeru v prostředí s vyšší teplotou dochází v důsledku vyšší mobility makromolekulárních řetězců ke zrychlení migrace protizamlžujících látek na povrch, a tedy k rychlejšímu snižování její koncentrace v důsledku rozpouštění ve vodě.

Dalším faktorem ovlivňujícím typ vybraného aditiva je tepelná stabilita použitých aditiv při zpracování daného polymeru. Pro použití v polyolefinech existuje velmi široká variabilita aditiv. To je dáno hydrofobním charakterem těchto polymerních materiálů i relativně nízkou teplotou při zpracování. U polymerů jako je polyetylen-tetraftalát (PET) je výběr vhodného aditiva obtížnější. Teplota zpracování PET se běžně pohybuje v rozmezí 280 – 285 °C a při této teplotě již dochází k výrazné degradaci běžně používaných protizamlžujících aditiv [15]. Z tohoto důvodu dochází k zabarvení polymeru a ke zhoršení jeho optických vlastností. Dalším problémem je vyšší polarita PET oproti olefinickým polymerům, která brání snadné migraci aditiv k povrchu polymeru. Aditiva proti zamlžení nelze používat univerzálně, ale je nutné nalézt vhodné aditivum pro konkrétní polymer a způsob použití.

Povrchově aktivní látky jsou buď přidávány přímo do taveniny polymeru při zpracování, nebo jsou dodávány ve formě masterbatchů, do nichž jsou již od výrobce aditiva zapracována přímo do hmoty polymeru ve vysoké koncentraci. Při zpracování se pak masterbatch míchá v určitém poměru s granulátem použitého polymeru v mísičích. Výhodou použití masterbatchů je snadnější homogenizace povrchově aktivní látky v daném polymeru, nedochází tedy ke vzniku defektů či oblastí s rozdílnou koncentrací povrchově aktivních látek. Masterbatche jsou připravovány z nejčastěji používaných polymerů jako je LDPE, polypropylen (PP), PET.

Značnou nevýhodou použití těchto látek je fakt, že voda, která kondenzuje na povrchu materiálu, sebou odnáší i aditiva proti zamlžování a účinnost úpravy v čase klesá. Jedná se tedy o dočasné řešení problému, ale z důvodu nízké ceny a jednoduchosti použití je tento způsob úpravy nejčastěji používaný. Nejběžnější oblastí použití tohoto typu úpravy je potravinářský a zemědělský průmysl.

Problém s postupným snižováním koncentrace aditiva lze částečně řešit použitím povrchově aktivních látek s delším hydrofilním řetězcem, jako jsou estery polyetylglykolu, nebo zvýšením jejich molární hmotnosti síťováním či částečnou imobilizací povrchově aktivních látek pomocí nanočástic. [16,17]

Komerčně dostupná aditiva proti zamlžování jsou uvedena v tabulce (Tab. 2).

Tab. 2 Komerčně dostupná aditiva proti zamlžování. [18]

Aktivní látka	Komerční název	Výrobce
Směs esterů glycerolu	Armofog®	AkzoNobel
Estery glycerolu a sorbitolu	Atmer™	Croda Polymers
Estery glycerolu, GMO	Pationic®	Corbion
Estery polyglycerolu	Grindsted®	DuPont
Polyglycerol monostearát, GMO, SMO	Radiasurf	Oleon
Estery polyglycerolu, GMO	Einar®	Palsgard
Estery glycerolu	Chemstat®	PCC Chemax
Estery glycerolu	Kemester®	PMC
Estery sorbitolu, ethoxylované estery sorbitolu	Sabofog	Sabo

2.2 MODIFIKACE POLYMERNÍHO ŘETĚZCE

Dalším způsobem dosažení odolnosti proti zamlžování je modifikace řetězce běžných polymerů. To se provádí buď kopolymerací s vhodným monomerem, nebo povrchovou aktivací řetězců pomocí plazmy nebo jiného vysokoenergetického záření s následným navázáním reaktivních povrchově aktivních látek na vzniklé funkční skupiny polymeru.

2.2.1 Kopolymerace s vhodným monomerem

Pro zlepšení vlastností komerčních polymerů lze využít kopolymeraci s vhodným monomerem. S. Sanchez-Valdes [19] ve své práci popisuje protizamlžující vlastnosti směsi kopolymeru etylenu s anhydridem kyseliny maleinové s lineárním nízk-

hustotním polyetylenem (LLDPE). Se vzrůstajícím podílem anhydridu kyseliny maleinové klesá úhel smáčení vodou a zlepšuje se protizamlžující účinek.

2.2.2 Kopolymerace s reaktivními povrchově aktivními látkami

Tento způsob úpravy vlastností běžných polymerů se provádí ko-extruzní reakcí polymeru a reaktivního aditiva. Povrchově aktivní látka se chemicky upraví tak, aby obsahovala funkční skupiny nebo dvojnou vazbu. Takto upravená látka se pak míchá v extrudéru s polymerem a dojde k chemickému navázání na polymerní řetězec. Tento postup popisuje ve své práci K. Shlosman [16]. Uvádí zde přípravu reaktivní povrchově aktivní látky reakcí sorbitan monooleátu (SMO) nebo glycerol monooleátu (GMO) s 3-(trimethoxysilyl)propyl metakrylátem (MEMO). Takto vzniklá reaktivní povrchově aktivní látka je pak smíchána s LLDPE ve vytlačovacím stroji při 220 °C po dobu 10 minut. Tím dojde ke kopolymeraci a navázání na řetězce LLDPE. Jako další možný způsob úpravy se uvádí kopolymerace zářením β aktivovaného LLDPE s glycerol monostearát-monomaleátu (MMGD). Tuto syntézu ve své práci popisuje Z. Yao [20]. Aktivovaný LLDPE s povrchovými radikály je smíchán s reaktivním MMGD a tato směs je umístěna do vytlačovacího stroje. Při teplotě zpracování dojde k vlastní kopolymeraci materiálu.

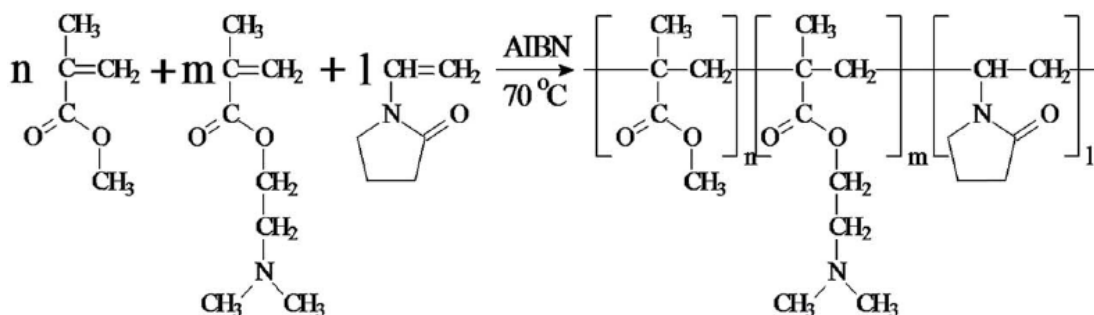
2.3 EXTERNÍ PROTIZAMLŽOVACÍ VRSTVY

U některých typů aplikací, kde se požaduje odolnost proti zamlžení, je výhodnější použití vnější vrstvy. Jedná se například o velmi tenké fólie, u kterých by docházelo k velmi rychlému vymývání aditiv proti zamlžování. Další výhodou je, že externí vrstvy lze aplikovat i na materiály jako je sklo a keramika. Příkladem této aplikace jsou čelní skla automobilů nebo úprava zrcadel a skleněných výplní chladicích boxů. Dalšími důvody použití externích vrstev je potřeba trvalé ochrany proti zamlžení a potřeba vyšší mechanické odolnosti povrchu. Mezi tyto aplikace patří například ochranné a dioptrické brýle, štíty, hledí helem nebo kryty přístrojů. Takovýto způsob ochrany proti zamlžení se využívá i pro polymery s vysokou teplotou zpracování, kdy nelze využít komerční interní aditiva z důvodu termální stability a možného výskytu defektů či žloutnutí.

Nejčastěji se k tomuto účelu používají transparentní nátěry na bázi hydrofilních polymerů rozpustných ve vodě, alkoholech nebo organických rozpouštědlech. Při tomto způsobu výroby je kombinován hydrofilní polymer se síťujícím činidlem, které mu dodává mechanickou odolnost. Protizamlžující účinek takto připravených polymerních materiálů lze dále upravovat navázáním povrchově aktivních látek jako jsou silikony, fluorované polymery apod. Tento způsob úpravy nabízí širokou škálu kombinací vstupních monomerů a způsobu jejich následného síťování na povrchu ošetřeného materiálu.

