

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE MAKROMOLEKULÁRNÍCH LÁTEK

Studium vlivu hexaamino-*cyklo*-trifosfazenu na vlastnosti latexových nátěrů

Michaela Medunová

Diplomová práce

2018

UNIVERSITY OF PARDUBICE
FACULTY OF CHEMICAL TECHNOLOGY
INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY
OF MACROMOLECULAR SUBSTANCES

**Study of the effect of hexaamino-*cyclo*-triphosphazene on the properties of
latex coatings**

Michaela Medunová

Master thesis

2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Michaela Medunová**
Osobní číslo: **C16521**
Studijní program: **N2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Technologie výroby a zpracování polymerů**
Název tématu: **Studium vlivu hexaamino-cyklo-trifosfazenu na vlastnosti latexových nátěrů**
Zadávací katedra: **Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Provedte literární rešerši v souvislosti se zadaným tématem.
2. Připravte modelové polymerní disperze strukturovaných latexových částic technikou emulzní polymerace. Jako výchozí monomery použijte methylmethakrylát, butylakrylát, 2,2,2-trifluorethylmethakrylát, kyselinu methakrylovou a glycidymethakrylát. Do struktury emulzních kopolymerů při polymeraci kovalentně zabudujte molekuly hexaamino-cyklo-trifosfazenu.
3. Vyhodnoťte základní vlastnosti připravených vzorků kopolymerních disperzí (obsah koagulátu, velikost částic, pH, viskozitu, minimální filmotvornou teplotu, teplotu skelného přechodu, extrahovatelný podíl).
4. Zhotovte nátěrové filmy, které budou založeny na dvousložkovém nátěrovém systému sestávajícím z připravené amino-funkcionalizované disperze latexových částic nesoucích retardér hoření a komerční vodné disperze epoxidové pryskyřice. Vyhodnoťte vlastnosti nátěrových filmů a vyberte optimální poměr obou složek.
5. Zabývejte se využitím hexaamino-cyklo-trifosfazenu jako nízkomolekulárního tvrdidla latexů funkcionalizovaných glycidyllovými skupinami. Zhotovte nátěrové filmy a vyhodnoťte jejich vlastnosti s důrazem na hořlavost.
6. Posuďte možnost využití těchto nátěrových systémů pro aplikace vyžadující zvýšenou protipožární ochranu.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jana Machotová, Ph.D.

Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek

Konzultant diplomové práce:

Ing. Adéla Rückerová

Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek

Datum zadání diplomové práce:

2. prosince 2017


Termín odevzdání diplomové práce:

11. května 2018



prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.
děkan

L.S.



Ing. David Veselý, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 28. února 2018

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne

.....
Michaela Medunová

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala své vedoucí diplomové práce Ing. Janě Machotové, Ph.D. za odborné vedení, ochotu, cenné rady, poskytnutí materiálů a pomoc při vypracování této práce. Dále bych chtěla poděkovat panu Ing. Jozefu Rychlému, DrSc. a paní Ing. Hudákové za měření hořlavosti v kónickém kalorimetru na Slovenské akademii vied, Ústav polymérov SAV. Velice děkuji Ing. Adéle Ruckerové za pomoc v laboratoři, při zpracování experimentálních dat a za cenné rady při vypracování této práce a všem ostatním, kteří se na tvorbě této práce podíleli.

ANOTACE

V teoretické části této diplomové práce jsou ve formě rešerše zpracována témata zabývající se obecnou problematikou nátěrových hmot se zaměřením na vodu ředitelné nátěrové hmoty. Dále jsou rozebírána témata emulzní polymerace, tvorby latexových filmů a epoxidových pryskyřic. Následně je pozornost věnována hořlavosti polymerních filmů. Experimentální část je zaměřena na přípravu a charakterizaci latexů, které ve své struktuře obsahují hexaamino-*cyklo*-trifosfazen, jakožto retardér hoření a síťující činidlo. Další část je věnována zvolení optimálního poměru latexu / vodné epoxidové pryskyřice a fosfazenu jako nízkomolekulárního tvrdidla latexů funkcionalizovaných glycidyl-ovými skupinami. V poslední části práce jsou charakterizovány a vyhodnoceny vlastnosti nátěrových filmů na bázi kompozic latex / vodná epoxidová disperze a latex / hexaamino-*cyklo*-trifosfazen.

KLÍČOVÁ SLOVA

Emulzní polymerace, latex, retardér hoření, fosfazen, nátěr, vodná epoxidová disperze, epoxidová pryskyřice

TITLE

Study of the effect of hexaamino-*cyklo*-triphosphazene on the properties of latex coatings

ANNOTATION

The theoretical part of this diploma thesis deals with topics describing the general problems of coatings with the focus on water-borne films. Further, the topics of emulsion polymerization, latex films and epoxy resins are discussed. Subsequently, attention is paid to the flammability of polymer films. The experimental part is focused on the preparation and characterization of latexes which contain hexaamino-*cyklo*-triphosphazene as a flame retardant and crosslinking agent. Another part is dedicated to choosing the optimum ratio of latex / water epoxy resin and phosphazene as a low molecular weight hardener of glycidyl-functionalized latexes. In the last part of the work, the properties of coating films based on latex / water epoxy dispersions and latex / hexaamino-*cyklo*-triphosphazene are characterized and evaluated.

KEYWORDS

Emulsion polymerization, latex, flame retardant, phosphazene, coating, aqueous epoxy dispersion, epoxy resin

OBSAH

Úvod.....	18
1 TEORETICKÁ ČÁST	19
1.1 Latexová pojiva nátěrových hmot.....	19
1.1.1 Definice a základní pojmy	19
1.1.2 Složení nátěrových hmot	19
1.1.3 Vodou ředitelné nátěrové hmoty.....	20
1.2 Emulzní polymerace.....	21
1.2.1 Radikálová polymerace.....	21
1.2.2 Mechanismus emulzní polymerace.....	23
1.3 Tvorba latexových filmů	26
1.4 Epoxidové pryskyřice v oboru nátěrových hmot	28
1.4.1 Příprava epoxidových pryskyřic	29
1.4.2 Vlastnosti epoxidových pryskyřic	30
1.4.3 Vytvrzování epoxidových pryskyřic.....	30
1.4.4 Aplikace epoxidových pryskyřic	31
1.4.5 Epoxidové pryskyřice jako pojiva nátěrových hmot	32
1.5 Hořlavost polymerních nátěrových filmů	35
1.5.1 Třídy hořlavosti.....	37
1.5.2 Hodnocení hořlavosti.....	37
1.5.3 Možnosti snížení hořlavosti	38
1.5.4 Členění retardérů hoření	39
1.5.5 Požadavky na retardéry hoření	42
1.5.6 Fosfazeny	42
2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	47
2.1 Přehled použitých chemikálií.....	47
2.1.1 Monomery.....	47
2.1.2 Emulgátor.....	48

2.1.3	Iniciátor	48
2.1.4	Retárdér hoření	48
2.1.5	Vodná epoxidová disperze.....	49
2.1.6	Ostatní chemikálie	49
2.2	Postup syntézy latexů.....	49
2.3	Charakterizace latexů	52
2.4	Zvolení vhodného poměru latex vs. vodná epoxidová disperze	53
2.5	Využití fosfazenu jako nízkomolekulárního tvrdidla funkcionalizovaných latexů s glycidyllovými skupinami	54
2.6	Použité metody.....	56
2.6.1	Stanovení obsahu sušiny.....	56
2.6.2	Stanovení obsahu koagulátu	56
2.6.3	Stanovení zdánlivé viskozity podle Brookfielda	56
2.6.4	Stanovení pH.....	57
2.6.5	Stanovení velikosti částic ⁵⁵	57
2.6.6	Stanovení povrchové tvrdosti nátěrů tužkami	58
2.6.7	Zkouška tvrdosti nátěrů tlumením kyvadla dle Persoze	59
2.6.8	Stanovení tloušťky nátěrových filmů.....	59
2.6.9	Stanovení vzhledu nátěrových filmů	60
2.6.10	Stanovení minimální filmotvorné teploty	60
2.6.11	Mřížková zkouška.....	60
2.6.12	Zkouška padajícím závažím.....	61
2.6.13	Zkouška hloubením.....	61
2.6.14	Odtrhová zkouška přilnavosti	62
2.6.15	Stanovení odolnosti kapalinám - kloboučková metoda	62
2.6.16	Zkouška hořlavosti pomocí kónického kalorimetru ⁵⁶	63
2.6.17	Stanovení extrahovatelného podílu.....	63
2.6.18	Absorpce vody	64
2.6.19	Stanovení odolnosti nátěru vůči methylethylketonu.....	64

2.6.20	Stanovení lesku nátěru leskoměrem	64
2.6.21	Emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES)	65
2.6.22	Diferenciální kompenzační kalorimetrie (DSC)	65
3	VÝSLEDKY A DISKUZE	66
3.1	Charakterizace latexů	66
3.1.1	Základní vlastnosti latexů	66
3.1.2	Charakterizace emulzních kopolymerů	67
3.1.3	Hodnocení nátěrových vlastností latexů	69
3.2	Studium nátěrových latexových kompozic z hlediska optimálního poměru latex / vodná epoxidová disperze	75
3.3	Zvolení optimálního poměru latex / vodná epoxidová disperze	83
3.3.1	Hodnocení nátěrových filmů na bázi směsi latex / vodná epoxidová pryskyřice v optimálním poměru	83
3.4	Fosfazen jako nízkomolekulární tvrdidlo latexů funkcionalizovaných glycidylóvými skupinami	92
4	Závěr	102
5	Seznam zdrojů	104

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Zkratky a chemické vzorce monomerů	47
Tabulka 2 Charakteristika monomerů	48
Tabulka 3 Složení polymeračního systému	51
Tabulka 4 Složení násady monomerů I a II 1. řady latexů	51
Tabulka 5 Složení násady monomerů I a II 2. řady latexů	51
Tabulka 6 Tvrdost tužek a označení tužek	58
Tabulka 7 Stanovení vzhledu nátěrového filmu	60
Tabulka 8 Vyhodnocení mřížkové zkoušky	61
Tabulka 9 Vyhodnocení poškození nátěrových filmů při stanovení odolnosti kapalinám kloboučkovou metodou.....	63
Tabulka 10 Charakterizace latexů	67
Tabulka 11 Výsledky ICP-OES analýzy latexových polymerů	68
Tabulka 12 Obsah solů a hořlavost latexových polymerů.....	69
Tabulka 13 Charakteristické vlastnosti nátěrových filmů na skleněných podložkách I	70
Tabulka 14 Charakteristické vlastnosti nátěrových filmů na skleněných podložkách II	71
Tabulka 15 Chemická odolnost nátěrových filmů latexů 1. řady.....	72
Tabulka 16 Chemická odolnost nátěrových filmů latexů 2. řady.....	73
Tabulka 17 Charakterizace vlastností nátěrových filmů na ocelových podložkách.....	74
Tabulka 18 Extrahovatelný podíl polymerních vzorků na bázi nátěrových kompozic latex / vodná epoxidová disperze.....	76
Tabulka 19 Charakterizace vlastností nátěrových filmů latexu MM2 s vodnou epoxidovou disperzí na skleněných podložkách.....	77
Tabulka 20 Charakteristické vlastnosti nátěrových filmů na bázi latexu MM2 s vodnou epoxidovou disperzí na ocelových podložkách	78
Tabulka 21 Vlastnosti nátěrových filmů na bázi latexu MM3 s vodnou epoxidovou disperzí na skleněných podložkách	79
Tabulka 22 Naměřené vlastnosti nátěrových filmů na bázi latexu MM3 s vodnou epoxidovou disperzí na ocelových podložkách	80
Tabulka 23 Charakteristické vlastnosti nátěrových filmů na bázi latexu MM4 s vodnou epoxidovou disperzí na skleněných podložkách.....	81
Tabulka 24 Naměřené hodnoty vlastností nátěrových kompozic latexu MM4 s vodnou epoxidovou disperzí na ocelových podložkách	82

Tabulka 25 Stanovená hořlavost polymerních tělísek z kompozic latex / vodná epoxidová disperze	84
Tabulka 26 Stanovená tvrdost podle Persoze po 1, 2, 3, 7 a 30 dnech zasychání nátěrů.....	85
Tabulka 27 Charakteristické vlastnosti nátěrových filmů optimálních poměrů na bázi latex / vodná epoxidová disperze na skleněných podložkách I	87
Tabulka 28 Charakteristické vlastnosti nátěrových filmů optimálních poměrů na bázi latex / vodná epoxidová disperze na skleněných podložkách II.....	88
Tabulka 29 Charakterizace nátěrových filmů optimálních poměrů latex / vodná epoxidová disperze na ocelových podložkách	89
Tabulka 30 Chemická odolnost nátěrových filmů optimálních poměrů na bázi latex / vodná epoxidová disperze na skleněných podložkách I.....	90
Tabulka 31 Chemická odolnost nátěrových filmů optimálních poměrů na bázi latex / vodná epoxidová disperze na skleněných podložkách II.....	91
Tabulka 32 Hodnoty ICP-OES analýzy polymerních odlitků na bázi kompozice latex / HACF	92
Tabulka 33 Charakteristické vlastnosti latexových vzorků optimálních poměrů latex / hexaamino-cyklo-trifosfazen.....	93
Tabulka 34 Hořlavost polymerních vzorků obsahujících hexaxamino-cyklo-trifosfazen jako tvrdidlo.....	94
Tabulka 35 Stanovená tvrdost nátěrů na bázi latex / HACF podle Persoze po 1, 2, 3, 7 a 30 dnech.....	95
Tabulka 36 Charakteristické vlastnosti nátěrových filmů optimálních poměrů latex / hexaamino-cyklo-trifosfazen na skleněných podložkách I	97
Tabulka 37 Charakteristické vlastnosti nátěrových filmů optimálních poměrů latex / hexaamino-cyklo-trifosfazen na skleněných podložkách II.....	98
Tabulka 38 Charakteristické vlastnosti nátěrových filmů optimálních poměrů latex / hexaamino-cyklo-trifosfazen na ocelových podložkách	99
Tabulka 39 Chemická odolnost nátěrových filmů na bázi latex / hexaamino-cyklo-trifosfazen na skleněných podložkách I	100
Tabulka 40 Chemická odolnost nátěrových filmů na bázi latex / hexaamino-cyklo-trifosfazen na skleněných podložkách II.....	101

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Schéma tvorby latexového filmu.....	27
Obrázek 2 Průběh kondenzace dianu s epichlorhydrinem	29
Obrázek 3 Schéma procesu hoření polymerů	35
Obrázek 4 Schéma tvorby volných radikálů při hoření	36
Obrázek 5 Obecný vzorec hexochloro- <i>cyklo</i> -trifosfazenu.....	43
Obrázek 6 Schéma přípravy hexachloro- <i>cyklo</i> -trifosfazenu.....	44
Obrázek 7 Možnosti přípravy Trichlorofosfazo–N–fosforyldichlorid	45
Obrázek 8 Aparatura pro emulzní polymeraci.....	50
Obrázek 9 Schéma reakce HACF se strukturálními jednotkami GMA	52

Seznam grafů

- Graf 1** Časový vývoj tvrdosti podle Persoze nátěrů na bázi 1. řady latexů na skleněných podložkách.....85
- Graf 2** Časový vývoj tvrdosti podle Persoze nátěrů na bázi 2. řady latexů na skleněných podložkách.....86
- Graf 3** Časový vývoj tvrdosti podle Persoze nátěrových filmů na bázi latex MM1 / HACF ..96
- Graf 4** Časový vývoj tvrdosti podle Persoze nátěrových filmů na bázi latex MM5 / HACF ..96

Seznam zkratek

EP	Epoxidová pryskyřice
HACF	Hexaamino-cyklo-trifosfazen
MMA	Methylmethakrylát
BA	Butylakrylát
KMA	Kyselina methakrylová
GMA	Glycidylmethakrylát
TFEMA	2,2,2-Trifluorethylmetfakrylát
THF	Tetrahydrofuran
MEK	Methylethylketon
MFT	Minimální filmotvorná teplota
ICP-OES	Emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem
T_g	Teplota skelného přechodu

Úvod

Chemie se stala nedílnou součástí našeho života, můžeme dokonce konstatovat, že se s ní setkáváme při téměř veškerých aktivitách. V posledních několika desetiletích se ve velkém měřítku rozvíjí hlavně chemie polymerů a nanotechnologie. Polymerní materiály nás obklopují, setkáváme se s nimi v našich domácnostech, v dopravě, potravinářském průmyslu i například při sportovních aktivitách a to především díky jejich vhodným vlastnostem.

Velká pozornost je věnována polymerním povlakům. V současnosti je z ekologického hlediska jak v průmyslu, tak i v běžném životě, brán stále větší zřetel na používání netoxických ekologických materiálů. Proto jsou stále častěji používány technologie, které snižují nebo dokonce odstraňují používání organických rozpouštědel (VOC) v nátěrových hmotách. Tato v minulosti hojně používaná rozpouštědla jsou nyní nahrazována ekologickými rozpouštědly, nejčastěji vodou. Mezi rozšířené typy v praxi používaných ekologických barev či laků patří vodou ředitelné akrylátové nátěrové hmoty.^{1,2}

Syntetické polymerní materiály rychle nahrazují tradiční anorganické materiály, jako jsou kovy a přírodní materiály, kterými je například dřevo. Vzhledem k tomu, že tyto nové materiály jsou hořlavé, vyžadují modifikace ke snížení jejich hořlavosti přidáním sloučenin zpomalujících hoření (retardérů hoření). Retardér hoření je samozhášecí látka, která zpomaluje nebo zabraňuje hoření, tedy zlepšuje tepelnou odolnost materiálu³

Mezi známé a používané retardéry hoření patří fosfazeny. První zmínky o těchto látkách se datují do první poloviny 18. století, avšak první oficiální syntéza lineárního fosfazenu byla zaznamenána až v roce 1965. V dnešní době zaujímají fosfazeny důležitou pozici v anorganické i organické chemii, někde na pomezí mezi anorganickou, organickou chemií, organokovy, a polymerními, keramickými a kovovými materiály. Bylo objeveno velké množství derivátů, které se uplatňují i v běžném životě. Nalezly uplatnění v zemědělství, lékařství a průmyslu.⁴

Tato práce se zabývá syntézou latexů pomocí techniky emulzní polymerace, kde byl jako komonomer nebo inter-částicové síťující činidlo použit hexaamino-cyklo-trifosfazen jakožto retardér hoření. Připravené latexy byly charakterizovány zejména z hlediska vlastností nátěrových povlaků s důrazem na hodnocení hořlavosti.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Latexová pojiva nátěrových hmot

1.1.1 Definice a základní pojmy

Pojmem *nátěrové hmoty (NH)* se obecně označují všechny látky, které mají filmotvorné vlastnosti. Aplikují se na podklad, který je zpravidla ještě povrchově upraven, a to v tekutém, polotuhém nebo práškovém stavu. Po nanesení se z původně tekutého či polotekutého stavu stane na podkladu pevný nátěrový film.⁵

Každá jednotlivá vrstva nátěrové hmoty, která je jakýmkoliv způsobem nanášena na podklad, se nazývá *nátěr*. Vytváří-li na podkladu nátěrová hmota souvislý transparentní film je v odborné terminologii označována jako *lak*.⁶

V praxi je velmi často potřeba více nátěrových vrstev, například k dokonalému krytí podkladu nebo pro barevnou sytost vytvářeného nátěru, což je nazýváno jako *nátěrový systém*. Všechny vrstvy musí být samozřejmě kompatibilní, aby nedocházelo k porušení užitných a vizuálních vlastností. V celém nátěrovém systému ještě rozlišujeme *základní nátěr*, ten, který je nanášený na podklad jako první, a pak *vrchní nátěr*, který byl aplikován jako poslední.⁷

1.1.2 Složení nátěrových hmot

Pro dosažení co nejlepšího efektu a maximálního využití požadovaných vlastností se nátěrové hmoty obvykle skládají z několika komponent. Zde je přehled těch nejčastěji používaných:

Hlavní složku tvoří tzv. *filmotvorná látka* nebo také *pojivo*, která určuje, jaké bude mít nátěrová hmota a hotový nátěr vlastnosti. Pojivo se po vytvoření filmu nevypařuje, ale spojuje jednotlivé částice NH mezi sebou a zároveň je spojuje s podkladem. Výsledné vlastnosti nátěrového filmu jsou tedy do velké míry ovlivňovány vlastnostmi obsaženého pojiva, po kterém se se nátěrová hmota velmi často označuje, například jako epoxidová, alkydová, polyesterová a další.

Další důležitou složkou je *rozpuštědlo*, které ovlivňuje kvalitu nátěru a samotné nátěrové hmoty a v jisté míře zlehčuje její aplikaci, neboť se v něm daná

filmotvorná látka rozpouští a nanáší se v tekutém stavu. Pro upravení vlastností nátěrových hmot při nanášení se používají tzv. ředidla. Podle ředidel se často NH nazývají, jako například vodou ředitelné NH, kde je hlavním rozpouštědlem voda. Po aplikaci se všechno rozpouštědlo z nátěru odpaří.

Dále se používají aditiva neboli pomocné látky, které zlepšují a upravují vlastnosti dané nátěrové hmoty. Přispívají ke snadnější aplikaci a ke zlepšení vlastností finálního nátěrového filmu. Pro úpravu mechanických vlastností se používají plniva (např. mastek, kaolín, těživec).