Například Y. Yuan ve své práci [21] popisuje syntézu a vlastnosti UV tvrditelného laku s protizamlžující úpravou na bázi kopolymeru 2-hydroxyetyl methakrylátu (HEMA), metylmetakrylátu (MMA), 2-etylhexylakrylátu (EHA) a 2-akrylamido-2-methylpropan sulfonové kyseliny (AMPS). Pro snížení rozpustnosti vzniklého kopolymeru ve vodě byl použit přídavek isophoron diisokyanátu (IPDI). Takto vzniklý kopolymer lze snadno aplikovat na povrch nejrůznějších materiálů pomocí navalování nebo stříkání a docílit tak protizamlžujícího účinku.

Pomocí externích vrstev lze zvýšit i odolnosti proti namrzání. Touto problematikou se ve své práci zabývá J. Zhao [22]. Popisuje syntézu terpolymeru DMAEMA-co-NVP-co-MMA (Obr. 13), který vykazuje dobré protizamlžující vlastnosti i odolnost proti namrzání.

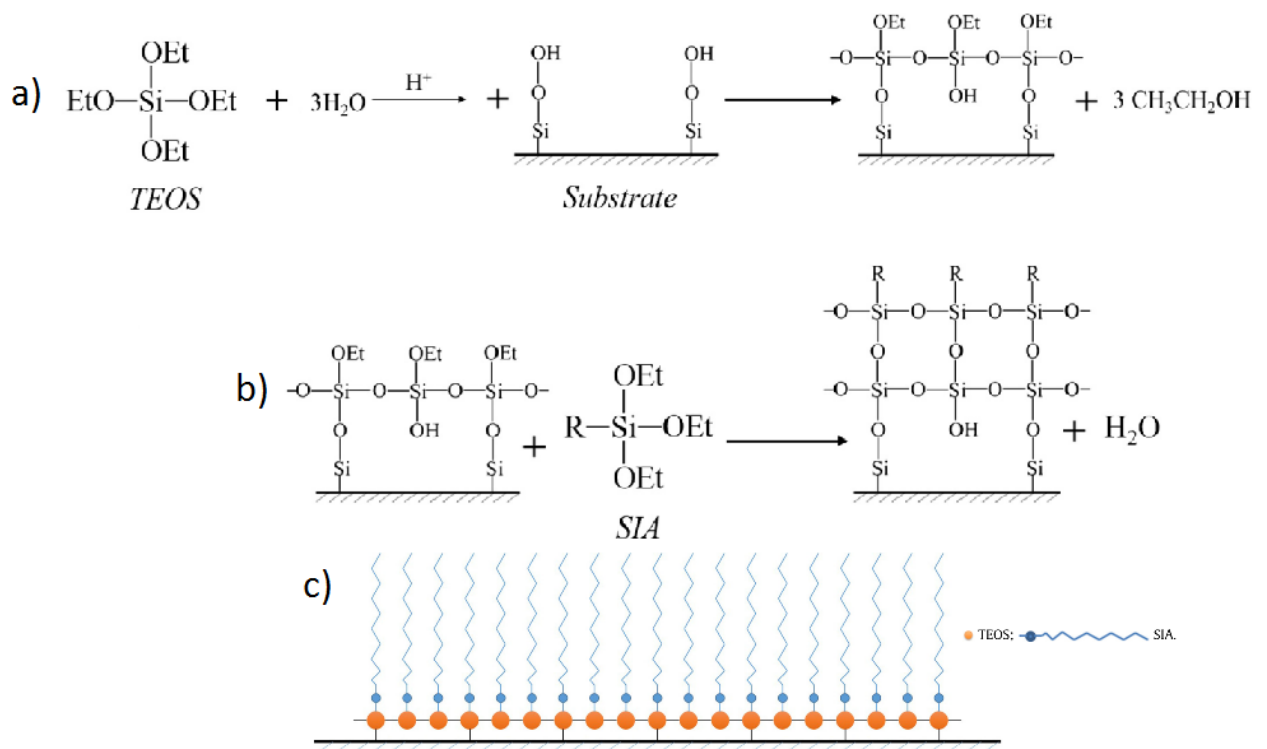


Obr. 13 Příprava terpolymeru DMAEMA-co-NVP-co-MMA. [22]

Další velmi perspektivní možností je použití kombinace hydrofilního polymeru a nanočástic. Takovou kombinací se zabývá ve své práci M. England [23]. Popisuje vlastnosti a přípravu materiálu na bázi polyvinylpyrolidonu (PVP) v kombinaci

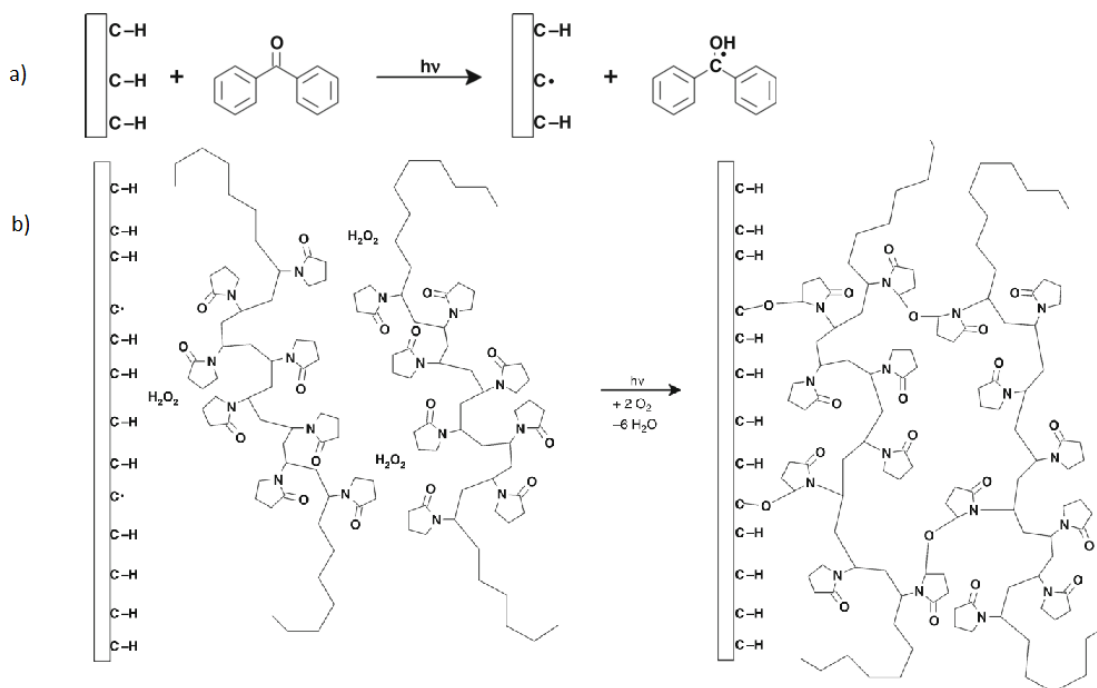
s nanočásticemi aminofukčního syntetického jílu. Tato nanokompozice má kromě protizamlžujících účinků i samoopravný efekt.

Pro úpravu anorganických substrátů jako je sklo lze s výhodou použít povrchovou modifikaci silany. Tento způsob úpravy uvádí ve své práci H. Yan [24]. Úprava se provádí ve dvou krocích. Prvním krokem je navázání tetraetoxy silanu (TEOS) na povrch skla. TEOS je aktivován pomocí vodného roztoku kyseliny octové a následně polykondenzačně reaguje s reaktivními skupinami přítomnými na povrchu skla viz (Obr. 14 a). Druhým krokem je pak polykondenzační navázání 2-[acetoxi (polyetyleneoxy) propyl] triethoxysilanu (SIA) na aktivovaný povrch, viz (Obr. 14 b). Vzniká tak povrch s hydrofilními skupinami SIA, jak je podrobně znázorněno na (Obr. 14 c). Tento způsob úpravy lze využít například pro protizamlžující úpravu skel chladicích boxů nebo pro solární články, kde kondenzovaná voda na povrchu snižuje jejich účinnost.



Obr. 14 a) Aktivace povrchu a polykondenzace TEOS. b) Navázání SIA na aktivovaný povrch. c) Orientace hydrofilních skupin na povrchu. [24]

Další skupinou externích vrstev jsou povrchy upravené pomocí hydrofilních polymerů. Principem této úpravy je, že na povrch plastu se naváže vrstva hydrofilního polymeru, a účinnost je zajištěna pomocí absorpce kapky vody do této vrstvy. Základním předpokladem pro trvalý účinek ochrany je částečné síťování hydrofilní vrstvy, aby nedocházelo k postupnému vymývání polymeru. U tohoto způsobu úpravy povrchu je velmi důležitá tloušťka vrstvy, protože určuje množství vody, které je vrstva schopna absorbovat. Tento způsob prezentuje ve své práci S. Grube [25]. Uvádí úpravu povrchu polystyrenu nanesením roztoku polyvinylpyrolidonu PVP s obsahem UV-iniciátoru benzofenonu a peroxidu vodíku H_2O_2 . Peroxid vodíku slouží jako síťovací činidlo a benzofenon jako zdroj radikálu vytvářející aktivní centra na povrchu PS (Obr. 15 a). Po nanesení se vrstva osvítlí UV-lampou a dojde k iniciaci vzniku radikálu benzofenonu a k navázání PVP na povrch polystyrenu. Mechanismus navázání na povrch polystyrenu je prezentován na (Obr. 15 b). Tento způsob úpravy zajišťuje jak ochranu proti zamlžení, tak i proti namrzání.