Pro požadovaný barevný odstín a dokonalé barevné krytí se používají pigmenty. Jsou to barevné organické a anorganické prášky nerozpustné v rozpouštědlech a filmotvorných látkách.^{5,6}

1.1.3 Vodou ředitelné nátěrové hmoty

Pojmem vodou ředitelné nátěrové hmoty nebo zkráceně VŘNH se označují nátěrové hmoty, které lze ředit vodou, nebo se ve vodě rozpouštějí. Jsou velmi oblíbené díky svým vynikajícím vlastnostem, snadné aplikaci, dobrému rozlivu, velmi dobré odolnosti proti oděru a některým chemikáliím, jsou bezbarvé s možností dobarvování pomocí pigmentů. Jejich velkou předností je nízký obsah organických rozpouštědel a určitá možnost jejich recyklace. Nevýhodou je relativně dlouhá časová náročnost odpaření vody.^{7,8}

1.1.3.1 Akrylátové vodou ředitelné nátěrové hmoty

Jedná se o vodou ředitelné nátěrové hmoty, jejichž pojivo je tvořeno kopolymery esterů kyseliny akrylové. Dále se skládají z většího množství komponentů, kterými jsou disperze polymerních částic, voda, změkčovadla, pigmenty, plniva, ochranné koloidy, smáčedla, koalescenční látky a další. Jejich výhodou je rychlé zasychání, dobré mechanické vlastnosti, snadná aplikace, odolnost vůči povětrnostním vlivům, oděru a některým chemikáliím. Pojiva na bázi akrylátových vodou ředitelných disperzí jsou obvykle připravována dvěma způsoby. Prvním způsobem je syntéza polymeru v organickém rozpouštědle, obvykle kondenzační nebo radikálovou polyreakcí, která je následovaná dispergací vytvořeného karboxy-funkcionalizovaného polymeru do vodného prostředí. Druhým způsobem je proces emulzní polymerace probíhající radikálovým mechanismem

ve vodném prostředí. Takto jsou připravovány koloidní polymerní disperze, tzv. latexy, jejichž složení je nejčastěji tvořeno kopolymery styrenu a esterů kyseliny akrylové, popř. methakrylové.⁷⁻⁹

1.2 Emulzní polymerace

Zřejmě nejpoužívanější technikou přípravy disperze polymeru ve vodě je emulzní polymerace. Emulzní polymerace je komplexní proces, který je ovlivněn celou řadou faktorů, jako jsou použité monomery, povrchově aktivní látky, iniciátory a v neposlední řadě i charakter emulzní polymerace jako takové. Reakčním prostředím je nejčastěji voda, ve které je rozpustný vhodný iniciátor, který zahajuje tvorbu radikálů. Produktem emulzní polymerace je tzv. latex, což je koloidní roztok dispergovaných polymerních částic. Od suspenzní polymerace se tato technika liší reakčním mechanismem, velikostí částic a druhem použitého stabilizátoru a iniciátoru. Postup emulzní polymerace je často používán pro (ko)polymeraci monomerů, jako jsou vinylacetát, ethylen, styren, akrylonitril, akryláty, methakryláty a konjugované dieny, kterými jsou nejčastěji butadien a isopren. Jednou z výhod emulzní polymerace je, že lze dosáhnout vysoké molekulové hmotnosti, aniž by docházelo ke snížení rychlosti polymerace. Další předností tohoto procesu je relativně nízká časová náročnost polymerace ve srovnání s jinými technikami. Nevýhodou emulzní polymerace je kontaminace koloidních částic povrchově aktivní látkou a dalšími přítomnými látkami. Tato skutečnost je jednou z překážek pro rozvoj emulzní polymerace, protože i nízká koncentrace kontaminujících látek je často zodpovědná za špatné lakařské vlastnosti vodou ředitelných nátěrových hmot.¹⁰⁻¹²

1.2.1 Radikálová polymerace

Z hlediska charakteru vazeb reagují radikálovým mechanismem sloučeniny obsahující ve své struktuře dvojnou vazbu, a to především kvůli přítomnosti nestabilní vazby π , která se využívá ke vzniku nové vazby σ . Při radikálové polymeraci je částice s volným elektronovým párem neboli radikálem, aktivním centrem. Částice s volným elektronovým párem reaguje s molekulou monomeru, který obsahuje dvojnou vazbu. Dochází k adiční reakci, která se nazývá iniciace, což je bráno jako zahájení polymerace. Volný radikál se přesouvá na konec vznikající molekuly a reaguje s dalšími molekulami monomeru. Tento krok je nazýván propagace. Celý proces končí v momentě, kdy rostoucí polymerní molekula nesoucí na konci svého řetězce radikál zreaguje s druhou rostoucí molekulou a dojde k zániku

radikálů. Tato reakční část je nazývána jako terminace. V některých případech dochází k přesunu radikálu na jinou molekulu, která má za následek ukončení růstu molekuly. Tento celý proces se nazývá transfer.

Mechanismus radikálové polymerace probíhá v následujících dílčích krocích:

Iniciace: V tomto kroku dochází k ataku monomer molekulou nesoucí volný radikál. Volný radikál vzniká nejčastěji rozpadem iniciátoru, což je první krok iniciace (1). Druhým krokem iniciace je iniciační reakce jako taková (2).



Propagace: krok označovaný jako růst řetězce je několikanásobně se za sebou opakující reakce monomeru s rostoucí molekulou nesoucí radikál (3, 4). Počet rostoucích reakcí, ke kterým v tomto kroku dochází, je odhadován na stovky až tisíce (5).



↓



Terminace: Ukončení růstové reakce může být uskutečněno dvěma způsoby:

Rekombinací (6), kdy ze dvou radikálů vzniká jedna molekula s kovalentní vazbou.



Disproporcionací (7), při které dochází k přenosu vodíku z jednoho řetězce na druhý. Přenosem vznikají dvě molekuly, pouze jedna ve své struktuře obsahuje na konci řetězce dvojnou vazbu.



Transfer: V tomto kroku dochází k přenosu růstového centra, radikálu, na jinou než rostoucí molekulu. Například na molekulu rozpouštědla, iniciátoru i polymerní molekulu. Tímto přenosem dochází ke konci růstu molekuly.¹³⁻¹⁵

1.2.2 Mechanismus emulzní polymerace

Emulzní polymerace je komplexní proces, při kterém dochází k radikálové reakci v heterogenním vodném prostředí. V systému musí být dále přítomny další složky, ve vodě nerozpustný nebo částečně rozpustný monomer, zcela rozpustný iniciátor a povrchově aktivní látky. Tyto vyjmenované složky vytvářejí koloidní systém, ze kterého jako produkt vzniká mechanismem radikálové polymerace koloidní disperze polymerních částic ve vodném prostředí neboli latex. Latex obsahuje 40 – 60 % pevného polymerního podílu, který je rovnoměrně dispergován ve vodném prostředí. Latexové částice mají kulovitý tvar a jejich velikost se obvykle pohybuje v rozmezí od 10 do 1000 nm.¹²

Nejčastější složení reakční směsi při emulzní polymeraci je následující: monomer, disperzní medium, emulgátor a iniciátor. Směs může obsahovat i další složky jako například pufrы, kyseliny, báze, činidla proti stárnutí nebo biocidy.^{10,11,13}

Monomery používané v emulzní polymeraci musí splňovat podmínku omezené rozpustnosti ve vodě, musí tedy být nerozpustné nebo jen částečně rozpustné. Mezi hlavní monomery používané v emulzní polymeraci patří butadien, styren, akrylonitril, vinylacetát, kyselina akrylová, methylnmethakrylát. Z hlediska polaritы se monomery dělí do následujících skupin:¹³

- Monomery zcela ve vodě nerozpustné – styren, butadien, methakryláty a vyšší akryláty.
- Monomery, které jsou ve vodě částečně rozpustné, ale jejich polymery se ve vodě nerozpouští – akrylonitril, methylnmethakrylát.
- Monomery, které jsou ve vodě částečně rozpustné a jejich polymery jsou hydrofilní povahы – vinylacetát.
- Monomery, s dobrou rozpustností ve vodě, jejichž polymery a kopolymery se ve vodě rozpouští nebo v ní botnají – kyselina akrylová a methakrylová.

Jako disperzní médium se v emulzní polymeraci nejčastěji používá voda, ovšem mohou být použita i jiná média. Výhodou vody je její finanční nenáročnost a šetrnost k životnímu prostředí. Umožňuje vynikající přenos tepla a nízkou viskozitu vznikající polymerní disperze. Voda je také rozpouštědlem pro emulgátor, iniciátor a další přítomné složky.

Emulgátory jsou často také označovány jako povrchově aktivní látky, mýdla, dispergační činidla nebo detergenty. Jejich struktura je složena z hydrofobní skupiny

s dlouhým řetězcem a hlavní hydrofilní skupiny. Obvykle jsou klasifikovány podle povahy hlavní skupiny, která může být aniontová, kationtová nebo neiontová. Tyto látky mají mnoho důležitých funkcí. Snižují mezifázové napětí mezi monomerní a vodnou fází, takže při míchání je monomer dispergován ve vodné fázi. Díky emulgátorům se nad kritickou micelární koncentrací tvoří micely. Stabilizují rostoucí a konečné latexové částice.

Funkcí iniciátoru je tvořit volné radikály. Nejčastěji používanými ve vodě rozpustnými iniciátory jsou peroxodisírany. Kromě těchto sloučenin mohou být v emulzní polymeraci použity ještě dibenzoylperoxid a 2,2'-azo-bis(isobutyronitril). Volné radikály jsou běžně generovány dvěma hlavními způsoby: tepelným rozkladem nebo redoxní reakcí.

Mechanismus emulzní polymerace lze rozdělit na 3 fáze: nukleace částic, růst částic a dokončení polymerace uvnitř částic.

V průběhu vývoje a podrobného zkoumání vznikly dvě obecné teorie k výkladu a pochopení emulzní polymerace. Jednou z nich je model homogenní nukleace částic a druhou je micelární model nukleace částic. Je však předpokládáno, že se tyto dvě teorie nukleace částic vzájemně doplňují a tedy, že žádný model nukleace neprobíhá osamoceně.

1.2.2.1 Micelární model nukleace částic

Jako první předložil svou teorii emulzní polymerace Harkins¹⁷⁻¹⁹. Podle jeho teorie je polymerace zahájena uvnitř micel nasycených monomerem. Nicméně dnes je tato skutečnost velmi málo pravděpodobná a to především kvůli zápornému povrchovému náboji micel. Nyní se předpokládá, že uvnitř micely dochází k iniciaci oligomerním povrchově aktivním radikálem, který vzniká polymerací monomeru ve vodné fázi. Monomer je spotřebováván v průběhu polymerační reakce. Proto, aby byla zachována dynamická rovnováha, je monomer v podobě kapek dávkován do reakční směsi a difuzí vodnou fází je doplňován do micel. Emulgátor na povrchu rostoucích částic je dodáván z micel, ve kterých ještě neproběhla polymerace. Zvyšováním koncentrace emulgátoru se zvětšuje počet micel, tím pádem roste i počet vzniklých částic, avšak velikost výsledných částic se zmenšuje. Podstata Harkinsovy teorie spočívá ve skutečnosti, že kapky monomeru slouží jako zásobárny, ze kterých monomer difunduje do vodné fáze, odkud je pohlcován micelami a polymer – monomerními částicemi.

1.2.2.2 Model homogenní nukleace částic

Tento model mechanismu homogenní nukleace částic předložil Fitch²⁰⁻²². Jeho myšlenkou bylo, že když dochází k polymeraci monomerů rozpustných ve vodě, dojde v první fázi ke vzniku oligomerních volných radikálů taktéž rozpustných ve vodě (*z*-mery), ty dále rostou a až při dosažení kritické velikosti (*j*-mery) dojde k vysrážení primárních částic. *Z*-mery, které vznikají v další fázi polymerace, participují v polymeraci dvěma způsoby, v prvním případě rostou a vznikají z nich samostatné částice, v druhém případě jsou absorbovány stávajícími částicemi. Se vzrůstajícím obsahem částic v polymerním roztoku roste i pravděpodobnost, že dojde ke srážce oligomeru s částicí, až v závěru polymerace dojde k naprostému splynutí oligomerních částic s existujícími částicemi a k tvorbě nových částic už nedochází.

Z obou metod a současných představ vychází obecné shrnutí mechanismu emulzní polymerace:¹³

- K iniciační reakci dochází ve vodné fázi.
- Povrchově aktivní vodorozpustné oligomerní řetězce, na jejichž začátku je sulfátová skupina se chovají jako tenzidy.
- Pokračováním růstu oligomerů v micelách, překročením kritického polymeračního stupně a precipitací *j*-merů ve vodě dochází k nukleaci částic.
- Polymerací v polymerních částicích obsahujících monomer a absorpcí *z*-merů existujícími částicemi dochází k růstu částic.

1.3 Tvorba latexových filmů

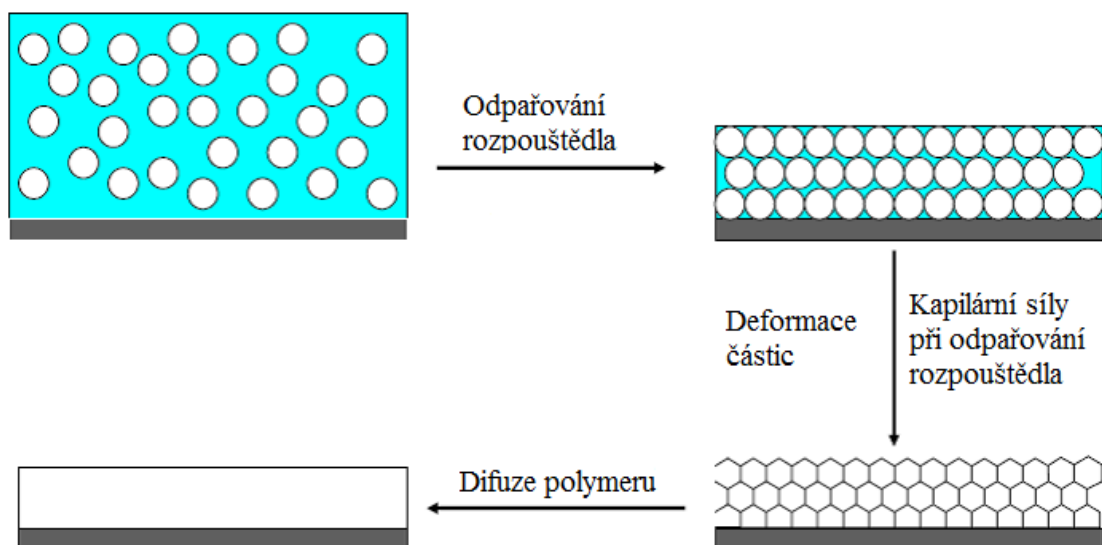
Aplikace vodou ředitelných latexových nátěrových hmot je v současné době běžná pro barvy a lepidla, protože jsou ekologicky šetrnější než ty, které obsahují organická rozpouštědla. V závislosti na složení latexu, použitých monomerech, rozpouštědle, povrchově aktivní látce, pak také teplotě, při které film schne, a rychlosti odpařování rozpouštědla jsou určovány vlastnosti daného nátěru. Tvorba filmu je zásadním technologickým procesem při aplikaci laků či barev. Z praktického hlediska nestačí pouze vytvořit film, daný film musí dokonale přilnout k substrátu a mít požadovanou pevnost.^{16,23,24}

Film vodou ředitelných nátěrových hmot vzniká trojím způsobem:

- Za působení fyzikálních procesů dochází ke tvorbě filmu bez jakéhokoliv přispění či působení chemických procesů. Dochází k odpaření vody a k vytvoření filmu koalescencí částic.²⁴
- Chemickou reakcí a současným působením fyzikálních procesů se vytvoří požadovaný film. Jako v předchozím případě dochází k odpaření vody a k vytvoření filmu, avšak těmto procesům předchází nebo současně probíhají chemické reakce vedoucí ke vzniku zesítěného filmu. Síťování je proces, při kterém se vytváří pevné kovalentní vazby mezi polymerními řetězci a výsledkem je trojrozměrná makromolekulární síť.^{25,26}

Velice důležitým faktorem k vytvoření latexového filmu je tzv. koalescence, která má za následek slinutí a soudržnost jednotlivých polymerních částic, které se běžně oddalují, což je dáno jejich elektrostatickými vlastnostmi. Vytvoření kontinuálního filmu, transparentního a bez jakýchkoliv trhlin, závisí na minimální filmotvorné teplotě latexového pojiva. Po desetiletí byla tvorba filmu široce studována, nicméně její proces není stále zcela pochopen. Podle zjednodušeného modelu je tvorba filmu shrnuta do 3 kroků:

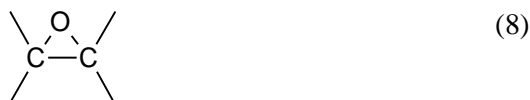
- Odpaření vody, čímž vzniká na substrátu vrstva shluklých polymerních částic.
- Deformace částic za vzniku kontinuálního filmu.
- Koalescence neboli proces, při kterém dochází ke slinování polymerních částic a interdifuzi polymerních řetězců.²⁶⁻²⁹



Obrázek 1 Schéma tvorby latexového filmu

1.4 Epoxidové pryskyřice v oboru nátěrových hmot

Epoxidové pryskyřice (EP) jsou důležitou skupinou polymerních materiálů. Jsou charakteristické tím, že v jejich struktuře je obsažena minimálně jedna epoxidová neboli oxiranová, skupina (8).

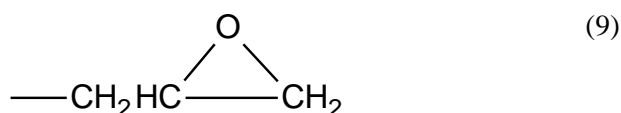


Oxiranová skupina vykazuje velkou reaktivitu s rozsáhlým počtem sloučenin, čehož se využívá k tvorbě zesíťovaných makromolekulárních produktů. Epoxidové pryskyřice mají v průmyslových aplikacích největší podíl zastoupení v oboru nátěrových hmot (více jak 50 %).

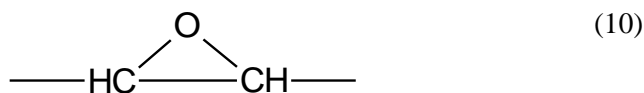
Jsou jednou z nejuniverzálnějších skupin polymerních látek s různými aplikacemi, kterými jsou například lepidla, zalévací a lisovací hmoty, lakařské pryskyřice a mnoho dalších. V průběhu vytvrzovacích reakcí nedochází k odštěpování žádných vedlejších produktů. Vytvrzené epoxidové pryskyřice vynikají svými vlastnostmi, především odolností vůči vodě, roztokům kyselin a zásad, mají skvělé elektroizolační vlastnosti a přilnavost k substrátům (kov, sklo, keramika i dřevo).

Epoxidové pryskyřice se obecně rozdělují do dvou skupin:

- Epoxidové pryskyřice, v jejichž struktuře je obsažena glycidyllová skupina (2,3-epoxypropyllová), připravená reakcí epichlorhydrinu s dalšími látkami (9).



- Epoxidové pryskyřice, v jejichž struktuře jsou obsaženy oxiranové skupiny, které byly připraveny epoxidací nenasycených sloučenin (10).

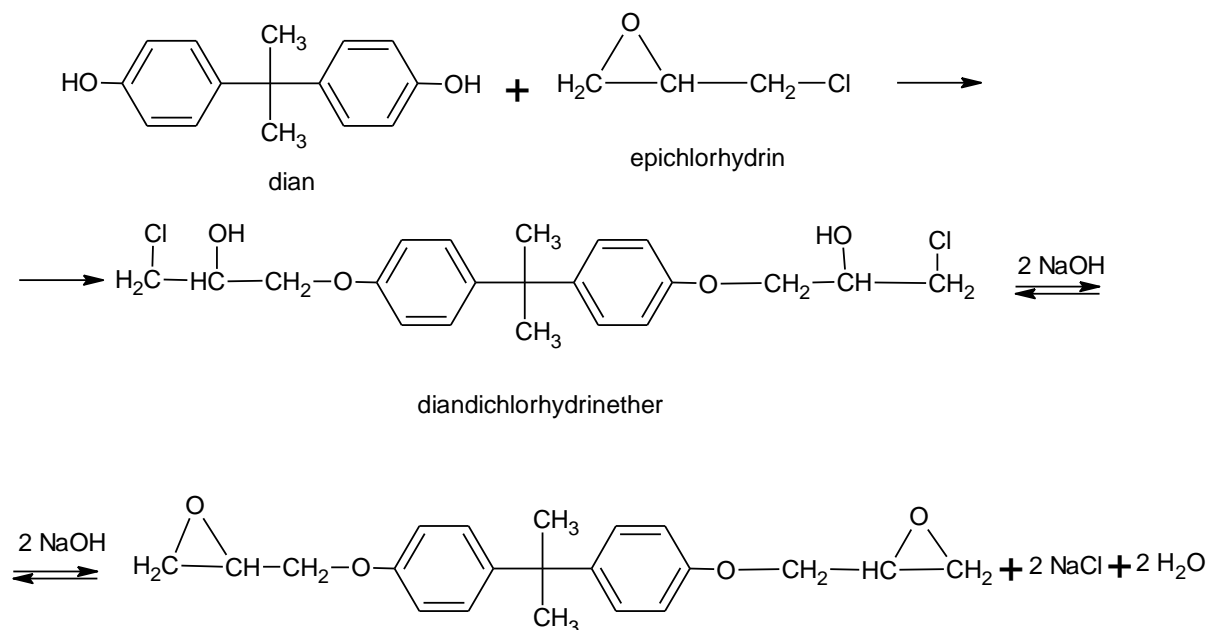


Komerční epoxidové pryskyřice obsahují alifatické, cykloalifatické nebo aromatické hlavní řetězce a pohybují se v širokém rozmezí molekulových hmotností, řádově od několika stovek až po desítky tisíc. Nejčastěji používané epoxidy jsou glycidyletherové deriváty Bisfenolu A. Jednou z předních výhod epoxidového kruhu je, že reaguje s celou řadou chemikálií a to za různých podmínek a teplot, což epoxidovým pryskyřicím dodává všestrannost.³⁰⁻³¹

1.4.1 Příprava epoxidových pryskyřic

Nejvíce rozšířené epoxidové pryskyřice se připravují alkalickou kondenzací epichlorhydrinu s bisfenolem A (neboli 2,2-bis(4-hydroxyfenyl)propanem). Tato reakce se skládá ze dvou hlavních reakcí.

Jako první krok probíhá adice epoxidové skupiny epichlorhydrinu na hydroxyl fenolické skupiny. Tento krok je alkalicky katalyzovaný. V dalším kroku se odštěpuje chlorovodík z chlorhydrinetherů a tím vzniká epoxidová skupina. Vzniklá epoxidová skupina pak může dále reagovat s hydroxylem fenolické skupiny dalšího dianu. Tímto krokem vznikají vysokomolekulární epoxidové pryskyřice. Do jisté míry se pomocí molárního poměru epichlorhydrinu a bisfenolu A dá regulovat molekulová hmotnost vznikající sloučeniny.³⁰



Obrázek 2 Průběh kondenzace dianu s epichlorhydrinem³⁰

1.4.2 Vlastnosti epoxidových pryskyřic

Běžné epoxidové pryskyřice jsou bezbarvé až světle žluté barvy. Jejich další výhodou je neomezená skladovatelnost při normální teplotě. Rozpustnost těchto pryskyřic je závislá na molekulové hmotnosti, nízkomolekulární typy se rozpouští v aromatických uhlovodících, středně a vysokomolekulární typy EP jsou rozpustné pouze v ketonech, esterech a ve směsi aromatických uhlovodíků s vyššími alkoholy.^{30,31}

1.4.3 Vytvrzování epoxidových pryskyřic

Vytvrzené epoxidové pryskyřice mají vynikající vlastnosti, proto se provádí jejich vytvrzování. Vytvrzování epoxidových pryskyřic se dělá pomocí sloučenin obsahujících reaktivní vodík podle mechanismů polyadičních reakcí nebo také pomocí polykondenzace hydroxylových skupin či iontovou polymerací skupin epoxidových. Nejvíce se však využívá polyaminů a anhydridů karboxylových kyselin.¹³

1.4.3.1 Epoxidové pryskyřice vytvrzené polyaminy

Alifatické primární a sekundární polyaminy vytvrzují epoxidové pryskyřice při běžných teplotách. Avšak pro vznik zesíťovaného produktu musí použitý amin ve své struktuře obsahovat minimálně 3 aktivní atomy vodíku. Za použití alifatických i cykloalifatických polyaminů dochází za normální teploty k velmi rychlému vytvrzení dané epoxidové pryskyřice. V praxi se nejčastěji používají diethylentriamin, triethyltetraamin, isoforondiamin a další polyaminy. Tyto polyaminy se používají především pro lepidla, tmely, nátěrové hmoty, lící podlahoviny a plastbetony. Potřebné množství aminového tvrdidla se vypočítá z následujícího vztahu (11):³⁰

$$\text{množství tvrdidla (\%, vztaženo na hmotnost EP)} = \frac{\text{aminový ekvivalent polyaminu}}{\text{epoxidový ekvivalent EP}} * 100 \quad (11)$$

1.4.3.2 Epoxidové pryskyřice vytvrzené anhydridy

Jednou z nejdůležitějších skupin tvrdidel epoxidových pryskyřic tvoří anhydridy polykarboxylových kyselin. Vytvrzování probíhá za zvýšených teplot (100-200 °C) po dobu i několika hodin. Používají se anhydridy za normální teploty tuhé i kapalné. Nejčastějšími zástupci tuhých anhydridů jsou ftalanhydrid, hexahydroftalanhydrid a tetrahydroftalanhydrid. Z kapalných anhydridů se velmi často používají anhydrid kyseliny dodecenylojantarové a eutektické směsi vhodných anhydridů. Epoxidové pryskyřice vytvrzené anhydridy se používají v elektrotechnice a jako práškové nátěrové hmoty.

1.4.4 Aplikace epoxidových pryskyřic

Epoxidové pryskyřice mají, zřejmě jako jedny z mála syntetických pryskyřic, nejširší škálu průmyslových aplikací. Komerčně dostupné epoxidové pryskyřice lze obecně rozdělit do dvou hlavních kategorií:

- Epoxidové konstrukční materiály
- Epoxidové nátěrové hmoty

Průmyslově se epoxidové pryskyřice využívají především v technologických oborech, kde nelze použít levnější alternativy. Nejčastěji se používají jako nátěrové hmoty v celé škále dvousložkových laků a barev, vypalovacích i práškových laků. Pro jejich vlastnosti se také často používají jako nátěry v potravinových zásobnících a cisternách. Široké uplatnění našly i v oblasti lepidel, například na kov, keramiku či skla a plasty. Díky skvělé přilnavosti ke kovům a dobrým mechanickým, tepelným a elektroizolačním vlastnostem se používají i v oblasti elektrotechniky a jako elektroizolační materiály. Moderní aplikací epoxidových pryskyřic je výroba matric kompozitních materiálů. Hlavní průmyslové využití mají jako termosety. Vytvrzené termosety jsou nerozpustné v celé řadě rozpouštědel a jsou velmi chemicky odolné. Pro snadnější zpracování se epoxidové pryskyřice často modifikují různými přísadami, kterými jsou například plniva, plastifikátory, stabilizátory a pigmenty.

Aromatické epoxidové pryskyřice však mají omezené použití v exteriérech. Toto omezení je dáno jejich špatnou odolností vůči ultrafialovému záření. Některé vysoce zesítené termosety jsou občas velmi křehké, proto se při přípravě mísí s pomocnými činidly a tvrdidly, které zvyšují jejich rázovou houževnatost.^{13,30,31}

1.4.5 Epoxidové pryskyřice jako pojiva nátěrových hmot

Epoxidové pryskyřice jako filmtvorná složka nátěrových hmot se prakticky nepoužívají samostatně, protože samy o sobě nemají filmtvorné vlastnosti. Při jejich zasychání se uplatňují pouze fyzikální děje a jejich nátěry jsou proto opětovně rozpustné. K vytvoření nerozpustného filmu daných vlastností je proto nutné molekuly EP síťovat.

Síťování neboli vytvrzování epoxidových nátěrových hmot může probíhat při běžných teplotách, ale v závislosti na použitém tvrdidle a typu epoxidové pryskyřice mohou být v některých případech vyžadovány i zvýšené teploty. Vytvrzené nátěry mají vysokou adhezi, pružnost, tvrdost, odolnost proti oděru, chemikáliím a korozi. Nicméně často se epoxidové nátěrové hmoty používají jako základní nátěry, protože při vystavení UV záření dochází k jejich žloutnutí.

Podle způsobu, jakým dochází k síťování epoxidových pryskyřic, se dělí epoxidové nátěrové hmoty do následujících skupin:³²

- Za studena tvrditelné dvousložkové nátěrové hmoty. V tomto případě tvoří většinou jednu složku roztok epoxidové pryskyřice o střední molekulové hmotnosti (1000-2000 g/mol) s malým množstvím močovinného nebo silikonového kondenzátu. Druhá složka je tvořena samotným tvrdidlem, v tomto případě nejčastěji polyaminem.
- Vypalovací nátěrové hmoty. Do této skupiny patří dva typy vypalovacích NH. První typ je tvořen epoxidovou pryskyřicí o vysoké molekulové hmotnosti (okolo 2000 g/mol) kombinací s 20 – 30% obsahem fenolické nebo močovinné pryskyřice. Druhou skupinu tvoří kondenzáty epoxidových pryskyřic s nevysychavými mastnými kyselinami spolu s močovinnými nebo melaminovými pryskyřicemi. Tato kombinace je obdobou nevysychavých alkydů.
- Na vzduchu zasychající nátěrové hmoty, což jsou roztoky tvořené směsí epoxidových esterů, kyselin vysychavých olejů s malým množstvím sikařů.

- Práškové epoxidové nátěrové hmoty. V tomto případě se k vytvrzování nejčastěji používají aromatické polyaminy nebo anhydridy kyselin. K vytvrzení dochází při teplotě vyšší než je teplota tání EP.
- Dvousložkové vodou ředitelné nátěrové hmoty, kdy je epoxidová pryskyřice stejně jako polyamin převedena do vodné emulze.
- Jednosložkové za studena tvrditelné nátěrové hmoty. V tomto případě se jako tvrdidlo používá ketimin, který při reakci se vzdušnou vlhkostí vytvoří reaktivní polyamin. Následně odštěpený keton se z nátěrového filmu odpaří.

Pro snadnou aplikaci a manipulaci těchto nátěrových hmot se v minulosti často používala rozpouštědla, avšak dnes, z ekonomických a především ekologických důvodů, se použití rozpouštědel jakožto těkavých organických látek velmi omezilo a dochází k vývoji systémů s vysokým podílem pevných látek bez rozpouštědel a především k rozvoji vodou ředitelných epoxidových nátěrových hmot.^{31,32,33}

1.4.5.1 Vodou ředitelné epoxidové nátěrové hmoty

Vodou ředitelné epoxidové nátěrové hmoty se z technologického hlediska rozdělují do dvou typů:

- Systémy typu I, které jsou založeny na kapalně epoxidové pryskyřici, kdy se jako vytvrzující činidlo a zároveň emulgátor pro epoxid používají aminy. Tyto aminy lze rozdělit do 3 skupin:
 - Amidoaminy, což jsou produkty kondenzační reakce mezi monomerními C₁₈ mastnými kyselinami a polyalkylenaminy
 - Polyamidy, které jsou také produkty kondenzační reakce, ale mezi dimerem C₃₆ mastných kyselin a polyalkylenaminy
 - Adukty aminů a epoxidových pryskyřic

Lze je připravit s velmi malým až téměř nulovým obsahem VOC, avšak relativně dlouhou dobu zasychají.

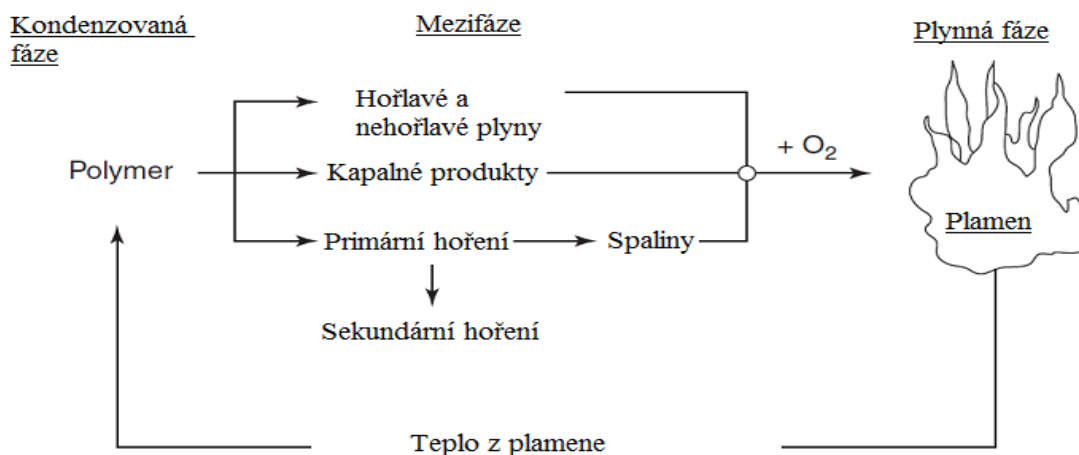
- Systémy typu II, které jsou modernější a používají pevné epoxidové pryskyřice, které jsou předem dispergované ve vodě a rozpouštědle. Tvrdidlo musí migrovat z vodné fáze do dispergované epoxidové pryskyřice, kde dojde k vytvrzovací reakci.

V nedávné době byly učiněny pokusy vytvrzovat ve vodě emulgované EP funkcionalizovanými latexy. Autoři Hegedus, Mercurio a Eslinger³⁴⁻³⁶ připravili dvousložkové pojivo, kdy jednou složkou byl akrylátový latex, který obsahoval karboxylovou funkční skupinu, druhou složkou byla epoxidová pryskyřice. Po smíchání obou složek došlo k reakci mezi karboxylovou a epoxidovou funkční skupinou. I když tato reakce probíhala při okolních podmínkách velmi pomalu, měl koncový film velmi dobré vlastnosti. Výsledný zesíťovaný povlak byl v závislosti na použitém latexu a EP tvrdý, měl dobrou chemickou odolnost, odolával vodě a oděru.^{33,34}

1.5 Hořlavost polymerních nátěrových filmů

Polymerní materiály a povlaky našly široké uplatnění v mnoha technologických oborech a staly se nedílnou součástí našeho každodenního života. Spotřeba plastů každým dnem roste, obklopují nás v domácnostech, komerčních prostředích i dopravě. S tímto trendem roste i riziko vzniku požáru. To potvrzuje i skutečnost, že nejčastěji používané plasty, které mají i nízké finanční náklady, vykazují největší hořlavost. V návaznosti na riziko vzniku požárů spojených s polymerními materiály bylo vypracováno několik studií jak snížit hořlavost těchto materiálů.

Proces hoření polymerních materiálů je velmi komplikovaný a často probíhá v několika stupních. Lze jej rozdělit na fyzikální a chemické procesy, které probíhají v každé fázi. Tyto fáze se často označují jako plynná, mezifáze a kondenzovaná fáze.



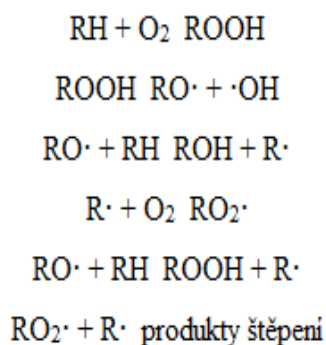
Obrázek 3 Schéma procesu hoření polymerů²⁵

Hoření polymerů je odlišné od hoření nízkomolekulárních látek. Působí-li žár na polymer, ten mění svůj tvar a dochází k jeho rozkladu a změně skupenského stavu. Produkty vzniklé rozkladem vzplanou a jejich spálením vzniká teplo, které iniciuje další pyrolýzu. Jednotlivá stádia hoření polymerních materiálů lze shrnout takto:

- Tepelná degradace
- Roztavení
- Zapálení
- Hoření

Tato stádia mohou být doprovázena sekundárními jevy, kterými jsou odkapávání taveniny, tvorba dýmu nebo toxických zplodin.

Proces hoření se nejčastěji popisuje reakcemi tvorby volných radikálů (Obr. 4). Termooxidační reakce probíhají v momentě, kdy teplo společně s kyslíkem působí na polymer.



Obrázek 4 Schéma tvorby volných radikálů při hoření

Míra hořlavosti plastů a polymerních povlaků závisí na jejich struktuře, povaze jejich stavební jednotky a na atomech, které jsou v polymeru obsaženy. Plyny a těžké látky jsou malé molekuly, které jsou poutány slabými sekundárními vazbami. Tyto těžké sloučeniny vytvářejí se vzduchem hořlavé směsi, které se snadno vznítí a hoří vysokou rychlostí. Disociační energie polymerních materiálů je velká, tudíž k jejich rozložení a hoření musí být dodána velká energie. Polymery nejlépe odolávající hoření jsou takové, které potřebují na vznik plynných produktů schopných pyrolýzy velké množství tepla a naopak při jejich oxidaci se uvolní tepla nejméně. Při studiu hořlavosti polymerních materiálů a povlaků bylo zjištěno, že ty materiály, které obsahují velký molární poměr uhlíku k vodíku, jsou mnohem více hořlavé než polymerní materiály, v jejichž struktuře je obsaženo aromatické jádro nebo prvky halogenů nebo fosfor, jimž se připisuje inhibiční účinek hořlavosti. Aromatická jádra v řetězci polymerního materiálu tvoří zuhelnatělé vrstvy, které slouží jako bariéry a chrání nezreagovaný polymer od tepla vzniklého plamenem.

K procesu hoření dochází pouze na povrchu polymeru, proto je plocha daného materiálu velmi rozhodující. Z toho vyplývá, že filmy a vlákna hoří mnohem lépe než totožné celistvé materiály.^{30,35-37}

1.5.1 Třídy hořlavosti

Podle normy ČSN 73 0823 se materiály obecně dělí podle hořlavosti do 2 základních skupin:

- Nehořlavé. Do této skupiny patří například kámen, břidlice, pískovec, žula, beton, cihly, sklo, minerální vlákna, tvárnice a mnoho dalších.
- Hořlavé. Hořlavé látky nebo materiály se ještě dále dělí do 4 následujících skupin:
 - Skupina B – nesnadno hořlavé materiály, kterými jsou například neměkčený PVC, polyesterový skelný laminát, desky z minerálních vláken.
 - Skupina C1 – obtížně hořlavé látky, které hoří pouze při působení zdroje hoření a po jeho odstranění dochází okamžitě k jejich uhašení. Do této skupiny patří například PVC foliová podlahovina Sloviplast VP-1 P, polyesterová podlahovina Fortit nebo dubové či bukové dřevo.
 - Skupina C2 – středně hořlavé materiály, jako jsou dřeva jehličnanů (dřevo smrkové či borovicové), pryžová podlahovina.
 - Skupina C3 – lehce hořlavé látky, kterými jsou například dřevotřískové laminátové desky, polyuretan, polystyren, polypropylen a polyethylen.³⁸

1.5.2 Hodnocení hořlavosti

Studium spalování a prostředků sloužících ke zpomalování neboli retardaci hoření vyžaduje znalosti týkající se tepelné degradace včetně pyrolýzy a tepelně-oxidačních procesů. Tyto procesy závisí na vlastnostech polymeru a polymerního filmu, které primárně určuje jejich struktura. Bez ohledu na aplikaci je důležité, aby metody hodnocení hořlavosti nebyly zatíženy systematickou chybou. Dále je také velice důležité, aby bylo možné získat reprodukovatelné výsledky z různých měření, které byly prováděné opakovatelně. Byla

vypracována celá řada metod zabývajících se hodnocením hořlavosti polymerních materiálů. V praxi je nejvíce užívána metoda stanovení kyslíkového čísla (ČSN 640756). Podstatou tohoto měření je stanovení limitní koncentrace kyslíku a dusíku ve směsi, při kterých lze ještě měřený vzorek zapálit. Čím nižší má materiál hodnotu kyslíkového čísla, tím je více hořlavý. Pohybuje-li se hodnota kyslíkového čísla pod hodnotou 26, pak je daný materiál zapalitelný. Tato metoda se používá pro hodnocení plastů, folií, vláken, pryží a mnoho dalších. Výsledky měření limitního kyslíkového čísla jsou často ovlivněny obsahem modifikátorů, změkčovadel, plastifikátorů, pigmentů a plniv.^{30,35,36}

Jako progresivní metodu stanovení hořlavosti polymerních nátěrových filmů lze využít kónickou kalorimetrii. Již velmi dlouhou dobu je užitečným nástrojem kvantitativní analýzy hořlavosti daného materiálu. Reprezentuje test hořlavosti polymerních výrobků, při kterém jsou simulované skutečné podmínky požáru. Pomocí kónického kalorimetru se při analýze daného materiálu získávají tyto parametry: rychlost uvolňování tepla, doba vzplanutí, celkové uvolňování tepla a hmotnostní ztráty proměřovaného vzorku, množství vzniklého kouře a množství uvolněného CO/CO₂.^{39,40}

V kónickém kalorimetru je horizontálně připevněn kónický zářič s regulovatelným tokem sálavého tepla. Vzorky, jejichž rozměr je přesně definován (100 x 100 x 50 mm) se vkládají do speciálního držáku, který je umístěn pod zářičem na vahách. Plynné zplodiny hoření jsou odsávány potrubím, které obsahuje sazový filtr a vymrazovač vodní vlhkosti. Vzniklé zplodiny jsou analyzovány ke stanovení obsahu O₂, CO, CO₂. Na výtlačném potrubí ventilátoru je měřena teplota spalin a tlakový rozdíl na cloně. Zkoumaný vzorek je spalován elektrickou jiskrou. Všechna analyzovaná data jsou automaticky přenášena a ukládána.⁴¹

1.5.3 Možnosti snížení hořlavosti

Hořlavost polymerních materiálů či povlaků se obvykle snižuje pomocí fyzikálních i chemických mechanismů: přidáváním nehořlavých materiálů, retardérů hoření nebo inhibicí oxidačních reakcí v plynné fázi zachycováním vzniklých volných radikálů. Často se používá kombinace výše uvedených metod. Největší oblibu si však v posledních době získaly retardéry hoření-neboli látky zmenšující nebo úplně zabraňující hoření. Kromě inhibice hoření musí ještě retardéry splňovat další podmínky, především by měly být minimálně toxické pro člověka i pro životní prostředí.³⁰

1.5.3.1 Mechanismus retardace hoření

Jak již bylo zmíněno, retardéry hoření slouží především ke snížení hořlavosti fyzikální či chemickou cestou, mnohem častěji se využívá kombinace obou metod. Pomocí chemické reakce snižují rychlost hoření nebo mohou zvýšit množství vznikající méně hořlavé látky, která slouží k ochraně materiálu. Dále můžou ovlivněním procesu pyrolýzy zabránit přístupu kyslíku či tepla k ohnisku hoření a tím snižovat hořlavost.

Ovlivnění pyrolýzy

Při procesu pyrolýzy dochází ke štěpení organických sloučenin, které reagují s kyslíkem a při jejich hoření dochází k uvolňování plynných látek. Vedlejším produktem spalování je vznikající popel, který jako nehořlavá bariéra ochraňuje nevznícený materiál. V tomto případě mohou retardéry působit proti štěpení organických sloučenin a snižovat vznik hořlavých zplodin. Tímto mechanismem fungují retardéry, v jejichž struktuře je obsažen fosfor.

Reakce v plameni

Halogenované, především bromované retardéry při zahřátí uvolňují dehydrogenací plynný bromovodík nebo odštěpují volný radikál bromidu. Tyto volné radikály reagují s radikály v plameni (reakcí kyslíku s volným radikálem vodíku vzniká při procesu hoření hydroxylový radikál). Tímto postupem vzniká spečená vrstva polymeru a je potlačen vznik těkavých hořlavých zplodin.^{30,35,36}

1.5.4 Členění retardérů hoření

Nejčastěji se retardéry hoření dělí podle jejich účinku do dvou základních kategorií:

- Aditivní retardéry, které se přidávají k polymernímu materiálu během procesu polymerace. S daným polymerem nereagují, takže jejich účinek retardace hoření je čistě fyzikální. Patří sem minerální pojiva, hydroxidy nebo organické sloučeniny.
- Reaktivní retardéry, které jsou přidávány už během syntézy jako monomery nebo prekurzory polymerů, takže jsou obsaženy v řetězci daného polymeru.

Z praktického hlediska se retardéry hoření ještě dále zařazují podle složení do dalších kategorií:

➤ Anorganické (minerální) retardéry hoření

Minerální látky našly uplatnění jako retardéry hoření především kvůli jejich chování za vysokých teplot. Nejvíce se používají hydroxidy kovů, především hořčíku a hliníku, dále zinečnaté uhličitany a boritany. K retardačnímu účinku v jejich případě dochází fyzikální cestou, uvolňují nehořlavé plyny (H_2O , CO_2 , SO_2), které zmenšují koncentraci hořlavých plynů. Občas dochází k vytvoření keramické nebo skleněné vrstvy, která slouží jako nehořlavá bariéra.