Obr. 15 a) Aktivace povrchu PS benzofenonem. b) Navázání PVP na povrch PS a následné síťování PVP. [25]

2.4 FYZIKÁLNÍ ÚPRAVA POVRCHU

Mezi další možné úpravy povrchu polymerních materiálů za účelem zvýšení povrchové energie substrátu patří úprava povrchu plazmou, korónovým výbojem, plamenem, RTG zářením, ozonem apod. Všechny tyto úpravy jsou založeny na energetickém působení na povrch polymerního materiálu za účelem jeho chemické modifikace a zavedení hydrofilních skupin. Jedná se o cenově výhodnou alternativu k ostatním metodám. Značnou výhodou této úpravy je fakt, že je upravena pouze povrchová vrstva polymeru v tloušťce desítek nanometrů a zbytek polymerního materiálu si zachovává své původní vlastnosti. Úpravy povrchových vlastností lze touto metodou provést i na hotových výrobcích.

2.4.1 Úprava povrchu plazmatem

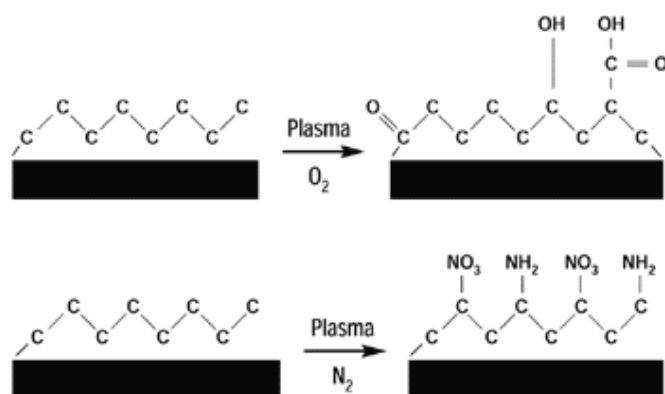
Plazma je ionizovaný plyn, který vzniká buď roztržením molekul (ionizací), anebo odtržením elektronů z elektronového obalu atomů plynu. Podle množství nabitých a nenabitých částic (tj. neutrální molekuly a atomy) se rozlišuje plazma slabě a silně ionizované. Právě nabitě částice neboli volné nosiče náboje jsou tím nejdůležitějším, co odlišuje plazma od plynného skupenství. Díky volným nosičům náboje je plazma vodivé a silně reaguje na elektrická a magnetická pole. Pro existenci plazmatu platí základní nezbytná podmínka: přítomnost velkého množství volně se pohybujících částic. Plazma je možné vytvořit z plynného prostředí již zmíněným zahříváním, dále elektrickým polem nebo použitím elektromagnetických vln. [26]

Úprava povrchu plazmatem je v dnešní době již běžně používanou metodou modifikace povrchu polymerních materiálů. Používá se zejména pro zvýšení adheze v případě lepení různých polymerních materiálů a pro zavedení reaktivních skupin na povrch materiálu za účelem modifikace povrchových vlastností nebo kopolymerace s jiným monomerem. Charakter povrchových funkčních skupin závisí na druhu plynu použitého pro vývoj plazmatu. Nejčastěji se používá dusík a kyslík, popřípadě CF_4 pro zavedení fluorových skupin na povrch polymeru. [27]

Principem této metody je interakce polymerního materiálu s plazmatem, kdy dochází ke štěpení původních vazeb polymeru a vznikají nové funkční skupiny.

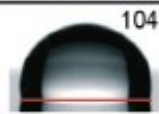

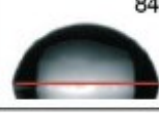



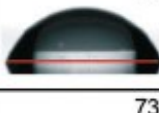

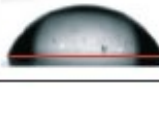

V případě použití plazmatu s obsahem kyslíku se na povrchu polymeru tvoří skupiny: C-O, C=O, O-C=O, CO-O, COOH atd. (Obr. 16). Modifikace pomocí

kyslíkového plazmatu vede k oxidaci vrchní vrstvy. Oxidace se zvětšuje spolu s prodlužováním doby působení plazmatu, a také závisí na síle výboje. Proces se skládá ze dvou fází. První fáze trvá 10 až 20 sekund a vyznačuje se rychlým růstem obsahu kyslíku ve vrchní vrstvě. Druhá fáze se vyznačuje pomalejším nárůstem obsahu kyslíku a zabírá hlubší prostory vrchní vrstvy. Množství a typ skupin na povrchu materiálu lze tedy řídit druhem plynu, časem, po který je polymer vystaven působení plazmatu a jeho energií. [28]



Obr. 16 Úprava povrchu polymeru O₂, N₂ plazmatem. [29]

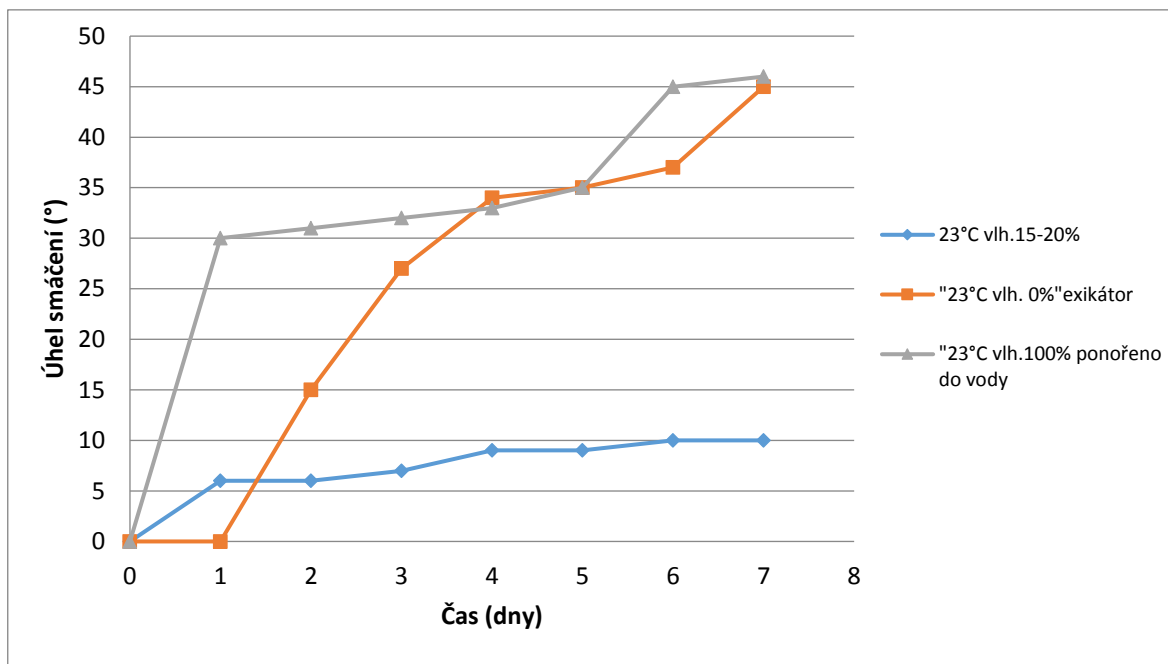
Tímto způsobem lze upravovat povrchové vlastnosti většiny komerčně používaných polymerů. Změna vlastností se nejčastěji měří pomocí kontaktního úhlu přisedlé kapky vody na povrchu materiálu. Změnu vlastností povrchu u některých polymerů ukazuje (Obr. 17).

Polymer	Bez úpravy	Po úpravě plazmou
PDMS	 104.7°	 <10°
PC	 84.4°	 40.4°
PET	 74.7°	 39.1°
PVC	 76.3°	 49.9°
PI	 73.0°	 <10°

Obr. 17 Změna kontaktního úhlu polymerních materiálů po úpravě povrchu atmosférickým plazmatem. [30]

2.4.2 Stárnutí povrchu upraveného plazmatem vlivem prostředí

Nevýhodou této aplikace je, že její funkčnost v důsledku interakcí s prostředím postupně klesá. Jak uvádí ve své práci M. Nie [31], mezi hlavní faktory ovlivňující životnost povrchové úpravy plazmatem patří vlhkost okolního vzduchu a teplota polymerního materiálu po úpravě, viz (Obr. 18). Této problematice se ve své práci věnuje také C. Chan [27], který popisuje, že polární skupiny vytvořené na povrchu plazmatem mění svou orientaci v důsledku vlhkosti prostředí. Ve vakuu nebo suchém vzduchu se nepolární skupiny polymeru orientují na rozhraní, čímž minimalizují mezifázovou volnou energii. Jestliže bylo stárnutí provedeno v prostředí s vysokou vlhkostí nebo ve vodné fázi, povrch ošetřený plazmatem, který má vysokou koncentraci polárních skupin, udržuje své polární skupiny na povrchu beze změny orientace, čímž minimalizuje mezifázovou volnou energii.