➤ Halogenované retardéry hoření

V závislosti na obsaženém halogenu se mění retardační účinek těchto sloučenin. Retardéry obsahující fluor a jod se nepoužívají, protože hoření nezabraňují. Fluor je velmi silně vázán na uhlíkový atom, proto jsou jeho směsi více teplotně stabilní než většina polymerů a navíc neuvolňují halogenový radikál. Jod je velmi slabě vázán na uhlíkový atom, uvolňuje halogenovaný radikál, ještě než dojde k rozkladu polymeru, tudíž sloučeniny obsahující jod jsou méně teplotně stálé. Halogenované retardéry jsou sice levné, ale nesplňují podmínku minimální toxicity, navíc jsou biologicky neodbouratelné.⁴²⁻⁴⁴

➤ Retardéry hoření obsahující ve své struktuře fosfor

Rozpětí fosforovaných retardérů je velice široké. Jedná se o nejčastěji používané retardéry hoření. Splňují toxikologická kritéria a biologicky jsou zcela odbouratelné. Lze je použít jako aditivní i reaktivní retardéry. Jejich nevýhodou je, že se občas vylučují na povrchu výrobku, světlem se rozkládají a snižují odolnost polymerních materiálů vůči vodě. Škála těchto retardérů je značně široká včetně fosfátů $(\text{RO})_3\text{PO}$, fosfitů $(\text{RO})_3\text{P}$, fosfinů R_3P , fosfinoxidů R_3PO , červeného fosforu a fosfazenů.^{37,46}

➤ Dusíkaté retardéry hoření

Dusíkatým retardérem je melamin, který má vysoký bod tání a obsah dusíků ve své struktuře. Při vysoké teplotě dochází k jeho sublimaci, tudíž spotřebovává velké množství energie a tím dochází ke snížení teploty. Navíc při vysokých teplotách uvolňuje čpavek, který snižuje koncentraci kyslíku a hořlavých plynů.

➤ Křemíkaté retardéry hoření

Polymerní materiály, které obsahují křemík, jsou méně hořlavé. Do této skupiny patří například silikony, které mají vynikající tepelnou stálost a odolnost proti žáru. Během tepelného rozkladu uvolňují minimální množství toxických plynů. Mohou se používat jako aditivní retardéry nebo se mohou být naroubované na polymerní řetězec.⁴²

➤ Retardéry hoření na bázi nanočástic

Polymerní matrice, ve kterých jsou rozptýlené nanočástice (nanojíly, uhlíková nanoplniva, křemenné nanometrické částice), vykazují lepší mechanickou i tepelnou odolnost proti ohni. V závislosti na chemické struktuře polymerního materiálu je do polymerní matrice zpravidla zabudováno malé množství nanočástic (řádově několik procent).^{46,47}

➤ Retardéry hoření vytvářející pěny

V tomto případě je v polymeru obsažena směs nadouvadec, monosacharidů nebo polysacharidů s katalyzátorem. Dojde-li ke zvýšení teploty, směs se začne rozkládat, vytvářet na povrchu materiálu pěnovou uhlíkatou vrstvu, která slouží jako ohnivzdorná bariéra a chrání materiál do doby, než dojde k její mechanické či tepelné destrukci.⁴⁷

1.5.5 Požadavky na retardéry hoření

Retardéry hoření by měly být minimálně toxické a dále by měly splňovat některé požadavky a to především:

- Retardér musí být účinný v malých koncentracích a rozsah jeho použití musí být široký.
- Retardér se musí s polymerem dobře snášet a musí se v něm dobře rozpouštět či dispegovat.
- Retardér nesmí měnit vlastnosti polymeru.
- Retardér musí být ekonomicky výhodný.

V praxi se používají pro individuální polymer zpravidla různé druhy retardérů, protože žádný z retardérů nesplňuje všechny zmíněné požadavky.³⁷

1.5.6 Fosfazeny

Za posledních 40 let byly fosfazeny široce studovány. Výzkum se zaměřoval na přípravu a charakterizaci lineárních i cyklických fosfazenů. Fosfazeny jsou jednou z nejrozsáhlejších skupin lineárních a heterocyklických sloučenin s velkou škálou průmyslových aplikací jako retardéry hoření, v oblasti dobíjecích lithiových baterií, biomedicinských materiálů a mnoha dalších. Jsou jedněmi z nejvýznamnějších zástupců dusíkofosforečných sloučenin, v jejichž struktuře se opakuje vazba P–N. Obecný vzorec fosfazenu je $(R_2P=N)_n$. V jejich struktuře je obsažen anorganický hlavní řetězec tvořený atomy dusíku a fosforu a dvě boční skupiny (R), jako jsou například alkoxy-, aryloxy-, alkyl-, aryl-, amino-, halogeno- a karbonylové skupiny, které jsou připojeny ke každému atomu fosforu. Prostřednictvím bočních skupin mohou být připraveny fosfazeny přímo na míru tak, aby splňovaly různé požadavky na funkčnost celé molekuly. Navázané substituenty na atomech fosforu velice ovlivňují výsledné vlastnosti sloučeniny fosfazenu.

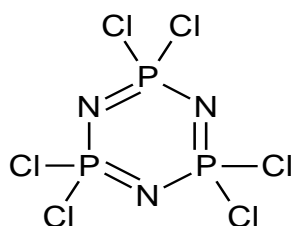
Podle typu řetězce lze fosfazeny rozdělit na lineární a cyklické nebo je lze rozdělit podle počtu skupin P-N v jejich struktuře:

- Lineární:
 - Monofosfazeny s obecným vzorcem $(X_3P=NR)$.

- Difosfazeny s obecným vzorcem $(X_3P=N-P(O)X_2)$ nebo lépe pomocí rezonanční formy zápisu $[X_3P=N-PX_3]^+ [PX_6]^-$.
- Polyfosfazeny, jejichž řetězce bývají složeny z 5 000 – 15 000 monomerních jednotek a jejich relativní molekulová hmotnost se pohybuje okolo 4 000 000. Strukturou jsou blízké silikonům.

➤ **Cyklické:**

- Nejvýznamnějšími zástupci jsou chloro-*cyklo*-fosfazeny a to především hexachloro-*cyklo*-trifosfazen $P_3N_3Cl_6$ (Obr. 5).⁴⁸⁻⁵¹



Obrázek 5 Obecný vzorec hexochloro-*cyklo*-trifosfazenu

1.5.6.1 Využití fosfazenu

Fosfazeny se pro své vlastnosti v posledních letech staly velmi oblíbenými sloučeninami a našly uplatnění v mnoha průmyslových odvětvích, zemědělství i lékařství. Jelikož ve své struktuře obsahují velké množství fosforu a dusíku, používají se fosfazeny v malé míře jako hnojiva, insekticidy, herbicidy a také jako pesticidy (především na hubení komárů, mšic, mouchy domácí a myši).

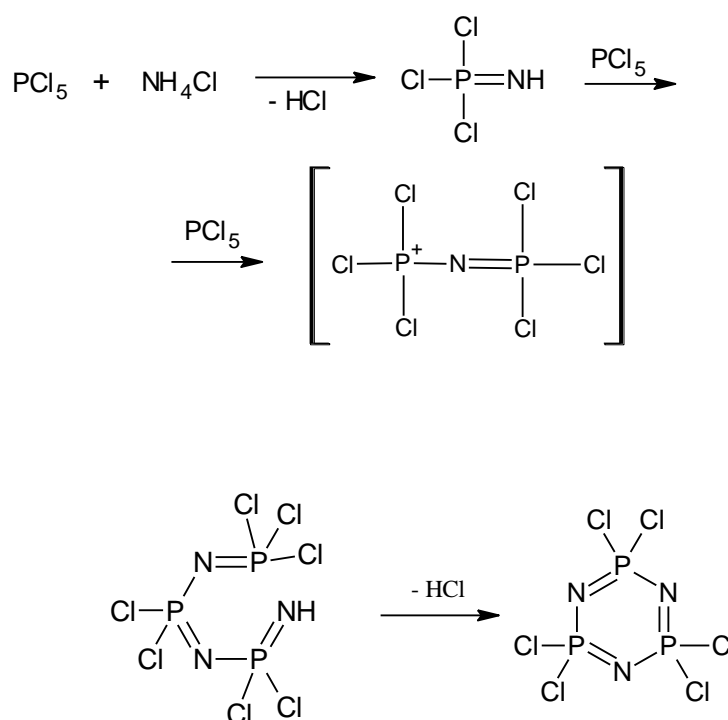
V medicíně se fosfazeny využívají jako nosiče léčiv. Vhodně substituované fosfazeny mají speciální aplikace. Například fosfazeny obsahující navázaný aziridin vykazují protinádorové vlastnosti a jsou mutagenní. Některé se používají jako léčiva trávicího traktu.

Patrně nejširší uplatnění fosfazeny našly v průmyslu. V textilním průmyslu se používají jako impregnační činidla přírodních či syntetických vláken, protože snižují jejich hořlavost a zvyšují jejich užitné vlastnosti. Používají se jako katalyzátory, aktivátory a stabilizátory a především jako retardéry hoření v polymerních sloučeninách. V mazadlech a olejích působí proti jejich stárnutí. Uplatňují se i při přípravě a výrobě lithiových baterií a akumulátorů.^{48,50,51}

1.5.6.2 Významné deriváty fosfazenů

Hexachloro-cyklo-trifosfazen (HCCT) je nejčastěji používaná sloučenina z kategorie cyklických fosfazenů. Jeho obliba je především díky jeho snadné dostupnosti a také tím, že slouží jako výchozí látka pro syntézy ostatních organických i anorganických substitučních derivátů fosfazenů. Atomy chloru, které jsou navázané na fosforech, se snadno substituují za jiné funkční skupiny. HCCT je bílá krystalická s bodem tání 113–115 °C. Dobře se rozpouští v nepolárních nebo málo polárních rozpouštědlech. Pokud jsou ve struktuře HCCT všechny atomy chloru nahrazeny různými substituenty, je na vzduchu relativně stálý a nepohlcuje vzdušnou vlhkost. Jsou-li však v jeho struktuře přítomné některé atomy chloru, je na vzduchu nestálý, rozkládá se a je proto nutné pracovat v inertní atmosféře.^{47,49}

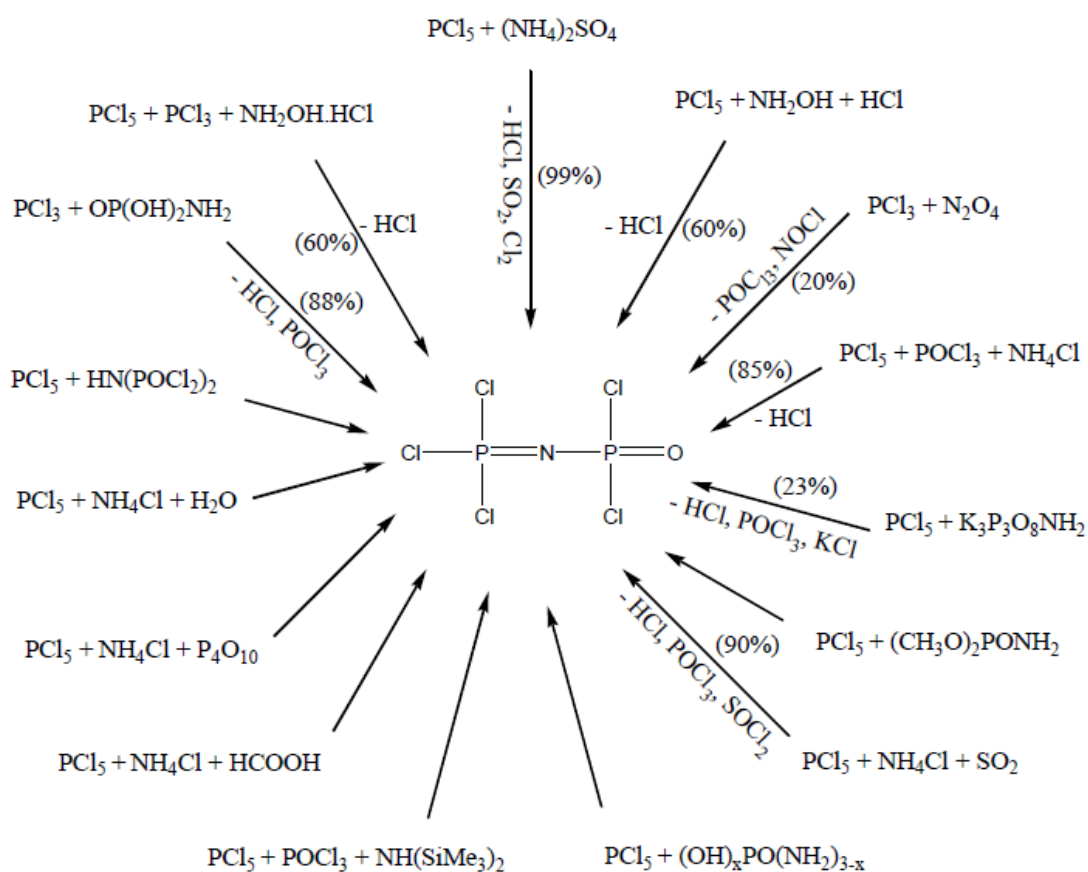
Syntéza hexachloro-cyklo-trifosfazenu začíná nejprve samotnou přípravou monofosfazenu. Ten se připravuje reakcí chloridu fosforečného (PCl_5) s chloridem amonným (NH_4Cl). Takto připravený monofosfazen je lineárně polymerován a následně se připravený lineární fosfazen cyklizuje. Výsledným produktem je cyklický chlorfosfazen (Obr 6).⁴⁹



Obrázek 6 Schéma přípravy hexachloro-cyklo-trifosfazenu

Trichlorofosfazo-N-fosforyldichlorid s obecným vzorcem $\text{Cl}_3\text{PNP}(\text{O})\text{Cl}_2$ je jedním z nejjednodušších lineárních kyslíkatých chlorofosfazenů. Je to bílá krystalická látka, která snadno hydrolyzuje.

Bylo vyvinuto a zkoumáno mnoho způsobů syntéz trichlorofosfazo-N-fosforyldichloridu, avšak nejvíce používanou metodou je v současné době reakce chloridu fosforitého, respektive chloridu fosforečného s amonnou solí. Na následujícím obrázku (Obr. 7) jsou znázorněny další často využívané metody vedoucí k vysokým výtěžkům $\text{Cl}_3\text{PNP}(\text{O})\text{Cl}_2$. Trichlorofosfazo-N-fosforyldichlorid našel uplatnění jako přísada do olejů, mazadel, plastických hmot a benzínu.



Obrázek 7 Možnosti přípravy Trichlorofosfazo-N-fosforyldichlorid

V současnosti je věnována velká pozornost vysokomolekulárním organofosfazenům, kterých bylo syntetizováno a charakterizováno více než 700 druhů. Jedním z nejjednodušších polymerních fosfazenů je *poly(dichlorofosfazen)*. Poly(dichlorofosfazen),

jehož obecný vzorec má podobu $(\text{NPCl}_2)_n$, je bezbarvý elastický polymer, který se často nazývá „anorganický kaučuk“. Rozpouští se v organických rozpouštědlech, například v tetrahydrofuranu, dioxanu, benzenu a dalších. Při pokojové teplotě se vyskytuje v amorfni podobě a za nízkých teplot je krystalický. Je relativně nestálý vůči hydrolyze, kdy v silně kyselém i zásaditém prostředí může hydrolyzovat na amoniak a kyselinu fosforečnou. Dobře odolává oxidačním činidlům. Do teplot 300–350 °C je tepelně stálý, nad touto teplotou pak probíhá jeho depolymerace. Slouží jako prekurzor pro řadu substitučních modifikací.⁵²⁻⁵⁴

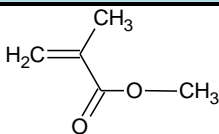
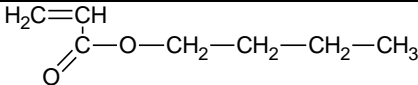
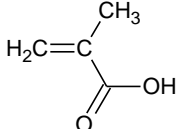
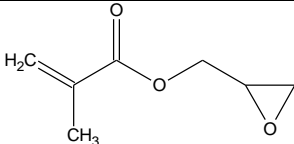
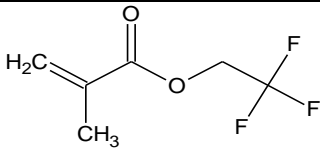
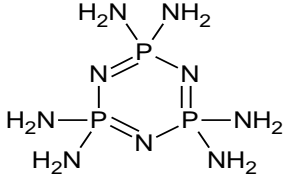
2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

2.1 Přehled použitých chemikálií

2.1.1 Monomery

Při syntéze latexů byly použity následující monomery: methylmethakrylát, *n*-butylakrylát, kyselina methakrylová, glycidylmethakrylát, 2,2,2-trifluorethylmethakrylát, hexaamino-cyklo-trifosfazen. Použité monomery jsou charakterizovány v tabulkách 1 a 2.

Tabulka 1 Zkratky a chemické vzorce monomerů

Monomer	Zkratka	Chemický vzorec
Methylmethakrylát	MMA	
<i>n</i> -Butylakrylát	BA	
Kyselina methakrylová	KMA	
Glycidylmethakrylát	GMA	
2,2,2-Trifluorethylmetfakrylát	TFEMA	
Hexaamino-cyklo-trifosfazen	HACF	

Tabulka 2 Charakteristika monomerů

Monomer	Bod varu [°C]	M [g/mol]	Index lomu	Hustota [g/cm ³]	Výrobce
MMA	98-100	100,1	1,414	0,943	Sigma Aldrich,Co.
BA	117-120	128,2	1,410	0,883	Sigma Aldrich,Co.
KMA	162-163	86,1	1,402	1,018	Sigma Aldrich,Co.
GMA	189	142,15	1,449	1,042	Sigma Aldrich,Co.
TFEMA	59	168,11	1,361	1,181	Sigma Aldrich,Co.

2.1.2 Emulgátor

Disponil FES 993

- anionaktivní tenzid na bázi sodné soli alkylarylpolyethylenglykoether (C₁₂ – C₁₄)sulfátu
- hustota: 1,1 g/cm³
- pH: 7 – 8,5
- obsah netěkavých složek: 29 – 31 %
- výrobce: BASF Inc.

2.1.3 Iniciátor

Peroxodisíran amonný (NH₄)₂S₂O₈

- molární hmotnost: 228,18 g/mol
- hustota: 1,98 g/cm³
- teplota rozkladu: 120 °C
- výrobce: Lach-Ner

2.1.4 Retárdér hoření

Hexaamino-cyklo-trifosfazen (HACF)

- molární hmotnost: 231,077 g/mol
- vzorek byl připraven a charakterizován v laboratořích Masarykovy univerzity

2.1.5 Vodná epoxidová disperze

CHS EPOXY 200 V55 = vodou ředitelná disperze nízkomolekulární epoxidové pryskyřice (EP)

- viskozita (25 °C): 0,1 – 0,7 Pa.s
- obsah netěkavých složek: 54 %
- barva: bílá
- výrobce: Spolchemie

2.1.6 Ostatní chemikálie

- methylethylketon (MEK), kyselina sírová, hydroxid sodný, aceton, ethanol, amoniak
- hydrogenuhličitan sodný (NaHCO₃)
- N,N'-dimethylethanolamin
- tetrahydrofuran (THF)

2.2 Postup syntézy latexů

Byly připraveny 2 řady latexů dvoukrokovou syntézou pomocí techniky semi-kontinuální emulzní polymerace. Do reakční nádoby byla předložena destilovaná voda s emulgátorem podle Tabulky 3. Bylo zapnuto míchadlo a přívod inertního plynu (N₂). Reaktor byl vyhřát na 85°C.

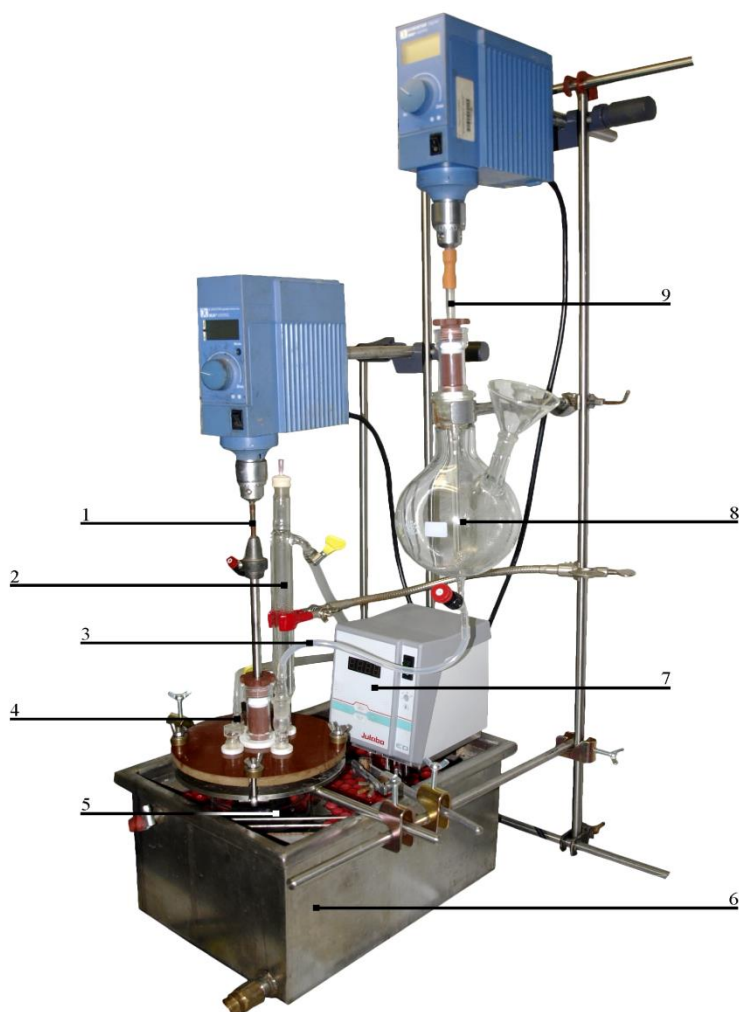
Do emulgační baňky byla předložena destilovaná voda, roztok iniciátoru (NH₄)₂S₂O₈, emulgátor Disponil FES 993 a monomery I (podle tabulek 3-5). Mícháním byla vytvořena emulze monomerů. Po ustálení teploty v reakční nádobě na 85°C a zhomogenizování emulze v emulgační baňce byl přidán do reakční nádoby iniciátor a za stálého míchání bylo do reakční směsi po dobu 60 minut přikapávána emulze monomerů I. Po skončení přikapávání byla po dobu 15 minut udržována teplota reakční směsi na 85 °C. Poté byl odebrán vzorek na stanovení velikosti částic (DLS).

V emulgační baňce byla vytvořena emulze monomerů II, která byla poté přikapávána do reakční směsi. Doba přikapávání byla 60 minut. Po skončení přikapávání emulze monomerů byla teplota reakční směsi udržována po dobu 120 minut na 85 °C. Vzniklý latex

byl za neustálého míchání v reakční nádobě pod inertní atmosférou ochlazen na 25 °C, přefiltrován a uložen v PE lahvi.

Připravený latex byl zneutralizován pomocí 20% vodného roztoku N,N-dimethylethanolaminu na pH 8,4 až 8,5. U zneutralizovaného latexu byla znovu stanovena viskozita.

Teoretický obsah sušiny latexů byl 42,4%.



Obrázek 8 Aparatura pro emulzní polymeraci: 1 - míchadlo, 2 - zpětný chladič, 3 – přívod monomerů, 4 - přívod inertního plynu (N₂), 5 - polymerační reaktor, 6 - vodní lázeň, 7 - termostat, 8 - emulgační baňka, 9 – rychloběžné míchadlo.

Tabulka 3 Složení polymeračního systému

Násada do reaktoru		[g]
Voda		32
Disponil FES 993		0,25
NaHCO ₃		1,1
roztok peroxodisíranu amonného (0,2 g (NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ + v 7,5 ml vody)		7,7
Emulze monomerů I		[g]
Voda		30
Disponil FES 993		3,7
NaHCO ₃		1,1
Monomery		50
roztok peroxodisíranu amonného (0,2 g (NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ + v 7,5 ml vody)		7,7
Emulze monomerů II		[g]
Voda		50
Disponil FES 993		3,7
NaHCO ₃		1,1
Monomery		50
roztok peroxodisíranu amonného (0,2 g (NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ + v 7,5 ml vody)		7,7

Tabulka 4 Složení násady monomerů I a II 1. řady latexů

Monomer	Monomery I [g]				Monomery II [g]			
	MM1	MM2	MM3	MM4	MM1	MM2	MM3	MM4
MMA	23	23	23	23	18	18	18	18
BA	26	26	26	26	26	26	26	26
KMA	1	1	1	1	1	1	1	1
GMA	-	-	-	-	5	5	5	5
HACF	-	-	-	-	-	0,25	0,75	1,5

Tabulka 5 Složení násady monomerů I a II 2. řady latexů

Monomer	Monomery I [g]				Monomer II [g]			
	MM5	MM6	MM7	MM8	MM5	MM6	MM7	MM8
TFEMA	29	29	29	29	23	23	23	23
BA	20	20	20	20	21	21	21	21
KMA	1	1	1	1	1	1	1	1
GMA	-	-	-	-	5	5	5	5
HACF	-	-	-	-	-	0,25	0,75	1,5

2.3 Charakterizace latexů

Latexy připravené podle výše popsaného způsobu, obsahující ve své struktuře různé množství HACF zabudované podle schématu znázorněného na Obrázku 9, byly charakterizovány pomocí těchto stanovení:

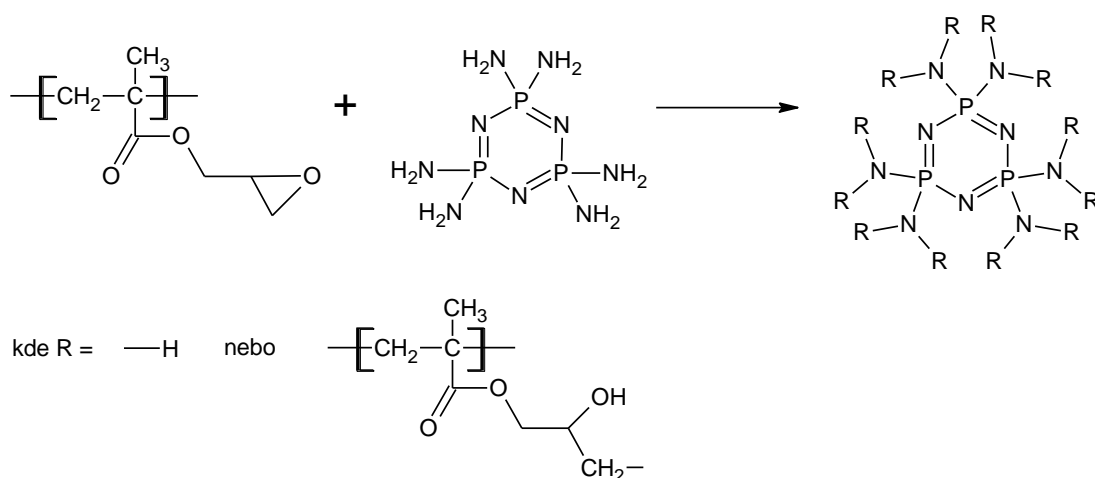
- obsahu sušiny,
- hodnoty pH,
- obsahu koagulátu,
- zdánlivé viskozity podle Brookfielda,
- velikosti částic pomocí dynamického rozptylu světla (DLS).

U zneutralizovaných latexů byla stanovena:

- viskozita,
- minimální filmotvorná teplota (MFT).

Připravené latexy byly odlity do silikonových forem a nechány vysychat při laboratorní teplotě a následně ve vakuové sušárně při teplotě 25 °C do konstantní hmotnosti. Vysušený odlitek emulzního polymeru byl vyjmut ze silikonové formy a byly charakterizovány následující vlastnosti:

- extrahovatelný podíl (obsah solů) pomocí extrakce v THF,
- obsah fosforu metodou ICP-OES,
- teplota skelného přechodu (T_g),
- hořlavost pomocí kónického kalorimetru.



Obrázek 9 Schéma reakce HACF se strukturálními jednotkami GMA

2.4 Zvolení vhodného poměru latex vs. vodná epoxidová disperze

Byly zhotoveny směsi založené na dvousložkovém nátěrovém systému sestávajícího z amino-funkcionalizované disperze latexu nesoucího retardér hoření a komerční vodné disperze epoxidové pryskyřice CHS Epoxy 200 V55. Pro latexy 1. řady MM2, MM3, MM4 a latexy 2. řady MM6, MM7, MM8 byly vytvořeny směsi latex : epoxidová pryskyřice v hmotnostních poměrech 1:0; 1:0,05; 1:0,1; 1:0,15; 1:0,2; 1:0,25; 1:0,3; 1:0,35; 1:0,4 (9 typů směsí). Bylo vycházeno z 10 g latexu. Každá směs byla odstředěna v odstředivce při 2 000 ot/min. Pomocí nanášecího pravítka s velikostí štěrbin 120 µm byly zhotoveny nátěry na skleněné a ocelové podložky. Nátěry byly ponechány vysychat při teplotě 25 °C po dobu 30 dní. Zbytek směsi byl odlit do silikonové formy.

U nátěrů na skleněné podložce byly stanoveny tyto vlastnosti:

- tvrdost dle Persoze,
- adheze mřížkovou zkouškou,
- odolnost vůči působení MEK,
- vzhled.

U nátěrů na ocelové podložce byla stanovena:

- odolnost vůči hloubení,
- adheze mřížkovou zkouškou,
- tloušťka.

U vysušených odlitků emulzního polymeru byl stanoven:

- extrahovatelný podíl (obsah solu) pomocí extrakce v THF.

Pro každý typ latexu byl vybrán optimální poměr latex : epoxidová pryskyřice a poté byly z této formulace zhotoveny další nátěrové filmy na skleněných a ocelových položkách. Bylo použito nanášecí pravítka s velikostí štěrbin 120 µm. Nátěry byly ponechány zasychat při laboratorní teplotě po dobu 30 dní. Byla u nich změřena:

Na skleněných podložkách:

- tvrdost dle Persoze po 1, 2, 3, 7 a 30 dnech,
- lesk,
- vzhled,
- tvrdost tužkami,
- adheze mřížkovou metodou,
- odtrhová zkouška přilnavosti,
- odolnost vůči působení MEK,
- odolnost vůči kapalinám.

Na ocelových podložkách:

- odolnost vůči hloubení,
- adheze mřížkovou zkouškou,
- tloušťka,
- pád,
- lesk,
- odtrhová zkouška přilnavosti.

U vysušených odlítků emulzního polymeru:

- extrahovatelný podíl (obsah solu) pomocí extrakce v THF,
- hořlavost pomocí kónického kalorimetru.

2.5 Využití fosfazenu jako nízkomolekulárního tvrdidla funkcionalizovaných latexů s glycidyllovými skupinami

Do latexů MM1 a MM5 bylo přidáno množství $P_3N_3(NH_2)_6$ ve formě 10% vodného roztoku v molárním poměru GMA a fosfazen 12:1; 6:1; 2:1; 1:1. Síťování probíhá podle mechanismu zobrazeného na Obrázku 9. Bylo vycházeno ze 40 g latexu. Pomocí nanášecího pravítka s velikostí štěrbin 120 μm byly zhotoveny paralelně 2 řady nátěrů, na skleněné i ocelové podložky od každé řady. Zbylá směs byla odlita do silikonových forem.

Stejným způsobem byly zhotoveny nátěry z latexů MM1 a MM5 bez přídavku $P_3N_3(NH_2)_6$.

U nátěrů na skleněné podložce byly stanoveny následující charakteristiky:

- tvrdost dle Persoze po 1, 2, 3, 7 a 30 dnech,
- adheze mřížkovou metodou,
- odolnost vůči působení MEK,
- vzhled,
- odtrhová zkouška přilnavosti
- odolnost vůči kapalinám.

U nátěrů na ocelové podložce byly stanoveny:

- odolnost vůči hloubení,
- odtrhová zkouška přilnavosti,
- adheze mřížkovou metodou,
- lesk
- pád
- tloušťka.

U vysušených odlitků emulzního polymeru bylo stanoveno:

- extrahovatelný podíl (obsah solu) pomocí extrakce v THF,
- hořlavost pomocí kónického kalorimetru,
- obsah fosforu metodou ICP-OES.

2.6 Použité metody

2.6.1 Stanovení obsahu sušiny

Obsah sušiny byl stanoven v souladu s normou ČSN EN ISO 3251. Stanovuje se hmotnostní obsah netěkavých složek v náteřových hmotách, pryskyřicích či roztocích pryskyřic. Do čisté a vysušené Petriho misky byl navážen $1 \text{ g} \pm 0,2 \text{ g}$ vzorku. Miska byla vložena do předem vyhřáté sušárny s nucenou cirkulací vzduchu na $105 \text{ }^\circ\text{C}$. Po 60 minutách byla miska vyndána ze sušárny a vložena do exsikátoru, kde byla ponechána vychladnout na teplotu okolí. Potom byla miska zvážena s přesností 1 mg. Stanovení bylo provedeno 3x. Obsah sušiny byl vypočítán podle vzorce (12):

$$S = \frac{m_1}{m_0} \cdot 100 \quad (12)$$

S – obsah sušiny [%]

m_0 – hmotnost vzorku před vysušením [g]

m_1 – hmotnost vzorku po vysušení [g]

2.6.2 Stanovení obsahu koagulátu

Množství disperze, které se v průběhu polymerace srazí, se nazývá koagulát. Koagulát se odfiltruje pomocí sítky po dokončení polymerace. Obsah koagulátu se vypočte podle vzorce (13):

$$\text{obsah koagulátu (\%)} = \frac{m(\text{koagulátu})}{\frac{\text{sušina (\%)}}{100} \cdot m(\text{emulze}) + m(\text{koagulátu})} \cdot 100 \quad (13)$$

2.6.3 Stanovení zdánlivé viskozity podle Brookfielda

Toto stanovení bylo prováděno podle normy ČSN ISO 2555 na přístroji Brookfield DV-E (Brookfield Engineering Laboratories, USA) vybaveném sadou 4 vřeten LV 1 – 4. Tato norma se používá pro neneutonské kapaliny a měřená viskozita závisí na rychlostním gradientu, kterému je kapalný vzorek během měření vystaven. Ve zkoumaném vzorku se otáčí válcovité vřeteno konstantní rychlostí. Vzniklé indukované síly jsou indikovány na číselníku. Zdánlivá viskozita podle Brookfielda se získá násobením údaje na číselníku koeficientem, který závisí na rychlosti otáčení vřetene a jeho charakteristikách. Měření bylo prováděno při $25 \text{ }^\circ\text{C}$ a při konstantní rychlosti otáčení vřetene 100 ot/min. Vždy byl volen takový typ vřetena, aby byla naměřená hodnota krouticího momentu v rozsahu 10 – 100 %. Naměřená

hodnota zdánlivé viskozity byla odečítána přímo z displeje přístroje, každý vzorek byl měřen vždy 3x, poté byl vypočítán aritmetický průměr.

2.6.4 Stanovení pH

Hodnota pH latexů byla stanovena v souladu s normou ISO 1148. Vzorek byl proměřen pomocí pH metru HANNAH I 8424 (HANNA Instrument, USA), který byl vybaven skleněnou a srovnávací elektrodou. Rozdíl potenciálu mezi oběma elektrodami byl vyjádřen jako pH na stupnici přístroje. Před samotným měřením byl přístroj kalibrován pomocí tlumivých roztoků. Vzorky byly vytemperovány na teplotu 25 °C, byly prováděny vždy tři měření.

2.6.5 Stanovení velikosti částic⁵⁵

Měření velikosti částic bylo provedeno na Ústavu environmentálního a chemického inženýrství Univerzity Pardubice s využitím metody dynamického rozptylu světla (DLS – Dynamical Light Scattering) nazývanou také kvazielastický rozptyl světla (QELS – Quasielastic Light Scattering) nebo fotonová korelační spektroskopie (PCS – Photon Correlation Spectroscopy). Tato metoda je vhodná pro přesné stanovení velikosti částic v suspenzích i pro měření velikosti částic v submikronové oblasti. Používá se pro charakterizaci emulzí, micel, latexů a pigmentů. Podstatou této neinvazivní metody je měření fluktuace intenzity rozptýleného světla z laserového zdroje okolo její průměrné hodnoty. Tyto fluktuace souvisí s interferenčním zeslabováním a zesilováním světla rozptýleného na nestacionárních částicích disperzní fáze, které podléhají Brownovu pohybu. Intenzita rozptýleného světla se rychleji mění, pohybují-li se částice rychleji, z čehož vyplývá, že rychlost těchto změn je přímo závislá na pohybu molekuly. Okamžitá hodnota fluktuace intenzity v čase τ je vyjádřena pro monodisperzní systém autokorelační funkcí $g(\tau)$, která je definována vztahem (14):

$$g(\tau) = \exp[-\tau/\tau_c] \quad (14)$$

τ_c – je relaxační čas charakterizovaný jako doba potřebná k návratu fluktuace k průměrné hodnotě intenzity rozptýleného světla.

Hodnota relaxačního času je ve velmi úzkém vztahu k difuznímu koeficientu D rozptylujících částic, který lze vyjádřit vztahem (15):

$$\tau_c = 1/Dq^2 \quad (15)$$

q – absolutní hodnota vlnového vektoru, která je daná vlnovou délkou primárního světelného paprsku λ a úhlem θ , pod kterým je intenzita rozptýleného světla měřena (16).

$$q = 4\pi/\lambda \sin(\theta/2) \quad (16)$$

Velikost částic je pak možno vypočítat pomocí translačního difuzního koeficientu D pomocí Stokesovy-Einsteinovy rovnice (17):

$$d(H) = kT/3\pi\eta D \quad (17)$$

$d(H)$ – hydrodynamický průměr částice

D – translační difuzní koeficient

k – Boltzmannova konstanta

T – absolutní teplota

η – viskozita disperzního prostředí

2.6.6 Stanovení povrchové tvrdosti nátěrů tužkami

Stanovení povrchové tvrdosti nátěru tužkami bylo prováděno podle normy ČSN EN ISO 15184. Bylo zjišťováno číslo tužky, která jako první poruší nátěr. Tato zkouška je aplikovatelná pouze na lesklé nátěry. Zkouška byla prováděna se sadou tužek Hardmuth KOH-I-Nor ořezaných s hrotem obroušeným dokulata. Jako první byla použita nejměkčí tužka. Při zkoušce bylo použito zařízení, které zajišťovalo konstantní sklon a zatížení tužky. První tužka, jejíž čáru nebylo možno setřít prstem, udávala tvrdost nátěru. Stanovení bylo prováděno vždy 3x na různých místech nátěru.

Tabulka 6 Tvrdost tužek a označení tužek

Číslo tužky	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Tvrdost tužky	3B	2B	B	HB	F	H	3H	4H	5H	6H	7H	8H	9H

2.6.7 Zkouška tvrdosti nátěrů tlumením kyvadla dle Persoze

Zkouška tvrdosti nátěrů tlumením kyvadla dle Persoze byla prováděna v souladu s normou ČSN EN ISO 1522 na přístroji Kyvadlo 3034M001 Perzos, König (Elcometer, Anglie). Podstata metody spočívá ve stanovení doby útlumu (počtu kyvů) kyvadla spočívajícího na zkoušeném nátěrovém filmu dvěma ocelovými kuličkami. Nejprve byla provedena kalibrace přístroje na kontrolní skleněné desce. Poté bylo prováděno měření na zkoumaných vzorcích. Každý nátěr byl proměřován na třech odlišných místech. Měrnou jednotkou tvrdosti nátěrových filmů jsou procenta vztažená k tvrdosti skleněného standardu. Měření bylo prováděno vždy při 25 °C. Za výslednou tvrdost byl považován aritmetický průměr tří naměřených hodnot.

2.6.8 Stanovení tloušťky nátěrových filmů

Stanovení tloušťky nátěrových filmů bylo prováděno v souladu s normou ČSN ISO 2808. Při měření na skelných podložkách byl použit třibodový hloubkoměr. V prostředním bodě byl vytvořen v nátěrovém filmu otvor. Hloubkoměr stanovil na skleněných podložkách rozdíl mezi výškou krajních bodů a středního bodu jako tloušťku. Na ocelových podložkách byl při měření použit digitální elektromagnetický tloušťkoměr TE 1250 – 0,1 FN (Sauter, Německo) s elektrodou reagující na železný povrch. Při přiložení elektrody na nátěr byla přímo změřena jeho tloušťka. Měření bylo provedeno 3x na různých místech nátěru a z hodnot byl vypočten aritmetický průměr.

2.6.9 Stanovení vzhledu nátěrových filmů

Na suchém filmu na skleněné podložce byl hodnocen vizuálně vzhled podle kritérií uvedených v tabulce 7. Byl hodnocen zákal (Z), množství bublin (B), množství cizích částic (Č) a vzhled povrchu (P).

Tabulka 7 Stanovení vzhledu nátěrového filmu

Zákal		Částice	
Z1	Bez zákalu	Č1	0 částic/ cm ²
Z2	Slabý zákal	Č2	3 částice/ cm ²
Z3	Silný zákal	Č3	10 částic/ cm ²
Z4	Zbělení	Č4	Víc jak 10 částic/cm ²
Bubliny		Povrch	
B1	Bez bublin	P1	Hladký, slitý
B2	Ojedinele bubliny	P2	Stopy po pravítku
B3	Bubliny po celé ploše	P3	Dolíčky, kráter, pomerančová kůra

2.6.10 Stanovení minimální filmotvorné teploty

Stanovení minimální filmotvorné teploty bylo stanoveno v souladu s normou ČSN 64 9006 pomocí přístroje MFFT-60 (Rhpoint Instrument, Anglie). Metoda je založena na vytvoření odpovídajícího teplotního gradientu (mezi ohřivanou a chlazenou částí) na kovové desce. Teplotní rozmezí bylo nastaveno tak, aby se předpokládaná teplota bodu zbělení nacházela ve střední části kovové desky. Na folii, která byla umístěna na horní kovovou desku, byl vytvořen nátěr pomocí nanášecího pravítka, o šířce 20 mm a tloušťce 0,1mm. Po přikrytí víkem byla disperze ponechána sušit suchým vzduchem. Po vysušení byla dotykovým teploměrem změřena teplota na hranici mezi neprůhlednou částí bez trhlinek s průhlednou částí s trhlínkami. Tato hranice se nazývá minimální filmotvorná teplota.

2.6.11 Mřížková zkouška

Tato zkouška byla provedena v souladu s normou ČSN ISO 2409 (67 3085). Metoda určuje odolnost nátěru proti oddělení od podkladu při podmínkách, kdy je nátěr proříznut na podklad. Jedná se o vizuální zkoušku poškození nátěru, která není vhodná pro příliš silné

nátěry nebo nátěry s texturou. Na testovaném nátěru byla pomocí řezného nástroje vytvořena mřížka s pěti paralelními noži od sebe vzdálenými 2 mm. Řezy byly vedeny kolmo k sobě. Bezprostředně po vytvoření mřížky bylo poškození vizuálně hodnoceno s použitím parametrů uvedených v Tabulce 8. Měření bylo prováděno při teplotě 25 °C.

Tabulka 8 Vyhodnocení mřížkové zkoušky

Hodnocení přilnavosti	Projevy poškození
0	Hladké řezy, žádný čtverec není poškozený.
1	Nepatrné poškození v místech křížení řezů. Poškození do 5 %.
2	Nepatrné poškození podél řezů a při jejich křížení. Poškození 5 – 15 %.
3	Částečné poškození podél řezů a při jejich křížení na různých místech. Poškození 15 – 35 %.
4	Velké změny v rozích řezů a některé čtverečky částečně nebo zcela poškozeny. Poškození 35 – 50 %.
5	Větší změny než u stupně 4.