Obr. 18 Vliv prostředí na životnost plazmové úpravy povrchu. [27]

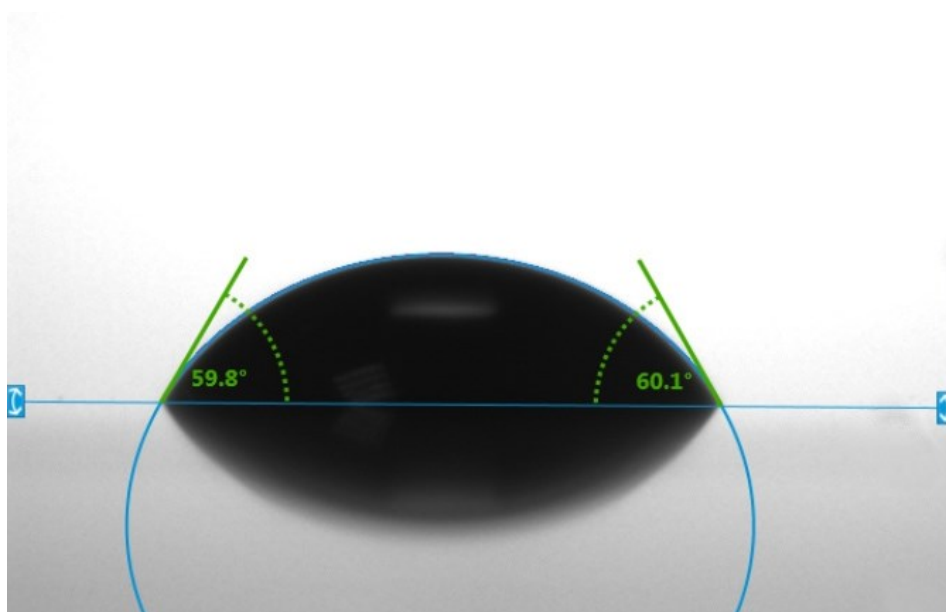
I přes mnohé studie není ještě mechanismus těchto změn zcela popsán a je předmětem mnoha vědeckých prací. Například J. Abenojar [32] se ve své práci zabývá plazmovou úpravou polykarbonátu (PC) a polyakrylonitril-butadien-styrenu (ABS). Uvádí, že stárnutí plazmatem upraveného povrchu je způsobeno migrací složek s malou molekulovou hmotností na povrch polymeru a jejich rekombinací s hydrofilními skupinami. Dále zde uvádí, že úhel smáčení plazmatem upravené vrstvy PC se v čase mění výrazněji než u ABS. U PC se úhel smáčení během 30 dní změní z původních 35° až na 60° , u vzorku ABS se úhel smáčení po stejné době změní z původních 38° na konečných 51° . Tento rozdíl je zde vysvětlen vyšší stabilitou skupin dusíku obsažených v upravené povrchové vrstvě ABS. Stejně vysvětlení stárnutí plazmatem upravené vrstvy PET ve své práci uvádí také S. Yang [33].

3. ZPŮSOBY MĚŘENÍ ÚČINNOSTI PROTIZAMLŽOVACÍCH ÚPRAV

Existuje mnoho způsobů stanovení účinnosti protizamlžujících úprav, které se liší dle způsobu použití konečného výrobku. Mezi nejjednodušší metody patří vizuální kontrola vzorku před a po testu. Tato metoda je rychlá a jednoduchá, avšak značně subjektivní. Proto byly vyvinuty metody, které lze kvantifikovat a normovat.

3.1 MĚŘENÍ KONTAKTNÍHO ÚHLU PŘISEDLÉ KAPKY

Měření kontaktního úhlu smáčení je jedna z nejpoužívanějších metod pro charakterizaci povrchů polymerních materiálů. Tato metoda je založena na sledování úhlu, který svírá kapka přisedlá na povrch pevné látky. Prakticky se provádí tak, že kapka o objemu 4 μl je přenesena na povrch polymerního materiálu a pomocí vysokorychlostní kamery se sleduje tvar kapky. Pomocí softwaru pro obrazovou analýzu se pak vyhodnotí úhel smáčení, viz (Obr. 19). Měření se nejběžněji provádí optickým tensiometrem (Obr. 20). Tento přístroj lze použít i pro stanovení povrchového napětí kapalin a volné povrchové energie substrátu. [35]



Obr. 19 Ukázka praktického měření kontaktního úhlu. [36]

U testování účinnosti protizamlžující úpravy polymerních materiálů je testovací kapalinou destilovaná voda. U zjišťování volné povrchové energie substrátu je nutné použití více kapalin o různém povrchovém napětí. Výpočet úhlu smáčení se provádí dle Youngovy rovnice (1).

Tato metoda je velmi rychlá a dává přesné opakovatelné výsledky. Nevýhodou této metody je možné ovlivnění úhlu smáčení statickým nábojem polymerního materiálu nebo jeho texturou. Tato problematika se rozebírá v normě ASTM 5946 [37]. Další nevýhodou tohoto způsobu měření je to, že kvantifikuje pouze tu část vzorku, která je v přímém kontaktu s přisedlou kapkou. Měření se tedy běžně provádí na několika místech, ale ani tak nám nedává žádné informace o materiálu jako celku, tedy například o výskytu defektů v povrchové vrstvě, či koncentračních rozdílech při použití interních aditiv proti zamlžování. Z tohoto důvodu se velmi často kombinuje s jinými metodami pro hodnocení účinnosti provedených úprav (viz kapitola 3.2, 3.3).



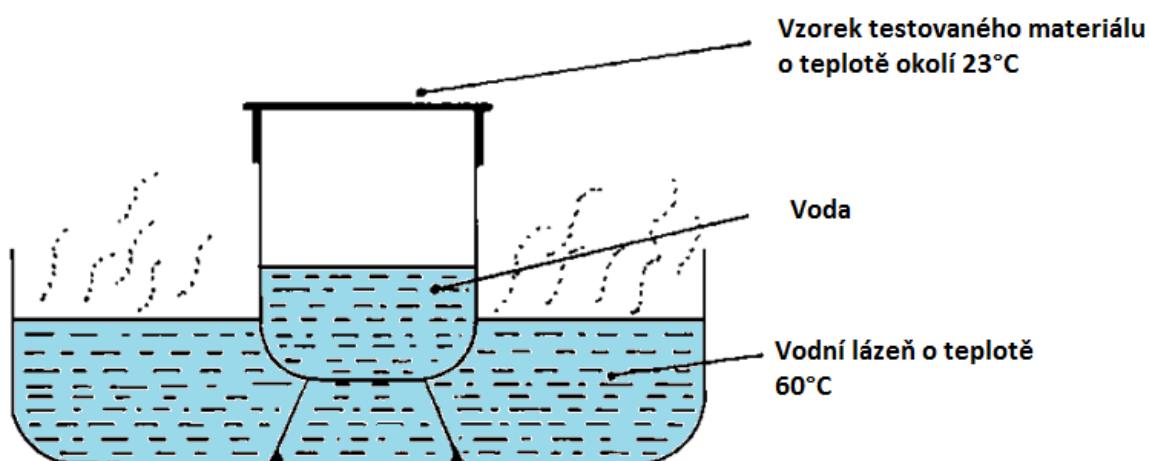
Obr. 20 Optický tensiometr Theta-Lite. [38]

3.2 HOT A COLD FOG TEST

Hot a Cold Fog Test je nejpoužívanější metodikou stanovení účinnosti ochrany proti zamlžení. Tyto metody se nejčastěji používají pro hodnocení materiálů určených pro výrobu obalů potravin a pro konstrukci fóliovníků. [39,40]