2.6.12 Zkouška padajícím závažím

Zkouška padajícím závažím byla prováděna podle normy ČSN ISO 6272 (67 3018) na přístroji Impact tester 1615 (Elcometer, Anglie). Metoda byla použita jako klasifikační zkouška minimální hmotnosti a výšky pádu závaží, při které nátěr praskl nebo se odloupl od podkladu. Vzorek byl zafixován na základní desce pomocí upínacího prstence. Závaží o hmotnost 1 kg bylo ponecháno spadnout z výšky, ze které se předpokládalo poškození nátěru. Nátěr na zkušební vzorku byl prohlédnut a bylo zaznamenáno, zda došlo k jeho porušení. Zkouška byla provedena 5x při teplotě 25 °C.

2.6.13 Zkouška hloubením

Zkouška hloubením byla provedena v souladu s normou ČSN EN ISO 1520 (67 3081) na přístroji Cupping tester 1620 (Elcometer, Anglie). Norma hodnotí odolnost nátěru proti prasknutí nebo odloupenutí od kovového podkladu po vystavení postupné deformaci hloubením za standardních podmínek. Deformace se zvětšuje do té doby, dokud nedojde k prasknutí nebo odloupenutí nátěru od podkladu nebo do předepsané hloubky. Zkušební vzorek byl připnut přiměřeným tlakem mezi upínací prstenec a matici tak, aby se vrchol

polokulovitého vtlačovacího tělesa dotýkal nenatřené strany zkušební vzorku. Poté se vrchol polokulovitého tělesa přibližoval ke vzorku konstantní rychlostí, dokud nedošlo k viditelnému poškození nátěru. Pak byla zkouška zastavena a byla změřena hloubka vtlačeného tělesa.

2.6.14 Odtrhová zkouška přilnavosti

Odtrhová zkouška přilnavosti byla provedena v souladu s normou ČSN EN ISO 4624 s pomocí přístroje Elcometer 510 Model T Automatic Adhesion Gauge (Elcometer, Anglie). Tato norma stanovuje postup provedení odtrhové zkoušky na jednovrstvém nebo vícevrstevném nátěrovém systému připraveného z nátěrových hmot nebo podobných produktů. Hodnocení se provádí měřením minimálního napětí v tahu, které je nutné k oddělení nebo roztržení nátěru ve směru kolmém k podkladu. Tato zkouška je aplikovatelná na různé podklady. Výsledkem zkoušky je minimální tahové napětí, které se musí vynaložit k roztržení nejslabší mezifáze (adhezní lom) nebo nejslabší složky (kohezní lom) zkušební uspořádání. Na jemně obroušený nátěr na skleněném a kovovém podkladu byl pomocí lepidla Bison Epoxy 5 minut nalepen očištěný a jemně smirglovým papírem obroušený klobouček. Po 24 hodinách vytvrzení za normální teploty byly očištěny přebytky lepidla. Na klobouček byl nasazen prstenec odtrhoměru a následně byla provedena odtrhová zkouška. Po odtržení kloboučku z nátěru byla z displeje přístroje odečtena hodnota napětí v tahu v MPa.

2.6.15 Stanovení odolnosti kapalinám - kloboučková metoda

Odolnost nátěrových filmů byla hodnocena v souladu s normou ČSN EN ISO 2812-3. Zkušební nátěr na skleněném podkladu byl vystaven působení kapalin pomocí savého materiálu. Byl určován vliv zkušební kapaliny na nátěr, a pokud bylo potřeba, hodnotilo se i porušení použitého podkladu. Účinky zkušebních kapalin byly posuzovány na základě předem dohodnutých kritérií. Ke zkoušce byly použity skleněné kloboučky a vůči použitým kapalinám rezistentní nelítající vata. Byla sledována odolnost vůči následujícím kapalinám: 10% NaOH, 10% NH₃, 10% H₂SO₄, 10% NaCl, 60% ethanol, 60% aceton, destilovaná voda, voda. Pro každou sledovanou kapalinu byl test proveden 2x v dohodnutých časových intervalech (1 hodina, 2 hodiny, 4 hodiny, 1 den, 2 dny, 3 dny, 4 dny popř. i 7 dní). Na konci zkoušky byl savý materiál odstraněn ze zkušebního filmu, osušen a okamžitě byla vizuálně hodnocena jeho změna podle kritérií v Tabulce 9.

Tabulka 9 Vyhodnocení poškození nátěrových filmů při stanovení odolnosti kapalinám kloboučkovou metodou

Stupnice hodnocení	Projevy na filmu
0	Film beze změny
1	Slabý zákal, ztráta lesku, puchýře (< 2 mm)
2	Zřetelná změna zákalu, puchýře (2 – 3 mm)
3	Silný zákal, puchýře (3 – 4 mm)
4	Ztráta adheze, puchýře (> 5 mm)

2.6.16 Zkouška hořlavosti pomocí kónického kalorimetru⁵⁶

Při této zkoušce byly zkoumány tepelné vlastnosti materiálů v kónickém kalorimetru Dual Cone Calorimeter (Fire Testing Technology, Anglie). Materiál uchycený v horizontální poloze byl vystaven tepelnému záření o intenzitě 25 kW/m² se shodnou teplotou 680 °C. Byla pozorována následující měřítka: rychlost uvolňování tepla (HRR, kW/m²), celkové uvolněné teplo (THR, MJ/m²), efektivní spalné teplo (EHC, MJ/kg), maximální hodnota průměrně uvolněného tepla (MARHE, kW/m²), množství spotřebovaného kyslíku (g), celková produkce kouře (m²/m²).

Měření bylo prováděno na Ústavu polymérov Slovenské akademie věd v Bratislavě.

2.6.17 Stanovení extrahovatelného podílu

Stanovení extrahovatelného podílu bylo prováděno v souladu s normou ČSN EN ISO 6427 pomocí extrakce v tetrahydrofuranu. Extrakce byla prováděna pomocí Soxhletova extraktoru po dobu 48 hodin při bodu varu rozpouštědla. Vzorek byl extrahován v celulózové patroně. Do předem vysušené a zvážené patrony byl navážen cca 1 g vzorku. Po skončení extrakce byl vzorek s patronou vysušen při 70 °C do konstantní hmotnosti a pak byl zvážen. Podle následujícího vzorce (18) byl vypočítán obsah solů v hm.%. Každé měření bylo prováděno 2x.

$$sol (\%) = \left(1 - \frac{m_1}{m_0}\right) \cdot 100 \quad (18)$$

m_0 ... hmotnost vzorku před extrakcí [g]

m_1 ... hmotnost vzorku po extrakci [g]

2.6.18 Absorpce vody

Princip této metody je založený na určení přírůstku vzorku latexového filmu, který je ponořený po stanovenou dobu v destilované vodě při laboratorní teplotě. Velikost měřených vzorků byla přibližně 20 x 20 mm a byly proměřovány 3 vzorky současně. Výslednou hodnotou je aritmetický průměr všech měření. Před ponořením do destilované vody byl každý vzorek zvážen a poté byl po 1, 2, 3, 7, 14, 30 a 60 dnech vyjmut z vody, vysušen a zvážen na analytických vahách. Absorpce vody (v hm.%) je vypočítána podle vzorce (19).

$$A = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100 \quad (19)$$

m_0 ... hmotnost vzorku před absorpcí [g]

m_1 ... hmotnost vzorku po absorpci [g]

2.6.19 Stanovení odolnosti nátěru vůči methylethylketonu

Tato zkouška byla prováděna podle pracovního postupu ASTM D 4752. Metoda je založena na principu schopnosti methylethylketonu (MEK) účinně rozpouštět fyzikální shluky organických řetězců či způsobovat botnění polymerní sítě. Při zkoušce byla určována doba, při které za předem definovaných podmínek nátěrový film odolává působení MEK. Tato doba závisí na chemickém složení pojiva a u chemicky zasychajících systémů je přímo úměrná stupni zesítnění. Na jeden konec skleněné tyčinky byla připevněna vata, která byla v průběhu měření namáčena do MEK. Touto tyčinkou bylo opakovaně doprava a doleva přejížděno po nátěru na skleněném podkladu rychlostí cca 1 tah/s. Byla sledována doba, při které došlo k porušení nátěru. Porušení nátěru bylo sledováno na tmavém podkladu. Měření bylo prováděno 3x na různých místech nátěru.

2.6.20 Stanovení lesku nátěru leskoměrem

Měření bylo prováděno v souladu s normou ISO 2813 pomocí přístroje Micro-TRI GLOSS (BYK-Gardner, USA). Při použití leskoměru bylo určováno množství světla odraženého od nátěru za určitých podmínek osvětlení a pozorování určenými konstrukcí přístroje. Množství odraženého světla bylo hodnoceno relativní vůči světlu odraženému

od stanoveného referenčního vzorku. Měřenou veličinou bylo číslo lesku ($v\%$) neboli relativně vyjádřený činitel jasu měřeného nátěru vůči referenčnímu vzorku s hodnotou 100. Jako referenční vzorek sloužila černá skleněná destička s indexem lomu $n_D = 1,567$. Lesk byl proměřován při úhlu pozorování 60° . Byl použit index vyznačující geometrii leskoměru vyznačující čísla lesku Čl_{60} . Tzv. univerzální je geometrie 60° , kterou lze použít pro měření vzorků od matných až po lesklé. Pro srovnávání nátěrů byla použita geometrie 60° vzhledem ke značné různorodosti vzorků.

2.6.21 Emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES)

Emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem byla provedena u vysušených odlitků emulzního polymeru. Cílem analýzy bylo zjištění obsahu elementárního fosforu ve vzorku. Měření bylo provedeno přístrojem ICP spektrometru ThermoScientific iCAP 7000 Series (Thermo Fisher Scientific, Německo). Rychlost průtoku vzorku ve formě aerosolu byla $1,5\text{ ml/min}$ a příkon Ar plazmatu 1000 W . Měření bylo provedeno ve společnosti MemBrain s.r.o., Stráž pod Ralskem.

2.6.22 Diferenciální kompenzační kalorimetrie (DSC)

Teplota skelného přechodu (T_g) byla u vysušených polymerních odlitků stanovena pomocí metody Diferenciální kompenzační kalorimetrie (DSC). Tato metoda je založena na měření množství dodaného nebo odevzdaného tepla, za naprosto stejných podmínek chlazení či ohřevu, které je nezbytné k tomu, aby rozdíl teplot měřeného a referenčního vzorku byl nulový u obou vzorků určitou rychlostí. Při změnách, které ve vzorku probíhají, se spotřebovává nebo naopak získává teplo, což se musí kompenzovat změnou příkonu energie. Základ přístroje tvoří dvě symetrické platinové nádoby s vlastními teplotními senzory a elektrickými mikropříhřevy, které kompenzují změnu teploty mezi měřeným a referenčním vzorkem. Měření probíhala v rozsahu teplot -65 až $120\text{ }^\circ\text{C}$ s rychlostí ohřevu $10\text{ }^\circ\text{C/min}$. Vzorky byly měřeny na Katedře fyzikální chemie Univerzity Pardubice. U každého vzorku bylo provedeno jedno měření.

3 VÝSLEDKY A DISKUZE

3.1 Charakterizace latexů

3.1.1 Základní vlastnosti latexů

Byly připraveny 2 řady latexů dvoustupňovou syntézou technikou semi-kontinuální emulzní polymerace. Jedna řada disperzí na bázi methylnmethakrylátu a druhá řada na bázi 2,2,2-trifluorethylmethakrylátu. Při syntéze latexů první řady MM2, MM3, MM4 a druhé řady MM6, MM7, MM8 byl použit hexaamino-*cyklo*-trifosfazen.

V tabulce 10 jsou zobrazeny základní vlastnosti připravených latexů bez přídavku vodné disperze epoxidové pryskyřice. U všech sledovaných veličin lze pozorovat velmi podobné výsledky. Sušina latexů se pohybuje v rozmezí 40–42 %.

Všechny připravené latexy obsahovaly takřka zanedbatelné množství koagulátu (0 – 0,5 %).

Hodnoty pH (5,51 – 8,24) se pohybovaly v mírně kyselé (u latexů MM1, MM2, MM5 a MM6) až slabě alkalické oblasti a s rostoucím obsahem HACF narůstaly. Alkalická povaha vodných disperzí byla pravděpodobně způsobena přítomností aminových skupin na povrchu latexových částic díky kopolymerovaným molekulám HACF.

Velikosti latexových částic se pohybovaly v rozmezí 100,0 – 130,5 nm. Hodnoty viskozity latexů před alkalizací byly v rozmezí od 6,18 do 15,00 mPa.s. Po alkalizaci pomocí N,N'-dimethylethanolaminu došlo k mírnému nárůstu viskozity díky neutralizaci karboxylových skupin vedoucí ke zvětšení objemu latexových částic.

Minimální filmtvorná teplota latexových vodných disperzí se pohybovala v rozmezí 8,8 – 15,0 °C. U latexů první řady byly naměřené hodnoty MFT nižší než u latexů druhé řady. Z tabulky 10 je patrné, že s rostoucím obsahem HACF se minimální filmtvorná teplota latexů snižuje, což pravděpodobně souvisí se zvýšením polaritý kopolymeru a hlavně s neutralizací karboxylových skupin pomocí amino-skupin přítomných v polymerní struktuře. Tyto jevy patrně vedly ke zvýšené hydroplastifikaci emulzních kopolymerů, a tudíž i k poklesu MFT.

Tabulka 10 Charakterizace latexů

Název latexu	Sušina [%]	pH	Viskozita [mPa.s]	Viskozita po alkalizaci [mPa.s]	Velikost částic [nm]	MFT [°C]
MM1	40,59	5,51	15,00	42,95	100,0±0,3	10,81
MM2	42,06	6,57	12,06	15,12	103,9±0,5	9,20
MM3	41,39	7,17	10,56	11,22	122,1±0,5	8,8 3
MM4	40,63	7,53	8,88	9,84	130,5±0,8	8,92
MM5	40,62	5,75	9,36	11,28	109,2±0,5	15,00
MM6	41,73	6,47	8,40	11,22	111,4±0,7	12,93
MM7	40,28	7,80	6,18	6,90	112,8±0,6	11,40
MM8	40,89	8,24	7,26	8,10	119,0±0,7	10,91

3.1.2 Charakterizace emulzních kopolymerů

Latexové polymery byly podrobeny DSC analýze, již bylo zjištěno, že přítomnost HACF neovlivňuje výrazně T_g výsledného kopolymeru. Latexové polymery byly dále podrobeny ICP-OES analýze, při které bylo stanoveno množství obsaženého fosforu ve zkoumaném vzorku. V tabulce 11 jsou uvedeny získané hodnoty, z nichž je patrné, že obsah HACF ve vzorcích před extrakcí je téměř shodný s teoretickým obsahem. Hodnoty získané ze vzorků po extrakci v THF se pohybují jen nepatrně pod teoretickým obsahem HACF, což znamená, že malé množství HACF nebylo kovalentně navázáno v řetězci polymeru a ve formě soly bylo ze vzorku odstraněno.

Tabulka 11 Výsledky ICP-OES analýzy latexových polymerů

Název latexového odlitku	Teoretický obsah HACF* [hm. %]	T_g [°C]	Obsah fosforu před extrakcí [mg/kg]	Obsah fosforu po extrakci [mg/kg]	Obsah HACF před extrakcí* [hm. %]	Obsah HACF po extrakci* [hm. %]
MM1	0	12,61	0	0	0	0
MM2	0,25	11,59	323	342	0,24	0,22
MM3	0,75	11,83	978	924	0,74	0,68
MM4	1,5	10,92	2094	1774	1,53	1,32
MM5	0	17,20	0	0	0	0
MM6	0,25	18,85	356	362	0,26	0,21
MM7	0,75	17,40	1000	273	0,74	0,60
MM8	1,5	18,91	1752	2051	1,53	1,31

*Vztaženo na polymer.

Vysušené latexové odlitky byly extrahovány v THF a byl stanoven obsah solů. Z tabulky 12 je zřejmé, že všechny emulzní kopolymery obsahovaly velmi nízký podíl nezesíťovaných nízkomolekulárních frakcí, které se vyextrahovaly ze vzorku jako sol. Tento jev může být vysvětlen vedlejší síťující reakcí glycidových a karboxylových skupin, ale také kyselou hydrolyzou epoxidových skupin vedoucí ke vzniku hydroxylových skupin schopných posléze dalších vedlejších síťujících reakcí. Je nutné zmínit, že polymerace byly vedeny při zvýšeném pH (pomocí hydrogenuhličitanu sodného), aby průběh kyselá hydrolyzy glycidových skupin byl potlačen. Polymerace v přítomnosti vyššího množství bazického HACF rovněž navíc zajišťovaly zvýšenou alkalitu. Výše uvedené vedlejší reakce byly tedy zřejmě zodpovědné za vznik gelu v latexových částicích během emulzní polymerace. Lze tedy konstatovat, že latexové částice vykazovaly mikro-/ nano-gelový charakter. Dále se ukázalo, že u emulzních kopolymerů první řady, které obsahují jako monomer methylnmethakrylát, se nachází menší množství solů než u kopolymerů druhé řady obsahujících monomer TFEMA. Je také patrné, že čím více HACF kopolymery obsahovaly, tím méně solů se z nich vyextrahovalo. Z výsledků je tedy zřejmé, že HACF působí jako intra-částicové síťovadlo.

Výsledky měření hořlavosti odlitků emulzních polymerů v kónickém kalorimetru jsou uvedeny taktéž v Tabulce 12. Aby HACF, který je zabudovaný do struktury latexových

kopolymerů, splňoval kritéria kladená na retardéry hoření, měl by při spalování vzorků snižovat rychlost uvolňování spalného tepla, množství uvolněného spalného tepla, zvyšovat množství spotřebovaného kyslíku a snižovat množství uvolněného kouře. Zároveň by mělo docházet k poklesu MARHE, což je maximální průměrná rychlost uvolněného tepla.

U emulzních polymerů z první řady latexů se tyto trendy s rostoucí koncentrací HACF v kopolymeru nepotvrdily. Latexy druhé řady vykazovaly, zřejmě díky přítomnosti TFEMA stavebních monomerních jednotek obsažených ve struktuře kopolymeru, menší množství efektivního spalného tepla než latexové odlitky obsahující monomer MMA. U latexů druhé řady se s narůstajícím obsahem HACF snižovalo jak množství efektivního spalného tepla, tak i množství uvolněného kouře, rychlost uvolňování spalného tepla a MARHE. V případě kopolymerů TFEMA lze tedy konstatovat, že HACF se projevil jako retardér hoření.

Tabulka 12 Obsah solů a hořlavost latexových polymerů

Název latexového vzorku	Obsah solů [hm. %]	Rychlost uvolňování spalného tepla (HRR) [kW/m ² .g]	Efektivní spalné teplo (EHC) [MJ/kg.g]	Spotřeba kyslíku (TOC) [g/g]	Uvolnění kouře (TSR) [m ² /m ² .g]	MARHE [kW/m ² .g]
MM1	6,56	40,53	2,97	1,83	98,66	34,44
MM2	6,97	23,19	1,55	1,88	75,20	23,86
MM3	4,66	38,12	3,20	1,81	78,65	31,91
MM4	4,88	37,40	3,35	1,77	121,91	37,96
MM5	10,98	41,93	2,49	1,69	99,04	31,09
MM6	8,49	38,39	1,66	1,52	92,81	26,99
MM7	7,52	21,98	1,49	1,47	93,32	21,91
MM8	6,98	16,81	1,19	1,45	79,24	16,27

3.1.3 Hodnocení nátěrových vlastností latexů

Z výchozích připravených latexů byly vytvořeny nátěry na skleněných a ocelových podložkách. Po 30 dnech byla na skleněných podložkách změřena tvrdost podle Persoze, tvrdost pomocí tužek, lesk, byl určen vzhled, odolnost proti působení MEK, přilnavost pomocí mřížkové zkoušky a odtrhová zkouška přilnavosti. Z Tabulky 13 je patrné, že latexy druhé řady vykazovaly větší tvrdost než latexy první řady. S přibývajícím množstvím obsaženého HACF však tvrdost vytvořených nátěrových filmů klesala, což je pravděpodobně

důsledek již zmiňované hydroplastifikace emulzních polymerů. Povrchová tvrdost stanovená tužkami se pohybovala v rozmezí hodnot 10 až 5 a s rostoucím množstvím HACF rovněž klesala. Dále byl měřen lesk nátěrových filmů. Nejvyššího lesku dosahovaly nátěry MM3 z první řady a MM6 z řady druhé. Naměřené hodnoty jsou si velice podobné, tudíž rozdílný monomer nemá na lesk vytvořených nátěrů velký vliv. Co lze říci je, že latexy, které neobsahují žádný HACF, jsou méně lesklé než latexy, které ho obsahují. Vzhled všech připravených filmů byl také srovnatelný a nejevil významné rozdíly s rostoucím obsahem HACF.

Tabulka 13 Charakteristické vlastnosti nátěrových filmů na skleněných podložkách I

Název latexového filmu	Tvrdost podle Persoze [rel. %]	Tvrdost tužkami [číslo tužky/ typ]	Lesk [rel. %]	Stanovení vzhledu
MM1	27,50	8	82,9±1,3	Z1 Č1 B1 P1
MM2	22,00	6	139±0,9	Z1 Č1 B1 P1
MM3	20,11	5	144±0,8	Z1 Č1 B1 P1
MM4	20,24	5	137±1,0	Z1 Č1 B1 P1
MM5	37,00	10	80,2±0,7	Z1 Č1 B1 P1
MM6	27,12	7	142±0,7	Z1 Č1 B1 P1
MM7	26,90	6	131±0,9	Z1 Č1 B1 P1
MM8	25,95	6	135±0,8	Z1 Č1 B1 P1

Odolnost proti působení MEK (Tabulka 14) se pohybovala v rozmezí 8 – 20 s. Zde lze konstatovat, že latexy obsahující monomer methylnmethakrylát jsou vůči působení MEK odolnější než latexy, které obsahují TFEMA. Také je z hodnot v Tabulce 13 zřejmé, že latexy s nulovým obsahem HACF jsou více odolné než latexy, ve kterých je HACF obsažen. Stejný trend je patrný i z výsledků odtrhové zkoušky, kdy hodnoty s narůstajícím množstvím obsaženého HACF klesají. Lze také uvést, že rozdílný obsažený monomer vliv na výsledné hodnoty nemá. Při mřížkové zkoušce nebyly pozorovány velké rozdíly v přilnavosti nátěrů. U všech nátěrů byl stupeň přilnavosti 0 (nejvyšší přilnavost).

Tabulka 14 Charakteristické vlastnosti nátěrových filmů na skleněných podložkách II

Název latexového filmu	MEK [s]	Adheze [stupeň přilnavosti]	Odtrhová zkouška [MPa]
MM1	21	0	2,83
MM2	19	0	2,77
MM3	10	0	0,17
MM4	8	0	1,55
MM5	15	0	2,71
MM6	12	0	2,41
MM7	9	0	1,95
MM8	10	0	1,85

V následujících Tabulkách 15 a 16 jsou uvedeny hodnoty chemické odolnosti nátěrových filmů na skleněných podložkách. Při porovnání uvedených výsledků první (Tabulka 15) a druhé řady (Tabulka 16) z hlediska rozdílných monomerů je patrné, že přítomnost TFEMA stavebních jednotek ve struktuře emulzních polymerů nevedla ke zvýšení chemické odolnosti. Bylo však dokázáno, že přítomnost HACF vede ke zhoršení chemické odolnosti vůči roztokům NaCl, H₂SO₄, NaOH i vůči H₂O z důvodu zvýšení polaritý emulzních polymerů díky zavedení polárních skupin.

Tabulka 15 Chemická odolnost nátěrových filmů latexů 1. řady

Název latexového filmu	Prostředí	1 hod	2 hod	4 hod	1 den	2 dny	3 dny	4 dny
MM1	Aceton	1	2	4	4	4	4	4
	Ethanol	1	1	3	4	4	4	4
	Amoniak	1	2	1	4	4	4	2
	NaCl	0	0	0	0	2	2	1
	H ₂ SO ₄	0	0	0	0	2	2	1
	NaOH	0	0	0	0	2	2	1
	H ₂ O	0	0	0	1	1	1	1
	Destil. H ₂ O	0	0	0	0	1	1	1
MM2	Aceton	2	2	4	4	4	4	4
	Ethanol	1	2	4	4	4	4	4
	Amoniak	0	1	4	4	4	4	4
	NaCl	0	0	2	4	4	4	4
	H ₂ SO ₄	0	0	2	4	1	1	1
	NaOH	0	0	3	1	1	4	4
	H ₂ O	0	0	3	3	1	2	2
	Destil. H ₂ O	0	0	3	1	1	1	1
MM3	Aceton	2	2	4	4	4	4	4
	Ethanol	1	2	3	3	4	4	4
	Amoniak	3	2	1	3	3	4	4
	NaCl	0	0	0	3	1	4	4
	H ₂ SO ₄	0	0	0	2	1	4	1
	NaOH	0	0	4	3	1	4	4
	H ₂ O	0	0	2	2	1	2	1
	Destil. H ₂ O	0	0	2	2	1	2	1
MM4	Aceton	1	2	3	4	4	4	4
	Ethanol	1	2	4	4	3	4	4
	Amoniak	1	2	4	3	3	4	4
	NaCl	0	0	3	3	2	4	4
	H ₂ SO ₄	0	0	4	3	2	4	4
	NaOH	0	0	1	2	2	3	4
	H ₂ O	0	0	1	1	1	2	2
	Destil. H ₂ O	0	0	1	1	1	2	2

Tabulka 16 Chemická odolnost nátěrových filmů latexů 2. řady

Název latexového filmu	Prostředí	1 hod	2 hod	4 hod	1 den	2 dny	3 dny	4 dny
MM5	Aceton	1	2	4	4	4	4	4
	Ethanol	1	2	3	4	4	4	4
	Amoniak	1	2	2	4	4	4	4
	NaCl	0	0	0	0	3	3	4
	H ₂ SO ₄	0	0	0	1	2	2	1
	NaOH	0	0	0	1	2	2	4
	H ₂ O	0	0	0	1	2	2	3
	Destil. H ₂ O	0	0	0	1	1	1	3
MM6	Aceton	1	2	4	4	4	4	4
	Ethanol	1	2	4	4	4	4	4
	Amoniak	1	1	3	4	2	4	4
	NaCl	0	0	3	3	1	4	4
	H ₂ SO ₄	0	0	3	2	1	1	1
	NaOH	0	0	3	2	1	4	4
	H ₂ O	0	0	3	3	1	4	4
	Destil. H ₂ O	0	0	3	2	1	4	4
MM7	Aceton	1	2	4	4	4	4	4
	Ethanol	1	2	4	4	4	4	4
	Amoniak	1	2	4	4	3	4	4
	NaCl	0	0	2	4	1	4	4
	H ₂ SO ₄	0	0	2	4	1	4	1
	NaOH	0	0	2	3	1	4	4
	H ₂ O	0	0	2	3	1	4	4
	Destil. H ₂ O	0	0	2	2	1	3	4
MM8	Aceton	1	2	4	4	4	4	4
	Ethanol	1	2	4	4	4	4	4
	Amoniak	1	2	3	4	3	4	4
	NaCl	0	0	3	4	1	4	4
	H ₂ SO ₄	0	0	3	3	1	1	1
	NaOH	0	0	3	3	1	1	4
	H ₂ O	0	0	3	2	1	4	4
	Destil. H ₂ O	0	0	3	2	1	4	4

Na nátěrech připravených na ocelových podložkách byl stanovován lesk, tloušťka, přilnavost pomocí mřížky, hloubení, pád a přilnavost odtrhovou zkouškou. Na ocelových podložkách je podle Tabulky 17 patrné, že latexy druhé řady, tedy ty, které obsahují monomer TFEMA, vykazují menší lesk než latexy první řady. Tloušťka všech nátěru má velmi podobné hodnoty. Při mřížkové zkoušce nebyly pozorovány velké rozdíly v přilnavosti nátěrů. U všech

nátěrů byl stupeň přilnavosti na čísle 0. Při zkoušce hloubením vykazovaly všechny nátěry naprosto shodné výsledky. U zkoušky padajícím závažím platí to stejné jako při zkoušce hloubením. Tedy žádný ze vzorků nebyl poškozen. Z výsledků lze odvodit, že na mechanické vlastnosti nátěrových filmů nemají vliv rozdílné monomery ani množství obsaženého HACF.

Tabulka 17 Charakterizace vlastností nátěrových filmů na ocelových podložkách

Název latexového filmu	Lesk [rel. %]	Tloušťka filmu [μm]	Adheze [stupeň přilnavosti]	Hloubení [mm]	Pád [cm]
MM1	78,2 \pm 0,4	26,36	0	10	100
MM2	106,0 \pm 1,5	26,80	0	10	100
MM3	91,2 \pm 0,8	27,30	0	10	100
MM4	92,7 \pm 0,5	26,10	0	10	100
MM5	83,2 \pm 0,1	26,13	0	10	100
MM6	78,7 \pm 0,5	24,90	0	10	100
MM7	54,0 \pm 1,2	27,61	0	10	100
MM8	101,30,3	24,82	0	10	100

3.2 Studium nátěrových latexových kompozic z hlediska optimálního poměru latex / vodná epoxidová disperze

V této části práce bylo cílem vytvořit dvousložkovou nátěrovou hmotu sestávající z amino-funkcionalizovaného latexu a vodné epoxidové disperze. Jelikož kvantitativní stanovení reakce schopných aminových skupin v latexech pomocí konvenční titrační metody předpokládá rozpuštění vzorku ve vhodném rozpouštědle, (což je v případě latexového filmu vzniklého z hustě zesíťovaných latexových částic velice obtížné až nemožné), byly testovány různé poměry obou složek a k určení jejich optimálního poměru bylo přistoupeno na základě hodnocení lakařských vlastností výsledných nátěrových filmů. Připravené amino-funkcionalizované latexy MM2, MM3 a MM4 byly smíchány s vodnou epoxidovou disperzí v hmotnostních poměrech 1:0; 1:0,05; 1:0,1; 1:0,15; 1:0,2; 1:0,25; 1:0,3; 1:0,35; 1:0,4 (vztaženo na sušinu latexu a vodné epoxidové disperze). Pro latexy MM3 a MM4, u nichž byl předpokládán vyšší obsah funkčních amino- skupin, byly připraveny ještě další poměry 1:0,5; 1:0,6; 1:0,7; 1:0,8 a 1:0,9. U vysušených polymerních vzorků byl stanoven obsah solů extrakcí v THF.

Z Tabulky 18 je patrné, že s rostoucím zastoupením epoxidové pryskyřice roste u všech vzorků (MM2, MM3, i MM4) obsah solů. Tento fakt napovídá tomu, že určitý podíl epoxidové pryskyřice nebyl zcela kovalentně zabudován do polymerního vzorku.

Tabulka 18 Extrahovatelný podíl polymerních vzorků na bázi nátěrových kompozic latex / vodná epoxidová disperze

Název latexového vzorku / poměr	Obsah solu [hm.%]	Název latexového odlitku / poměr	Obsah solu [hm.%]	Název latexového odlitku / poměr	Obsah solu [hm.%]
MM2 / 1:0	6,97	MM3 / 1:0	4,66	MM4 / 1:0	4,88
MM2 / 1:0,05	6,31	MM3 / 1:0,05	5,32	MM4 / 1:0,05	5,05
MM2 / 1:0,1	7,27	MM3 / 1:0,1	7,93	MM4 / 1:0,1	6,07
MM2 / 1:0,15	7,79	MM3 / 1:0,15	8,45	MM4 / 1:0,15	6,90
MM2 / 1:0,2	7,46	MM3 / 1:0,2	8,90	MM4 / 1:0,2	7,89
MM2 / 1:0,25	8,07	MM3 / 1:0,25	8,84	MM4 / 1:0,25	7,43
MM2 / 1:0,3	10,47	MM3 / 1:0,3	9,31	MM4 / 1:0,3	9,15
MM2 / 1:0,35	14,22	MM3 / 1:0,35	11,34	MM4 / 1:0,35	11,78
MM2 / 1:0,4	14,29	MM3 / 1:0,4	13,58	MM4 / 1:0,4	13,70
-	-	MM 3/ 1:0,5	14,14	MM4 / 1:0,5	14,24
-	-	MM3 / 1:0,6	14,77	MM4 / 1:0,6	15,18
-	-	MM3 / 1:0,7	15,25	MM4 / 1:0,7	15,18
-	-	MM3 / 1:0,8	17,10	MM4 / 1:0,8	17,42
-	-	MM3 / 1:0,9	19,93	MM4 / 1:0,9	20,11

Pro každý poměr byly vytvořeny nátěry na skleněných a ocelových podložkách. U nátěrů na skleněných podložkách byla stanovena tvrdost podle Persoze, tvrdost pomocí tužek, lesk, odolnost vůči působení MEK, přilnavost mřížkovou zkouškou a byl stanoven vzhled. Z Tabulky 19 je patrné, že přidavek epoxidové pryskyřice zřetelně zlepšuje vlastnosti připraveného latexového filmu. Pro poměry s latexem MM2 platí, že s přibývajícím množstvím vodné epoxidové disperze tvrdost nátěrových filmů vzrůstá. Stejně je tomu i v případě tvrdosti stanovené pomocí tužek. Pozitivní vliv přídavku epoxidové pryskyřice potvrdily i výsledky zkoušky odolnosti vůči působení MEK, kdy nátěry na bázi čistého latexu bez přídavku vodné epoxidové pryskyřice odolávaly působení MEK 14 s a s přibývajícím množstvím se časový interval prodlužoval, ale od poměru latex / EP 1:0,15 již byl téměř konstantní. Naopak je tomu u lesku daných nátěrů, což je pravděpodobně způsobeno ztrátou transparentního charakteru nátěru kvůli zabarvení použité epoxidové pryskyřice. Přilnavost

nátěrových filmů měla hodnotu 0, pouze u poměru latex / EP 1:0,15 byla hodnota 1. Jak již bylo zmíněno, použitá epoxidová disperze po vytvrzení vytváří bílé nátěry, tudíž s jejím narůstajícím množstvím roste i zákal nátěrových povlaků. Bubliny vyskytující se v nátěrových filmech byly pravděpodobně zapříčiněny nedostatečným odstředěním směsi v odstředivce.

Tabulka 19 Charakterizace vlastností nátěrových filmů latexu MM2 s vodnou epoxidovou disperzí na skleněných podložkách

Název latexového filmu / poměr	Tvrдость podle Persoze [rel. %]	Tvrдость tužkami [číslo tužky/ typ]	MEK [s]	Adheze [stupeň přilnavosti]	Lesk [rel. %]	Stanovení vzhledu
MM2 / 1:0	27,50	7	14	0	144,0±0,1	Z1 Č1 B1 P1
MM2 / 1:0,05	28,81	7	16	0	110,0±0,8	Z2 Č1 B1 P1
MM2 / 1:0,1	31,67	8	19	0	106,0±1,2	Z2 Č1 B2 P1
MM2 / 1:0,15	36,43	7	26	1	93,6±1,7	Z3 Č1 B1 P1
MM2 / 1:0,2	33,21	10	24	0	87,8±1,7	Z4 Č1 B2 P1
MM2 / 1:0,25	37,86	11	25	0	88,3±1,5	Z4 Č1 B1 P1
MM2 / 1:0,3	40,47	13	23	0	87,0±1,2	Z4 Č1 B2 P1
MM2 / 1:0,35	43,57	13	24	0	85,6±0,5	Z4 Č1 B2 P1
MM2 / 1:0,4	41,90	13	26	0	84±0,7	Z4 Č1 B2 P1

Na ocelových podložkách byly charakterizovány následující vlastnosti: lesk, tloušťka a přilnavost mřížkovou zkouškou. I zde platí, že s narůstajícím množstvím epoxidové pryskyřice lesk nátěrových filmů klesá. Tloušťka vysušených nátěrových filmů se pohybovala v rozmezí hodnot od 22,8 μm po 28,06 μm. Pouze nátěr s poměrem 1:0,15 vykazoval mírné porušení po provedení zkoušky přilnavosti pomocí mřížkové zkoušky. Ostatní nátěry nevykazovaly žádné známky poškození.

Tabulka 20 Charakteristické vlastnosti nátěrových filmů na bázi latexu MM2 s vodnou epoxidovou disperzí na ocelových podložkách

Název latexového filmu / poměr	Lesk [rel. %]	Tloušťka filmu [μm]	Mřížková zkouška
MM2 / 1:0	106,0 \pm 1,5	22,80	0
MM2 / 1:0,05	91,0 \pm 1,8	24,03	0
MM2 / 1:0,1	83,1 \pm 0,5	26,16	0
MM2 / 1:0,15	76,5 \pm 1,0	26,33	1
MM2 / 1:0,2	74,0 \pm 0,7	25,86	0
MM2 / 1:0,25	73,2 \pm 1,2	22,70	0
MM2 / 1:0,3	64,4 \pm 1,6	27,83	0
MM2 / 1:0,35	73,1 \pm 0,4	28,06	0
MM2 / 1:0,4	71,6 \pm 0,4	24,06	0

V Tabulce 21 jsou uvedeny charakteristické vlastnosti polymerních filmů na bázi latexu MM3 na skleněných podložkách, jako je tvrdost podle Persoze, tvrdost pomocí tužek, lesk, odolnost vůči působení MEK, stupeň přilnavosti a byl také charakterizován vzhled. U kompozic na bázi latexu MM3 / EP platí, že se zvětšujícím se obsahem epoxidové pryskyřice tvrdost nátěrů vzrůstá. Hodnoty tvrdosti stanovené pomocí tužek se pohybují v rozmezí od 5 do 13 a od poměru 1:0,5 se výrazně nemění. Lesk klesá obdobně jako u předchozího latexu MM2. Odolnost vůči působení MEK značně kolísala, pouze poměry 1:0,1; 1:0,4 a 1:0,5 vykazovaly větší odolnost.

Tabulka 21 Vlastnosti nátěrových filmů na bázi latexu MM3 s vodnou epoxidovou disperzí na skleněných podložkách

Název latexového filmu / poměr	Tvrdość podle Persoze [rel. %]	Tvrdość tučkami [číslo tučky / typ]	MEK [s]	Adheze [stupeň přilnavosti]	Lesk [rel. %]	Stanovení vzhledu
MM3 / 1:0	19,43	5	13	0	141,0±0,3	Z1 Č1 B1 P1
MM3 / 1:0,05	20,11	6	17	0	111,0±0,8	Z2 Č1 B1 P1
MM3 / 1:0,1	22,97	7	34	0	96,1±1,2	Z2 Č1 B2 P1
MM3 / 1:0,15	31,07	7	17	0	97,6±0,8	Z2 Č1 B1 P1
MM3 / 1:0,2	33,45	11	19	0	94,3±0,5	Z2 Č1 B2 P1
MM3 / 1:0,25	35,71	13	17	0	90,8±0,8	Z3 Č1 B1 P1
MM3 / 1:0,3	36,55	13	18	0	87,9±1,2	Z4 Č1 B2 P1
MM3 / 1:0,35	38,69	12	18	1	88,7±0,2	Z4 Č1 B2 P1
MM3 / 1:0,4	40,00	13	27	0	86,3±0,6	Z4 Č1 B1 P1
MM3 / 1:0,5	37,36	13	28	0	80,3±1,1	Z4 Č1 B2 P1
MM3 / 1:0,6	41,40	13	20	0	82,2±0,3	Z4 Č1 B1 P1
MM3 / 1:0,7	41,64	13	18	0	81,9±0,6	Z4 Č1 B2 P1
MM3 / 1:0,8	41,75	13	16	0	85,0±0,1	Z4 Č1 B2 P1
MM3 / 1:09	45,79	13	14	0	86,2±0,2	Z4 Č1 B2 P1

U výsledků v Tabulce 22 lze říci, že platí obdobné trendy jako u latexu MM2, tedy že lesk filmů se s přibývajícím množstvím EP snižuje. Největší porušení přilnavosti nátěrů se vyskytovalo u nátěrů s poměry 1:0,4 a 1:0,5. Ostatní nátěry nevykazovaly žádné známky porušení.

Tabulka 22 Naměřené vlastnosti nátěrových filmů na bázi latexu MM3 s vodnou epoxidovou disperzí na ocelových podložkách

Název latexového filmu	Lesk [rel. %]	Tloušťka filmu [μm]	Adheze [stupeň přilnavosti]
MM3 / 1:0	91,2 \pm 0,8	27,83	0
MM3 / 1:0,05	88,7 \pm 0,5	23,20	0
MM3 / 1:0,1	78,9 \pm 0,9	26,16	0
MM3 / 1:0,15	82,4 \pm 0,8	23,50	0
MM3 / 1:0,2	82,0 \pm 0,1	24,03	0
MM3 / 1:0,25	80,6 \pm 0,4	24,83	0
MM3 / 1:0,3	80,6 \pm 0,2	32,06	0
MM3 / 1:0,35	80,3 \pm 0,6	22,40	0
MM3 / 1:0,4	80,7 \pm 0,8	29,73	1-2
MM3 / 1: 0,5	73,1 \pm 0,3	26,56	2
MM3 / 1:0,6	72,9 \pm 0,5	23,50	0
MM3 / 1:0,7	70,7 \pm 0,4	19,33	0
MM3 / 1:0,8	74,8 \pm 0,7	28,33	0
MM3 / 1:09	67,2 \pm 0,2	20,30	0

V Tabulkách 23 a 24 jsou uvedeny výsledky vlastností polymerních nátěrů na bázi latexu MM4, které byly charakterizované na skleněných a ocelových podložkách. Stejně jako v předchozích případech, byla u nátěrů na skleněných podložkách měřena tvrdost podle Persoze a pomocí tužek, lesk, odolnost vůči působení MEK, stupeň přilnavosti za pomocí mřížky a byl stanoven vzhled. U nátěrů na ocelových podložkách byl stanoven vzhled, tloušťka a stupeň přilnavosti.

Oproti předchozím systémům však nátěrové kompozice na bázi latexu MM4 jevíly nepatrně rozdílné chování. Tvrdost podle Persoze nejprve klesá, v poměru 1:0,1 začne vzrůstat do poměru 1:0,7, kdy začne opět klesat. Avšak, jak je z Tabulky 23 patrné, tvrdost nátěrových filmů, stanovená pomocí tužek, se zvětšujícím se poměrem roste. Obdobné chování je patrné i na naměřených hodnotách lesku, kdy nátěry, které neobsahují žádné množství EP, vykazují největší lesk, poté kvůli stále většímu zabarvení filmů lesk klesá.

Výsledné hodnoty odolnosti vůči působení MEK se pohybují v rozmezí od 12 do 19 s. U stanovení vzhledu lze konstatovat to samé jako v předchozích systémech, tedy to, že s postupně narůstajícím obsahem vodné epoxidové disperze se mění stupeň zbledání a obsažené bublinky jsou pravděpodobně způsobeny nedostatečným či nedokonalým odstředěním v odstředivce. V Tabulce 23 jsou uvedeny hodnoty, které byly získány při stanovení stupně přilnavosti pomocí mřížkové zkoušky, z nichž je patrné, že se zvětšujícím se obsahem epoxidové pryskyřice nátěry nevykazovaly žádné projevy poničení, s výjimkou poměru 1:0,4, kdy porušení činilo maximálně 5 %.

Tabulka 23 Charakteristické vlastnosti nátěrových filmů na bázi latexu MM4 s vodnou epoxidovou disperzí na skleněných podložkách

Název latexového filmu / poměr	Tvrдость podle Persoze [rel. %]	Tvrдость tužkami [číslo tužky/typ]	MEK [s]	Adheze [stupeň přilnavosti]	Lesk [rel. %]	Stanovení vzhledu
MM4 / 1:0	20,24	5	15	0	137,2±0,6	Z1 Č1 B1 P1
MM4 / 1:0,05	15,24	5	16	0	116,0±0,8	Z2 Č1 B1 P1
MM4 / 1:0,1	16,90	7	12	0	104,1±0,6	Z2 Č1 B1 P1
MM4 / 1:0,15	24,88	9	12	0	95,9±0,4	Z3 Č1 B2 P1
MM4 / 1:0,2	29,16	8	15	0	96,1±0,5	Z4 Č1 B2 P1
MM4 / 1:0,25	29,64	10	18	0	88,9±0,8	Z4 Č1 B1 P1
MM4 / 1:0,3	31,78	10	16	0	89,0±0,8	Z4 Č1 B2 P1
MM4 / 1:0,35	31,55	10	16	0	85,5±0,2	Z4 Č1 B2 P1
MM4 / 1:0,4	32,97	12	13	1	84,8±0,7	Z4 Č1 B1 P1
MM4 / 1:0,5	34,99	12	13	0	84,7±0,4	Z4 Č1 B2 P1
MM4 / 1:0,6	36,06	13	16	0	84,8±1,0	Z4 Č1 B1 P1
MM4 / 1:0,7	37,01	13	13	0	84,0±0,5	Z4 Č1 B1 P1
MM4 / 1:0,8	34,99	13	19	0	83,6±0,8	Z4 Č1 B2 P1
MM4 / 1:09	32,26	14	14	0	84,3±0,6	Z4 Č1 B2 P1

I na ocelových podložkách je zřetelný pokles naměřených hodnot lesku nátěrových filmů, který je stejně jako u skleněných podložek daný menší transparentností nátěru vlivem použité epoxidové pryskyřice. Při provedení zkoušky přilnavosti pomocí mřížkové metody byly získány hodnoty 0, tedy nedošlo k porušení adheze zkoušeného nátěru. Nejvyšší stupeň porušení po provedení zkoušky stupně přilnavosti vykazoval nátěr s poměrem 1:0,9. To však mohlo být způsobeno větší tloušťkou daného nátěru oproti ostatním.