3.2.1 Hot Fog Test

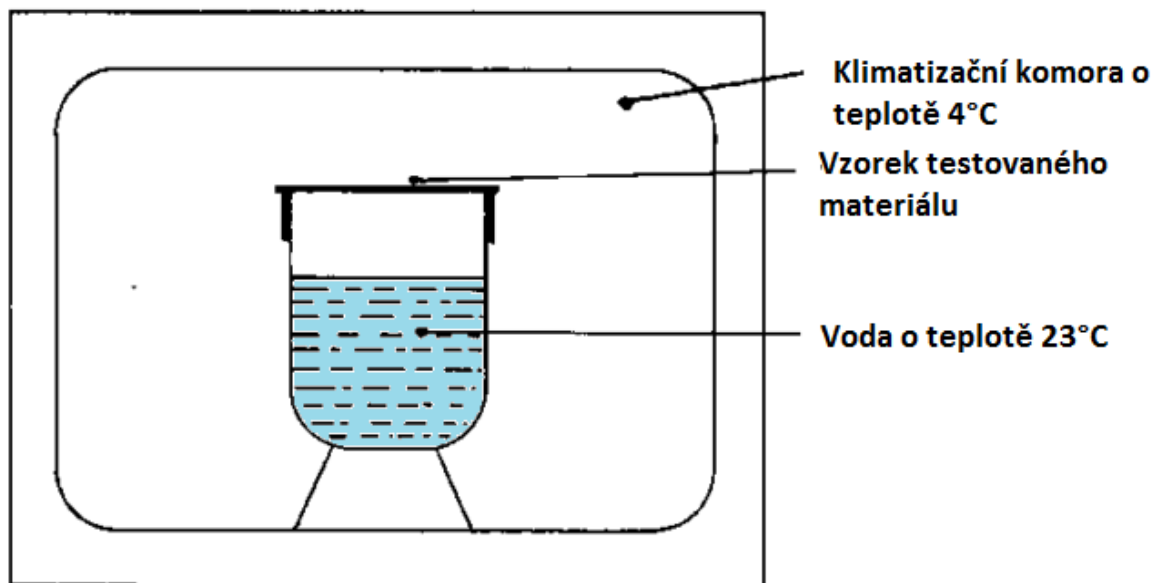
Tento test simuluje situaci, kdy je horká potravina vložena do obalu a uzavřena (Obr. 21). Vlhkost, která se uvolňuje z potraviny nebo výrobku, kondenzuje na chladném polymerním materiálu. Jedná se o test, kdy je vzorek umístěn na horní část skleněné nádoby naplněné vodou. Takto připravená testovací aparatura je pak vložena do vodní lázně o teplotě 60 °C. Sleduje se vzhled vzorku v čase. Výsledný účinek protizamlžující úpravy se vyhodnotí dle tabulky (Tab. 3).



Obr. 21 Aparatura pro provedení Hot Fog Testu. [39]

3.2.2 Cold Fog Test

Tento test simuluje situaci, kdy je potravina nebo výrobek obsahující vlhkost umístěn do obalu při teplotě okolí a následně umístěn do chladicího boxu (Obr. 22). S klesající teplotou se mění rosný bod a vlhkost uzavřená v obalu kondenzuje na polymerním materiálu. Jedná se o test, kdy je vzorek umístěn na horní část skleněné nádoby naplněné vodou o teplotě 23 °C. Takto připravená testovací aparatura je pak vložena do klimatizační komory vytemperované na teplotu 4 °C. Sleduje se vzhled vzorku v čase. Výsledný účinek protizamlžující úpravy se vyhodnotí dle tabulky (Tab. 3).



Obr. 22 Aparatura pro provedení Cold Fog Testu. [39]

Tab. 3 Hodnocení účinnosti proti zamlžující úpravy. [39]

Hodnocení účinnosti	Popis	Komentář
A Zcela neúčinná	Opalescentní vzhled tvořen velkým množstvím malých kapiček	Nulová viditelnost, špatná transmittance
B Velmi špatná	Opalescentní nebo transparentní vzhled tvořen velkými kapkami	Nulová viditelnost, špatná transmittance
C Špatná	Transparentní povrch tvořen velkými kapkami	Špatná viditelnost, efekt čočky
D Dobrá	Malé množství velkých kapiček	Nehomogenní vodní film, dobrá transmittance
E Vynikající	Transparentní film bez výskytu kapiček	Kompletně transparentní

Účinnost použité úpravy proti zamlžení lze tedy hodnotit buď subjektivně dle tabulky (Tab. 3), nebo je možné využít jednu z metod pro instrumentální měření, a to stanovení reflektance nebo transmittance vzorku.

3.3 OPTICKÉ METODY MĚŘENÍ

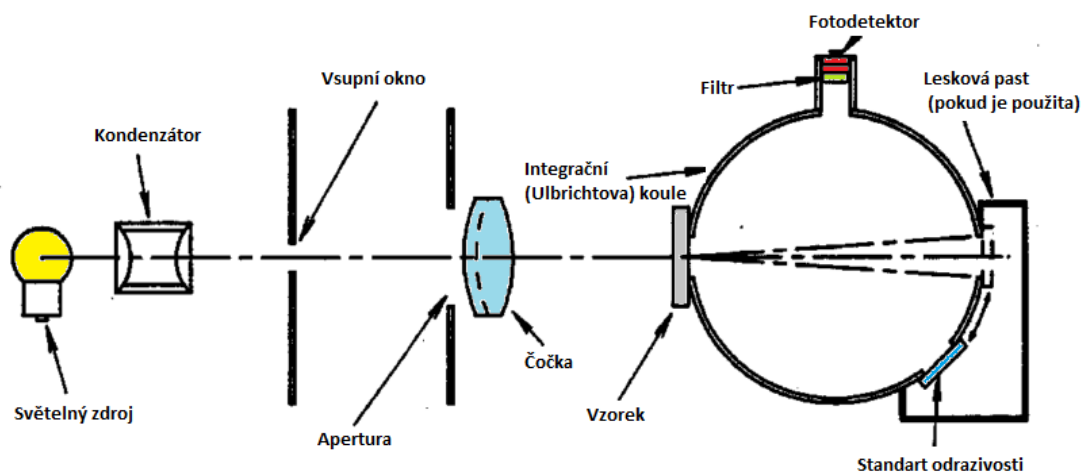
3.3.1 Metoda reflektance

Metoda reflektance je založena na změně odrazivosti povrchu v důsledku výskytu kapiček vody. Před testováním se provede měření reflektance při úhlu 60° R1. Vzorek je pak podroben buď Cold Fog Testu nebo Hot Fog Testu. Po ukončení testování se změří reflektance vzorku při úhlu 60° R2. Měření je prováděno pomocí leskoměru. Hodnoty změřené pomocí leskoměru jsou uváděny v jednotkách lesku GU (Gloss Units). Zcela lesklý povrch dosahuje 100 GU a zcela matný povrch 0 GU. Z naměřených dat se vypočítá tzv. Fogging Value Fv (%) [41].

$$F_v = \frac{R_2}{R_1} \cdot 100 \% \quad (2)$$

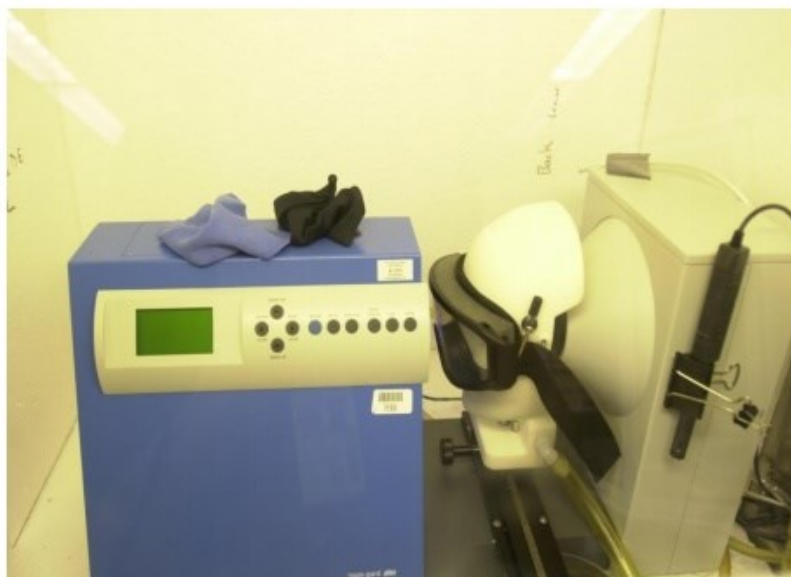
3.3.2 Metoda transmittance

Metoda je založena na rozdílné transmittanci vzorku před testováním a po testování. Měří se pomocí spektrofotometru nebo hazemetru, měřenou veličinou je změna transmittance světla neboli zákal (Haze) a je uváděn v procentech. Měření je normované dle normy ASTM D1003 [42]. Norma uvádí postup měření zákalu u transparentních polymerních materiálů a specifikuje měřicí zařízení. Schéma hazemetru dle ASTM D1003 je uveden na (Obr. 23).



Obr. 23 Hazemetr dle ASTM D1003. [42]

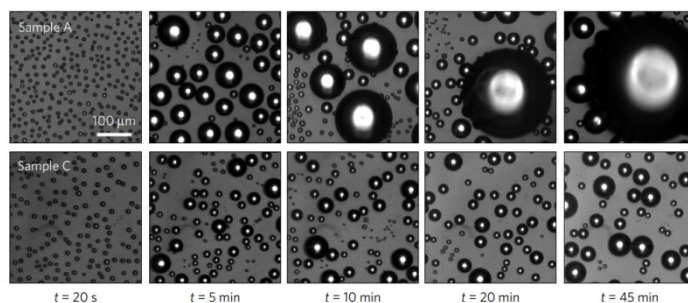
Tato metoda se používá pro hodnocení protizamlžující úpravy u ochranných pomůcek, sportovních a ochranných brýlí, světlometů, hledí helmy apod. (Obr. 24).



Obr. 24 *Fog Tester Apparatus: APBI 2011* Zařízení pro testování účinnosti protizamlžujících úprav brýlí dle ASTM F 659-06. [43]

3.3.3 Metoda mikroskopická

Další možností, jak sledovat účinnost ochrany proti zamlžování, je sledování zamlženého povrchu pomocí optického mikroskopu. Touto metodou lze vyhodnocovat počet a velikost kapek na povrchu materiálu. Výhodou této metody je, že lze sledovat i vývoj velikosti kapky v závislosti na čase, viz (Obr. 25). Nevýhodou této metody je, že neposkytuje žádné informace o materiálu jako celku. [44]



Obr. 25 Ukázka měření pomocí optického mikroskopu. [44]

4. KONKRÉTNÍ PŘÍKLADY POUŽITÍ

4.1 OBALOVÝ PRŮMYSL

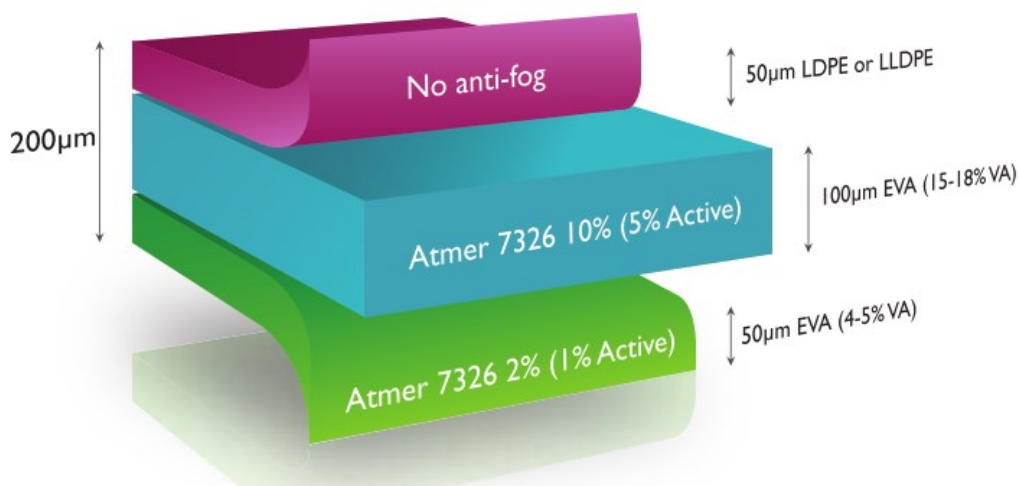
Mezi nejběžněji používané aplikace filmů s protizamlžující úpravou patří obalový průmysl, kdy se tato úprava polymerních materiálů nejčastěji používá pro balení čerstvé zeleniny, ovoce, masa a sýrů, tedy pro výrobky s vysokým obsahem vlhkosti. Tyto výrobky jsou baleny při pokojové teplotě, avšak skladovány jsou při nižších teplotách. Tím vzniká ideální prostředí pro vznik kapkové kondenzace a výskyt zamlžení. V této oblasti se nejčastěji problém řeší přidavkem interních aditiv do hmoty polymeru (Obr. 26).



Obr. 26 Ukázka účinku interních protizamlžujících aditiv pro polyetylen PE v obalovém průmyslu. [45]

4.2 ZEMĚDĚLSKÝ PRŮMYSL – FÓLIOVNÍKY

Další velkou oblastí použití polymerních materiálů s protizamlžující úpravou je zemědělský průmysl, konkrétně fólie pro konstrukci fóliovníků. U tohoto typu použití je velmi důležitá doba, po kterou si materiál udrží své protizamlžující účinky. U běžně vyráběných fólií pro konstrukci fóliovníků se kombinuje několik vrstev materiálu z důvodu zvýšení mechanické odolnosti, popřípadě pro snížení propustnosti pro UV a NIR záření.[2] Běžně se používají třívrstvé, u některých aplikací až sedmivrstvé fólie (Obr. 27).



Obr. 27 Složení třívrstvé ko-extrudované fólie s přidavkem interních aditiv proti zamlžování určené pro konstrukci fóliovníků. [45]

4.3 AUTOMOBILOVÝ PRŮMYSL

Dalším sektorem, kde se prosazuje úprava proti zamlžení, je automobilový průmysl. A to jak z důvodu problému se zamlžováním světlometů (Obr. 28), tak pro řešení problémů, které vznikají mlžením zpětných zrcátek a čelního skla. U těchto aplikací se problém řeší použitím externích vrstev, úpravou plazmatem nebo kombinací obou možností. [46]



Obr. 28 Účinek ošetření polykarbonátu PC kombinací plazmy a externí protizamlžující vrstvy u automobilových světlometů. [46]

4.4 OCHRANNÉ POMŮCKY

Mezi další oblasti využívající protizamlžující úpravy se řadí výroba ochranných pomůcek jako jsou helmy (Obr. 29), štíty, sportovní, dioptrické a ochranné brýle. Nutnost použití úprav je zde zejména kvůli zvýšení bezpečnosti. Tyto výrobky se nejčastěji vyrábí z PC nebo ze skla. U těchto výrobků dochází ke vzniku zamlžení jak účinkem lidského dechu, tak odpařováním vody pokožkou. Problém se zamlžováním se nejčastěji řeší použitím externích vrstev. [47]



Obr. 29 Protizamlžující úprava helmy. [47]

4.5 OCHRANNÁ SKLA SOLÁRNÍCH ČLÁNKŮ

Dalším důležitým odvětvím, ve kterém je nutné řešit problémy se zamlžením, je provoz solárních článků. Voda, která kondenzuje na povrchu solárních článků ve formě malých kapiček, způsobuje částečný odraz dopadající světla, a tím snižuje účinnost solárních článků. Nejčastěji se jako ochrana proti zamlžení používá externí vrstva na bázi nanočástic koloidní hydrofilní siliky, která kromě protizamlžující úpravy vykazuje také samočisticí efekt (Obr. 30). [48]



Obr. 30 Ukázka ošetření solárních článků externí vrstvou na bázi nanočástic koloidní hydrofilní siliky. [49]

ZÁVĚR

Hlavním cílem této práce bylo vysvětlit, jak a proč dochází vlivem kapkové kondenzace na povrchu polymerních materiálů ke vzniku zamlžení, proč je tento jev nežádoucí a jak lze tento problém odstranit v konkrétních případech.

V práci jsou popsány nejčastěji používané materiály a technologie úpravy polymerních materiálů proti zamlžování. Mezi komerčně nejčastěji využívané úpravy patří použití interních aditiv na bázi povrchově aktivních látek. Důvodem tak častého použití je jednoduchost této úpravy, kdy jsou nabízeny již předpřipravené masterbathe, které stačí pouze přidat v dostatečném množství do standardně používaného polymeru. Tato úprava je zvláště vhodná pro obaly potravin, kdy se požaduje trvanlivost účinku proti zamlžení pouze po dobu trvanlivosti výrobku. Tato úprava se také používá pro materiály určené ke konstrukci fóliovníků. Výrobou těchto aditiv se zabývá řada společností a jsou dostupné pro většinu komerčně používaných polymerních materiálů, přičemž jsou vhodné pro přímý styk s potravinami.

Kromě přídavku vhodných aditiv lze odolnost proti zamlžování zvýšit úpravou povrchu polymerních materiálů externími vrstvami. Tato úprava se používá zejména tam, kde se vyžaduje vyšší trvanlivost protizamlžujícího účinku či mechanická odolnost. Tato technologie úpravy povrchu dává možnost cíleně upravit vlastnosti povrchu nejen za účelem ochrany proti zamlžení. Vhodnou kombinací lze dosáhnout multifunkčních vrstev zajišťujících antimikrobiální, samočistící nebo samoopravující vlastnosti povrchu. Velmi časté je použití této technologie v kombinaci s nanočásticemi. Tento způsob úpravy povrchů patří mezi nejčastější témata vědeckých a výzkumných prací poslední doby.

Další možností úpravy proti zamlžení je použití plazmatu. Tento způsob úpravy je schopen komerčně konkurovat interním aditivům díky jednoduché implementaci do výrobních linek a možnosti styku aktivovaného povrchu s potravinami. Nevýhodou je problém s trvanlivostí upravené vrstvy v čase.

V neposlední řadě práce přináší přehled nejčastěji používaných metod a technik hodnocení účinnosti povrchových úprav proti zamlžení a příklady řešení problému se zamlžením v konkrétních případech.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] K. MARSH ,B. BUGUSSU, *Food packaging -Roles, materials, and environmental issues: Scientific status summary*, J. Food Sci. 72 (2007). doi:10.1111/j.1750-3841.2007.00301.x.
- [2] E. ESPÍ, A. SALMERÓN, A. FONTECHA, Y. GARCÍA, A.I. REAL, *Plastic Films for Agricultural Applications*, J. Plast. Film Sheeting. 22 (2006) 85–102. doi:10.1177/8756087906064220.
- [3] V. RIZZO, G. MURATORE, *Effects of Packaging on Shelf Life of Fresh Celery*, J. Food Eng. 90 (2009) 124–128. doi:10.1016/j.jfoodeng.2008.06.011.
- [4] M. POTENZA, B. NIELSEN, *Handbook of Industrial Polyethylene and Technology: Definitive Guide to Manufacturing, Properties, Processing, Applications and Markets*, 1st ed., 2017. doi:https://doi.org/10.1002/9781119159797.ch31.
- [5] N. JUVONEN, *Improved Antifog Properties for Polyethylene Sealable Lids*, Tampere University of Technology, 2016 [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/24924/Juvonen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [6] L. INTROZZI, J. M. FUENTES-ALVENTOSA, C. A. COZZOLINO, S. TRABATTONI, S. TAVAZZI, C.L. BIANCHI, A. SCHIRALDI, L. PIERGIOVANNI, S. FARRIS, “*Wetting enhancer*” *Pullulan Coating for Antifog Packaging Applications*, ACS Appl. Mater. Interfaces. 4 (2012) 3692–3700. doi:10.1021/am300784n.
- [7] S. KHANDEKAR, K. MURALIDHAR, *Dropwise Condensation on Inclined Textured Surfaces*, SpringerBriefs Appl. Sci. Technol. (2014) 1–133. doi:10.1007/978-1-4614-8447-9.
- [8] ŠIŠKOVÁ, Marie. BARTOVSKÁ Lidmila, *Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav*, 5th ed., Vysoká škola chemicko -technologická Praha, Praha, 2005[online]. [cit. 2018-05-07]. Dostupné z:http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-579-X/pages-img/001.html.
- [9] R. POLÁŠEK, *Měření povrchové energie práškových materiálů*, UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI, 2014[online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z:https://theses.cz/id/ndguoo/Frimmelov_lvetaZDBP_2012_OLOMOUCword9397.pdf.
- [10] P. WAGNER, *Anti-fog Additives Give Clear Advantage*, Plast. Addit. Compd. 3 (2001) 18–21. doi:10.1016/S1464-391X(01)80301-9.

- [11] B.J. BRISCOE, K.P. GALVIN, *The Effect of Surface Fog on the Transmittance of Light*, Sol. Energy. 46 (1991) 191–197.
doi:10.1016/0038-092X(91)90063-3.
- [12] V. PLASMAN, T. CAULIER, N. BOULOS, *Polyglycerol Esters Demonstrate Superior Antifogging Properties for Films*, Plast. Addit. Compd. 7 (2005) 30–33.
doi:10.1016/S1464-391X(05)00359-4.
- [13] NATUREWORKS, *Additives to Improve Antifog Performance*, [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: https://www.natureworkslc.com/~media/Technical_Resources/Fact_Sheets/FactSheet_Additives-to-Improve-Anti-Fog-Performance_pdf.pdf.
- [14] L. IRUSTA, A. GONZÁLEZ, M.J. FERNÁNDEZ-BERRIDI, J.J. IRUIN, J.M. ASÚA, I. ALBIZU, A. IBARZABAL, A. SALMERÓN, E. ESPI, A. FONTECHA, Y. GARCÍA, A.I. REAL, *Migration of Antifog Additives in Agricultural Films of Low-density Polyethylene and Ethylene-vinyl Acetate Copolymers*, J. Appl. Polym. Sci. 111 (2009) 2299–2307.
doi:10.1002/app.29280.
- [15] DUPONT, *Dupont™ Rynite® Pet Thermoplastic Resins Molding Guide*, [online]. [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: http://www.dupont.com/content/dam/dupont/products-and-services/plastics-polymers-and-resins/thermoplastics/documents/Crastin/Rynite_Molding_Guide_RYE_A11161_00_B0615.pdf.
- [16] K. SHLOSMAN, J. ROSEN-KLIGVASSER, R. SUCKEVERIENE, R. TCHOUDAKOV, M. NARKIS, *Novel Antifog Modification for Controlled Migration and Prolonged Wetting of LLDPE Thin Films*, Eur. Polym. J. 90 (2017) 220–230.
doi:10.1016/j.eurpolymj.2017.03.025.
- [17] J.A. HOWARTER, J.P. YOUNGBLOOD, *Self-cleaning and Anti-fog Surfaces Via Stimuli-responsive Polymer Brushes*, Adv. Mater. 19 (2007) 3838–3843.
doi:10.1002/adma.200700156.
- [18] A.C. MARK A. SPALDING, *Handbook of Industrial Polyethylene and Technology: Definitive Guide to Manufacturing, Properties, Processing, Applications and Markets Set*, John Wiley & Sons, 2017, 2017, ISBN 1119159784.
- [19] S. SA, *Polyethylene Grafted Maleic Anhydride to Improve Wettability of Liquid on Polyethylene Films*, J. Appl. Polym. Sci. (2000) 1802–1808.
doi:doi.org/10.1002/1097-4628(20010307)79:10<1802::AID-APP80>3.0.CO;2-T.

- [20] Z. YAO, J. YIN, Y. SONG, G. JIANG, Y. SONG, *Preparation and Properties of a Reactive Type Nonionic Surfactant Grafted Linear Low Density Polyethylene*, 144 (2007) 135–144.
doi:10.1007/s00289-007-0751-3.
- [21] Y. YUAN, R. LIU, C. WANG, J. LUO, X. LIU, *Synthesis of UV-curable Acrylate Polymer Containing Sulfonic Groups for Anti-fog Coatings*, Prog. Org. Coatings. (2014).
doi:10.1016/j.porgcoat.2014.01.001.
- [22] J. ZHAO, A. MEYER, L. MA, X. WANG, W. MING, *Terpolymer-based SIPN Coating with Excellent Antifogging and Frost-Resisting properties*, RSC Adv. 5 (2015) 102560–102566.
doi:10.1039/c5ra21399a.
- [23] M.W. ENGLAND, C. URATA, G.J. DUNDERDALE, A. HOZUMI, *Anti-Fogging/Self-Healing Properties of Clay-Containing Transparent Nanocomposite Thin Films*, ACS Appl. Mater. Interfaces. 8 (2016) 4318–4322. doi:10.1021/acsami.5b11961.
- [24] H. YAN, W. YUANHAO, Y. HONGXING, *TEOS / Silane Coupling Agent Composed Double Layers Structure : A Novel Super-Hydrophilic Coating with Controllable Water Contact Angle Value θ* , Appl. Energy. (2015) 8.
doi:10.1016/j.apenergy.2015.09.097.
- [25] S. GRUBE, K. SIEGMANN, M. HIRAYAMA, *A Moisture-absorbing and Abrasion-resistant Transparent Coating on Polystyrene*, J. Coatings Technol. Res. 12 (2015) 669–680.
doi:10.1007/s11998-015-9678-z.
- [26] J. HELLER, *Vliv plazmatické předúpravy na adhezní vlastnosti textilií*, Technical University of Liberec, [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/8423/mgr_14753.pdf?sequence=1.
- [27] C.M. CHAN, T.M. KO, H. HIRAOKA, *Polymer Surface Modification by Plasmas and Photons*, Surf. Sci. Rep. 24 (1996) 1–54.
doi:10.1016/0167-5729(96)80003-3.
- [28] T. MEHMOOD, A. KAYNAK, X.J. DAI, A. KOUZANI, K. MAGNIEZ, D. RUBIN DE CELIS, C.J. HURREN, J. DU PLESSIS, *Study of Oxygen Plasma Pre-treatment of Polyester Fabric for Improved Polypyrrole adhesion*, Mater. Chem. Phys. 143 (2014) 668–675.
doi:10.1016/j.matchemphys.2013.09.052.
- [29] *Applications For Plasma Surface Treatment In The Medical Industry*, Adhes. Sealants Ind. Mag. (2000). [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <https://www.adhesivesmag.com/articles/83423-applications-for-plasma-surface-treatment-in-the-medical-industry>).

- [30] J. WU, N.Y. LEE, *One-step Surface Modification for Irreversible Bonding of Various Plastics with a Poly(dimethylsiloxane) Elastomer at Room Temperature*, Lab Chip. 14 (2014) 1564.
doi:10.1039/c3lc51324f.
- [31] M. NIE, P. PATEL, K. SUN, D.D. MENG, *Superhydrophilic Anti-fog Polyester Film by Oxygen Plasma Treatment*, 4th IEEE Int. Conf. Nano/Micro Eng. Mol. Syst. NEMS 2009. (2009) 1017–1020.
doi:10.1109/NEMS.2009.5068746.
- [32] J. ABENOJAR, R. TORREGROSA-COQUE, M. ANGEL, J.M. MARTÍN-MARTÍNEZ, *Surface Modifications of Polycarbonate (PC) and Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) Copolymer by tTreatment with Atmospheric Plasma*, Surf. Coat. Technol. 203 (2009) 2173–2180.
doi:10.1016/j.surfcoat.2009.01.037.
- [33] S. YANG, M.C. GUPTA, *Surface Modification of Polyethyleneterephthalate by an Atmospheric-pressure Plasma Source*, Surf. Coatings Technol. 187 (2004) 172–176.
doi:10.1016/j.surfcoat.2004.03.057.
- [34] M. NIE, P. PATEL, K. SUN, D.D. MENG, *Superhydrophilic Anti-fog Polyester film by Oxygen Plasma Treatment*, in: 4th IEEE Int. Conf. Nano/Micro Eng. Mol. Syst. NEMS 2009, 2009.
doi:10.1109/NEMS.2009.5068746.
- [35] BIOLIN SCIENTIFIC, *Complete Range of Optical Tensiometers Contact Angle Meters Precision Made Simple*, [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: http://www.dynetesting.com/wp-content/uploads/2017/04/Brochure-Attension_Theta_Optical-Tensiometers.pdf.
- [36] PVA TePla, *Evaluating the Drop Image to Measure the Contact Angle.*, [online]. [cit. 2018-05-04]. Dostupné z: http://www.pvateplaamerica.com/contact_angle_measurement.php.
- [37] ASTM, ASTM D 5946 *Contact Angle of Water Droplets on Corona-treated Polymer Film Surfaces*, Astm. (1996) [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://balibago.org/Files/Tappi/DOCS/T565.PDF>.
- [38] KULIM KHT, *Theta Lite Optical / Contact Angle Tensiometer*, [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <https://kulim-kht.blogspot.cz/2018/02/kulim-kht-attension-theta-lite-optical.html>.
- [39] GABRIEL CHEMIE GROUP, *Antifog Masterbatch for PP-Film*, 8–9[online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: https://www.gabriel-chemie.com/downloads/folder/Antifog_en.pdf.

- [40] W.A. CHISHOLM, K.G. RINGLER, C.C. ERVEN, M.A. GREEN, O. MELO, Y. TAM, O. NIGOL, J. KUFFEL, A. BOYER, I.K. PAVASARS, F.X. MACEDO, J.K. SABISTON, R.B. GAPUTO, *The Cold-Fog Test*, IEEE Trans. Power Deliv. 11 (1996) 1874–1880. doi:10.1109/61.544270.
- [41] THERMOFISHER SCIENTIFIC, *How to Conduct a Successful Fog Test*, [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://tools.thermofisher.com/content/sfs/manuals/How-to-conduct-a-successful-fog-test-guide-EN.pdf>.
- [42] ASTM, D1003. *Standard Test Method for Haze and Luminous Transmittance of Transparent Plastics 1*, Astm. 6 (2015) 1–6. doi:10.1520/D1003-07E01.2.
- [43] D. ZIEGLER, M. MARKEY, D. PHELPS, *Update on Eyewear Fog Tester Apparatus: APBI 2011*, (2011). [online]. [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: <https://techlinkcenter.org/wp-content/uploads/2017/03/NSRDEC-Eyewear-Fog-Tester-APBI-2011.pdf>.
- [44] T. MOUTERDE, G. LEHOUCQ, S. XAVIER, A. CHECCO, C.T. BLACK, A. RAHMAN, T. MIDAVAINÉ, C. CLANET, D. QUÉRÉ, *Antifogging Abilities of Model Nanotextures*, Nat. Mater. (2017). doi:10.1038/NMAT4868.
- [45] CRODA POLYMERS, *Atmer Anti-fog*, [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <http://www.ferroplast.com/pdf/Atmer Anti-fog.pdf>.
- [46] PLASMATREAT, *Anti-fog Coating of Interior Surfaces in Automobile Headlamps Using the Low-pressure Plasma Process*, [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <https://www.plasmatreat.com/industrial-applications/automotive/headlights/anti-fog-coating-led-headlamps.html>.
- [47] RIA Permanent Anti-Fog Coating For Motorcycle Visors, [online]. [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <https://www.webbikeworld.com/ria-permanent-anti-fog-coating-motorcycle-visors/>.
- [48] C.S. THOMPSON, R.A. FLEMING, M. ZOU, *Transparent Self-cleaning and Antifogging Silica Nanoparticle Films*, Sol. Energy Mater. Sol. Cells. 115 (2013) 108–113. doi:10.1016/j.solmat.2013.03.030.
- [49] RUGGED COATINGS, *Glass Vinyl Plastic Protective Coating*, [online]. [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://www.ruggedcoatings.com/glass-vinyl-plastic-protective-coating>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

LDPE	Nízko-hustotní polyetylen
LLDPE	Lineární nízko-hustotní polyetylen
PE	Polyetylen
PP	Polypropylen
EVA	Polyetylen-vinyl acetát
EVOH	Polyetylen-vinyl alkohol
EAA	Polyetylen akrylová kyselina
PS	Polystyren
OPS	Orientovaný polystyren
PVOH	Polyvinyl alkohol
PVC	Polyvinyl chlorid
PVDC	Polyvinyliden chlorid
PAN	Polyakrylonitril
PET	Polyetylen tereftalát
PEN	Polyetylen naftenát
PLA	Kyselina polymléčná
PGA	Kyselina polyglykolová
PCL	Polycaprolactone
PC	Polykarbonát
SMO	Sorbitan monooleát
GMO	Glycerol monooleát
GML	Glycerol monolaurát
HEMA	2-hydroxy etylmethakrylát
MMA	Methylmetakrylát

EHA	2-ethylhexylakrylát
AMPS	2-acrylamido-2-metyl propan sulfonová kyselina
IPDI	Isophoron diisokyanát
DMAEMA	2-(dimetylamino)etyl metakrylát
NVP	N-vinyl pyrolidon
PVP	Polyvinyl pyrolidon
ASTM	American Society for Testing and Materials
CF ₄	Tetrafluor methan
ABS	Polyakrylonitril-butadien-styren

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Nejčastěji používané polymery v obalovém průmyslu.[1]	9
Obr. 2 a) Filmová kondenzace b) Kapková kondenzace na svislém studeném substrátu. [7].....	12
Obr. 3 Dokonalé smáčení povrchu. [9]	13
Obr. 4 Částečné smáčení povrchu. [9]	13
Obr. 5 Částečné nesmáčení povrchu. [9].....	14
Obr. 6 Dokonalé nesmáčení povrchu. [9].....	14
Obr. 7 Vliv kontaktního úhlu na propustnost světla procházejícího transparentním materiálem. [10]	15
Obr. 8 Závislost transmitance na kontaktním úhlu θ . [11].....	16
Obr. 9 Popis funkce protizamlžujících aditiv. [12]	17
Obr. 10 Strukturní vzorec sorbitan monostearát (SMO)	18
Obr. 11 Strukturní vzorec glycerol monolaurát (GML)	18
Obr. 12 Strukturní vzorec polyoxyetylen-sorbitan-monostearát	18
Obr. 13 Příprava terpolymeru DMAEMA-co-NVP-co-MMA. [22].....	22
Obr. 14 a) Aktivace povrchu a polykondenzace TEOS. b) Navázání SIA na aktivovaný povrch. c) Orientace hydrofilních skupin na povrchu. [24]...	23
Obr. 15 a) Aktivace povrchu PS benzo-fenonem. b) Navázání PVP na povrch PS a následné síťování PVP. [25].....	24
Obr. 16 Úprava povrchu polymeru O_2 , N_2 plazmatem. [29].....	26
Obr. 17 Změna kontaktního úhlu polymerních materiálů po úpravě povrchu atmosférickým plazmatem. [30].....	27
Obr. 18 Vliv prostředí na životnost plazmové úpravy povrchu. [27].....	28
Obr. 19 Ukázka praktického měření kontaktního úhlu. [36]	29
Obr. 20 Optický tensiometr Theta-Lite. [38].....	30
Obr. 21 Aparatura pro provedení Hot Fog Testu. [39]	31
Obr. 22 Aparatura pro provedení Cold Fog Testu. [39]	32
Obr. 23 Hazemetr dle ASTM D1003. [42]	33
Obr. 24 Fog Tester Apparatus: APBI 2011 Zařízení pro testování účinnosti protizamlžujících úprav brýlí dle ASTM F 659-06. [43].....	34
Obr. 25 Ukázka měření pomocí optického mikroskopu. [44]	34

Obr. 26 Ukázka účinku interních protizamlžujících aditiv pro polyetylen PE v obalovém průmyslu. [45]	35
Obr. 27 Složení třívrstvé ko-extrudované fólie s přídavkem interních aditiv proti zamlžování určené pro konstrukci fóliovníků. [45]	36
Obr. 28 Účinek ošetření polykarbonátu PC kombinací plazmy a externí protizamlžující vrstvy u automobilových světlometů. [46]	37
Obr. 29 Protizamlžující úprava hledí helmy. [47]	37
Obr. 30 Ukázka ošetření solárních článků externí vrstvou na bázi nanočástic koloidní hydrofilní siliky. [49]	38

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 <i>Volná povrchová energie polymerů používaných v obalovém průmyslu.</i>	10
Tab. 2 <i>Komerčně dostupná aditiva proti zamlžování. [18]</i>	20
Tab. 3 <i>Hodnocení účinnosti proti zamlžující úpravy. [39]</i>	32