Tabulka 24 Naměřené hodnoty vlastností nátěrových kompozic latexu MM4 s vodnou epoxidovou disperzí na ocelových podložkách

Název latexového filmu	Lesk [rel. %]	Tloušťka filmu [μm]	Adheze [stupeň přilnavosti]
MM4 / 1:0	92,7 \pm 0,5	26,10	0
MM4 / 1:0,05	85,2 \pm 0,4	24,96	0
MM4 / 1:0,1	79,9 \pm 0,2	24,10	0
MM4 / 1:0,15	77,4 \pm 0,8	26,93	0
MM4 / 1:0,2	71,4 \pm 0,9	25,81	0
MM4 / 1:0,25	71,4 \pm 0,4	19,80	0
MM4 / 1:0,3	67,6 \pm 0,6	22,43	0
MM4 / 1:0,35	73,4 \pm 0,61	22,46	0
MM4 / 1:0,4	68,2 \pm 0,3	24,36	0
MM4 / 1: 0,5	74,0 \pm 0,7	23,16	0
MM4 / 1:0,6	70,8 \pm 0,5	20,03	0
MM4 / 1:0,7	71,0 \pm 0,2	22,86	0
MM4 / 1:0,8	73,0 \pm 0,9	20,66	0
MM4 / 1:09	78,2 \pm 0,3	31,70	3

3.3 Zvolení optimálního poměru latex / vodná epoxidová disperze

Na základě všech výsledných hodnot získaných při provedení zkoušek charakterizujících vlastnosti směsných nátěrových kompozic latex / vodná epoxidová disperze byl pro každý typ latexu první řady (MM2, MM3 a MM4) stanoven optimální poměr obou složek. Jelikož bylo předpokládáno, že obsah aminových skupin, které se budou účastnit reakce s epoxidovou pryskyřicí, je obdobný mezi dvojicemi latexů se stejným výchozím množstvím HACF z řady na bázi MMA i z řady na bázi TFEMA, byly optimální poměry určeny pro jednotlivé latexy první řady dodržovány i v případě odpovídajících latexů druhé řady. Pro latexy MM2 a MM6 tedy byl stanoven jako optimální poměr 1:0,35, pro latexy MM3 a MM7 byl vybrán jako optimální poměr 1:0,5 a pro latexy MM4 a MM8 poměr 1:0,7. Z těchto systémů byly zhotoveny nátěry na skleněných a ocelových podložkách a byla odlita polymerní tělíska.

3.3.1 Hodnocení nátěrových filmů na bázi směsi latex / vodná epoxidová pryskyřice v optimálním poměru

Výsledky měření hořlavosti polymerních tělísek v kónickém kalorimetru jsou uvedeny v Tabulce 25. S narůstajícím množstvím obsažené epoxidové pryskyřice se postupně snižuje rychlost uvolňování spalného tepla i efektivní spalné teplo a MARHE. Je však zřejmé, že narůstá množství uvolněného kouře. Z Tabulky 25 je patrné, že směsné kompozice poskytují nátěrové filmy s vyšší odolností vůči hoření oproti nátěrům připraveným z čistých latexů, kdy s narůstajícím obsahem epoxidové pryskyřice je tento trend ještě výraznější.

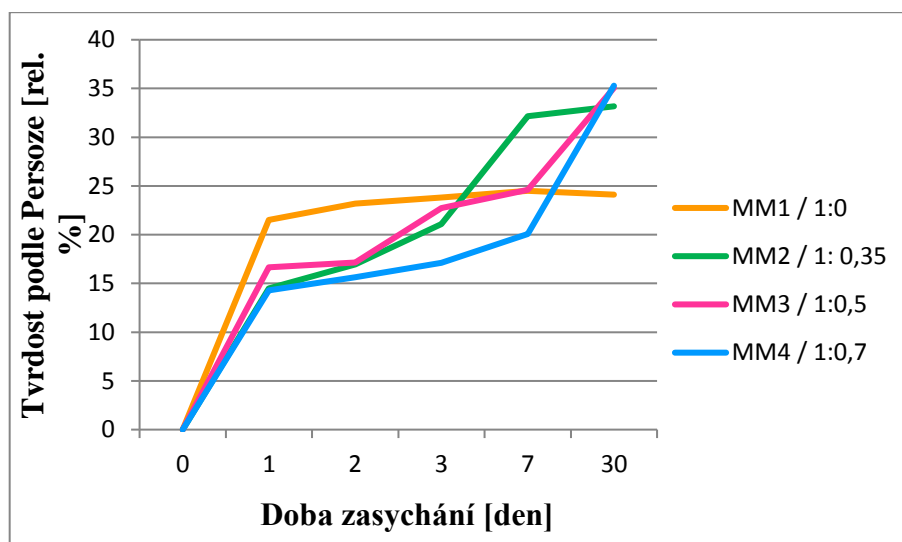
Tabulka 25 Stanovená hořlavost polymerních tělísek z kompozic latex / vodná epoxidová disperze

Název latexového vzorku / poměr	Rychlost uvolňování spalného tepla (HRR) [kW/m ² .g]	Efektivní spalné teplo (EHC) [MJ/kg.g]	Spotřeba kyslíku (TOC) [g/g]	Uvolnění kouře (TSR) [m ² /m ² .g]	MARHE [kW/m ² .g]
MM1 / 1:0	40,53	2,97	1,83	98,66	34,44
MM2 / 1: 0,35	29,35	2,23	1,83	139,05	29,44
MM3 / 1:0,5	37,68	2,02	1,71	140,27	23,89
MM4 / 1:0,7	20,44	1,47	1,58	158,89	19,65
MM5 / 1:0	41,93	2,49	1,69	99,04	31,09
MM6 / 1:0,35	30,09	2,02	1,48	127,74	29,14
MM7 / 1:0,5	23,10	1,86	1,45	156,67	24,21
MM8 / 1:0,7	22,99	1,74	1,48	163,24	20,50

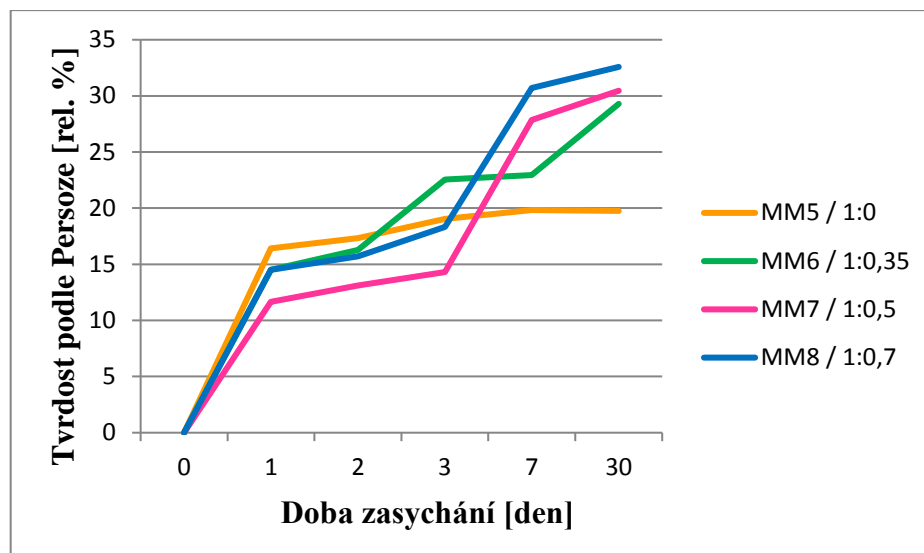
Na skleněných podložkách byla měřena tvrdost podle Persoze v časových intervalech 1, 2, 3, 7 a 30 dní (viz Tabulka 26 a Graf 1 a 2). Z výsledných hodnot je zřejmé, že tvrdost nátěrů v čase roste. Z Tabulky 26 je patrné, že nátěry na bázi latexů bez přídavku vodné disperze epoxidové pryskyřice vykazují téměř výslednou tvrdost již po 1 dni. Časem se jejich tvrdost dále výrazně nemění. Avšak u nátěrů na bázi směsné kompozice latex / vodná epoxidová disperze je počáteční tvrdost nízká, ale dochází k jejímu výraznému zvýšení během zasychání nátěrů. Lze tedy konstatovat, že přítomnost epoxidové pryskyřice zvyšuje tvrdost výsledných nátěrových filmů.

Tabulka 26 Stanovená tvrdost podle Persoze po 1, 2, 3, 7 a 30 dnech zasychání nátěrů

Název latexového filmu / poměr	Tvrdost podle Persoze [rel. %]				
	1. den	2. den	3. den	7. den	30. den
MM1 / 1:0	21,50	23,20	23,81	24,50	24,11
MM2 / 1: 0,35	14,50	16,94	21,10	32,14	33,17
MM3 / 1:0,5	16,65	17,15	22,73	24,61	35,06
MM4 / 1:0,7	14,30	15,62	17,12	20,07	35,29
MM5 / 1:0	16,41	17,33	19,05	19,83	19,76
MM6 / 1:0,35	14,50	16,29	22,55	22,94	29,29
MM7 / 1:0,5	11,65	13,11	14,31	27,85	30,46
MM8 / 1:0,7	14,50	15,70	18,33	30,70	32,58



Graf 1 Časový vývoj tvrdosti podle Persoze nátěrů na bázi 1. řady latexů na skleněných podložkách



Graf 2 Časový vývoj tvrdosti podle Persoze nátěrů na bázi 2. řady latexů na skleněných podložkách

Podobné výsledky, jako v případě tvrdosti podle Persoze, byly získány při provedení měření tvrdosti pomocí tužek. Z Tabulky 27 je zřejmé, že nátěry, které neobsahovaly žádné množství epoxidové pryskyřice, vykazovaly nejmenší tvrdost. Ta s přibývajícím obsahem EP postupně narůstala. Stupeň přilnavosti stanovený pomocí mřížkové zkoušky má u všech nátěrových filmů stejnou hodnotu 0. Ze získaných výsledných hodnot při provedení zkoušky odolnosti vůči působení MEK vyplývá, že přítomnost epoxidové pryskyřice nemá významný vliv na odolnost nátěrových filmů vůči působení MEK.

Tabulka 27 Charakteristické vlastnosti nátěrových filmů optimálních poměrů na bázi latex / vodná epoxidová disperze na skleněných podložkách I

Název latexového filmu / poměr	Tvrдость tužkami [číslo tužky/typ]	Adheze [stupeň přilnavosti]	MEK [s]
MM1 / 1:0	8	0	21
MM2 / 1:0,35	8	0	19
MM3 / 1:0,5	10	0	10
MM4 / 1:0,7	12	0	15
MM5 / 1:0	15	0	15
MM6 / 1:0,35	11	0	16
MM7 / 1:0,5	12	0	21
MM8 / 1:0,7	13	0	9

Lesk, který úzce souvisí se zbledením daných nátěrů, se postupně snižoval, což je patrné v Tabulce 28. Jak již bylo zmíněno v kapitole Zvolení vhodného poměru latex / vodná epoxidová pryskyřice, se zvyšujícím se poměrem roste i zbledání nátěrových filmů. Bublinky vyskytující se u třech vzorků nátěrů byly způsobeny nedostatečným odstředěním v odstředivce. Při odtrhové zkoušce nejhůře dopadly filmy s nulovým poměrem latex / EP. Nejvyšší meze pevnosti při provedení odtrhové zkoušky dosáhly u obou řad systémy s poměrem 1:0,35.

Tabulka 28 Charakteristické vlastnosti nátěrových filmů optimálních poměrů na bázi latex / vodná epoxidová disperze na skleněných podložkách II

Název latexového filmu / poměr	Lesk [rel. %]	Stanovení vzhledu	Odtrhová zkouška [MPa]
MM1 / 1:0	82,9±1,3	Z1 Č1 B1 P1	2,83
MM2 / 1:0,35	77,9±0,3	Z4 Č1 B1 P1	3,34
MM3 / 1:0,5	76,2±0,2	Z4 Č1 B1 P1	2,98
MM4 / 1:0,7	76,3±0,2	Z4 Č1 B2 P1	2,45
MM5 / 1:0	80,2±0,7	Z1 Č1 B1 P1	2,71
MM6 / 1:0,35	63,5±0,3	Z4 Č1 B1 P1	3,34
MM7 / 1:0,5	70,8±0,1	Z4 Č1 B2 P1	2,91
MM8 / 1:0,7	72,6±0,2	Z4 Č1 B2 P1	3,13

Na ocelových podložkách byly charakterizovány následující vlastnosti nátěrových filmů: lesk, tloušťka, stupeň přilnavosti, hloubení, pád a odtrhová zkouška. Získané výsledné hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 29. Stejně jak bylo zmíněno u předešlých poměrů, lesk se zvyšujícím se poměrem EP klesal. Naměřené hodnoty tloušťky nátěrových filmů se pohybují v rozmezí od 24,6 do 28,3 μm u první řady obsahující monomer methylmethakrylát a od 25,3 do 27,8 μm u řady druhé s monomerem TFEMA. Všechny získané hodnoty stupně přilnavosti byly nulové, pouze latex MM4 s poměrem 1:0,7 byl hodnocen stupněm 1. Žádný z testovaných nátěrů nebyl při provedení zkoušky hloubením poškozen. Poškození však vykazovaly některé nátěrové filmy po provedení zkoušky pádem. Nejhorších výsledků dosáhly nátěry latexů MM3, MM4 a MM8. Naopak vynikající výsledky, tedy žádné viditelné poškození, měly filmy zhotovené z latexů MM1, MM2, MM6 a MM7. Přítomnost vyššího podílu epoxidové pryskyřice v nátěrových filmech vedla k poklesu odolnosti vůči pádu závaží, tedy k poklesu rázové houževnatosti.

Tabulka 29 Charakterizace nátěrových filmů optimálních poměrů latex / vodná epoxidová disperze na ocelových podložkách

Název latexového filmu / poměr	Lesk [rel. %]	Tloušťka filmu [μm]	Adheze [stupeň přilnavosti]	Hloubení [mm]	Pád [cm]	Odrhová zkouška [MPa]
MM1 / 1:0	78,2 \pm 0,4	26,36	0	Nad 10	Nad 100	2,12
MM2 / 1:0,35	63,2 \pm 0,5	28,30	0	Nad 10	Nad 100	0,44
MM3 / 1:0,5	63,1 \pm 0,4	24,92	0	Nad 10	50	1,27
MM4 / 1:0,7	56,7 \pm 0,9	26,34	1	Nad 10	50	0,19
MM5 / 1:0	83,2 \pm 0,1	26,10	0	Nad 10	Nad 100	1,27
MM6 / 1:0,35	41,7 \pm 0,4	25,35	0	Nad 10	Nad 100	0,77
MM7 / 1:0,5	26,1 \pm 0,6	25,44	0	Nad 10	75	0,93
MM8 / 1:0,7	71,5 \pm 0,2	25,93	0	Nad 10	50	0,64

V tabulkách 30 a 31 jsou uvedeny výsledky zkoušky chemické odolnosti, která byla provedena na skleněných podložkách na nátěrových filmech systémů na bázi latex / vodná epoxidová disperze v optimálních poměrech. Při porovnání výsledků zkoušky chemické odolnosti filmů na bázi latexů bez přídavku vodné epoxidové pryskyřice je zřejmé, že přítomnost epoxidové pryskyřice vede ke zvýšení odolnosti vůči roztokům NaCl, H₂SO₄, NaOH, i H₂O.

Tabulka 30 Chemická odolnost nátěrových filmů optimálních poměrů na bázi latex / vodná epoxidová disperze na skleněných podložkách I

Název latexového filmu / poměr	Prostředí	1 hod	2 hod	4 hod	1 den	2 dny	3 dny	4 dny
MM1 / 1:0	Aceton	1	2	4	4	4	4	4
	Ethanol	1	1	3	4	4	4	4
	Amoniak	1	2	1	4	4	4	2
	NaCl	0	0	0	0	2	2	1
	H ₂ SO ₄	0	0	0	0	2	2	1
	NaOH	0	0	0	0	2	2	1
	H ₂ O	0	0	0	1	1	1	1
	Destil. H ₂ O	0	0	0	0	1	1	1
MM2 / 1:0,35	Aceton	1	2	3	4	4	4	4
	Ethanol	1	2	3	4	4	4	4
	Amoniak	1	1	2	4	3	2	4
	NaCl	0	0	0	0	3	1	4
	H ₂ SO ₄	0	0	0	0	1	1	1
	NaOH	0	0	0	0	1	1	1
	H ₂ O	0	0	0	1	1	1	1
	Destil. H ₂ O	0	0	0	1	1	1	1
MM3 / 1:0,5	Aceton	1	2	4	4	4	4	4
	Ethanol	1	2	3	4	4	4	4
	Amoniak	1	2	2	4	3	3	4
	NaCl	0	0	0	0	1	1	4
	H ₂ SO ₄	0	0	0	0	1	1	1
	NaOH	0	0	0	0	1	1	1
	H ₂ O	0	0	0	0	1	1	1
	Destil. H ₂ O	0	0	0	0	1	1	1
MM4 / 1:0,7	Aceton	1	2	4	4	4	4	4
	Ethanol	1	2	4	4	3	3	4
	Amoniak	1	2	2	4	3	2	4
	NaCl	0	0	0	0	2	1	1
	H ₂ SO ₄	0	0	0	0	2	1	1
	NaOH	0	0	0	0	1	1	1
	H ₂ O	0	0	0	0	1	1	1
	Destil. H ₂ O	0	0	0	0	1	1	1

Tabulka 31 Chemická odolnost nátěrových filmů optimálních poměrů na bázi latex / vodná epoxidová disperze na skleněných podložkách II

Název latexového filmu / poměr	Prostředí	1 hod	2 hod	4 hod	1 den	2 dny	3 dny	4 dny
MM5 / 1:0	Aceton	1	2	4	4	4	4	4
	Ethanol	1	2	3	4	4	4	4
	Amoniak	1	2	2	4	4	4	4
	NaCl	0	0	0	0	3	3	4
	H ₂ SO ₄	0	0	0	1	2	2	1
	NaOH	0	0	0	1	2	2	4
	H ₂ O	0	0	0	1	2	2	3
	Destil. H ₂ O	0	0	0	1	1	1	3
MM6 / 1:0,35	Aceton	1	2	4	4	4	4	4
	Ethanol	1	2	3	4	4	3	4
	Amoniak	1	1	2	4	2	2	2
	NaCl	0	0	0	0	1	1	1
	H ₂ SO ₄	0	0	0	0	1	1	1
	NaOH	0	0	0	0	1	1	1
	H ₂ O	0	0	0	0	1	1	1
	Destil. H ₂ O	0	0	0	0	1	1	1
MM7 / 1:0,5	Aceton	1	2	4	4	4	4	4
	Ethanol	1	2	4	3	4	4	3
	Amoniak	1	2	2	2	3	4	4
	NaCl	0	0	0	0	1	1	1
	H ₂ SO ₄	0	0	0	0	1	1	1
	NaOH	0	0	0	0	1	1	1
	H ₂ O	0	0	0	0	1	1	1
	Destil. H ₂ O	0	0	0	0	1	1	1
MM8 / 1:0,7	Aceton	1	2	4	4	4	4	4
	Ethanol	1	2	4	4	4	4	3
	Amoniak	1	2	3	3	3	3	2
	NaCl	0	0	0	0	1	1	1
	H ₂ SO ₄	0	0	0	0	1	1	1
	NaOH	0	0	0	0	1	1	1
	H ₂ O	0	0	0	0	1	1	1
	Destil. H ₂ O	0	0	0	0	1	1	1

3.4 Fosfazen jako nízkomolekulární tvrdidlo latexů funkcionalizovaných glycidylóvými skupinami

Do připravených latexů (MM1 a MM5), které neobsahovaly žádné množství komonomeru hexaamino-cyklo-trifosfazenu, byl HACF přidán externě jako tvrdidlo v molárním poměru GMA a HACF 1:0; 12:1; 6:1; 2:1 a 1:1.

Polymerní odlitky před a po extrakci v THF byly podrobeny analýze ICP–OES, při které bylo stanoveno množství obsaženého fosforu ve struktuře polymeru. Z výsledných hodnot uvedených v Tabulce 32 je patrné, že množství stanoveného fosforu před extrakcí v THF se pohybují ve velmi podobných hodnotách teoretického obsahu HACF. U většiny vzorků jsou naměřené hodnoty nepatrně vyšší než teoretický obsah HACF. Stejný trend je patrný i u hodnot získaných u vzorků po extrakci v THF, což znamená, že veškerý obsažený HACF je kovalentně vázaný v struktuře polymeru.

Tabulka 32 Hodnoty ICP-OES analýzy polymerních odlitků na bázi kompozice latex / HACF

Název latexového polymeru	Teoretický obsah HACF* [hm.%]	Obsah fosforu před extrakcí [mg/kg]	Obsah fosforu po extrakci [mg/kg]	Obsah HACF před extrakcí* [hm.%]	Obsah HACF po extrakci* [hm.%]
MM1 / 1:0	0	0	0	0	0
MM1 / 12:1	0,35	527	519	0,39	0,38
MM1 / 6:1	0,67	965	938	0,72	0,70
MM1 / 2:1	2,03	3552	3676	2,05	2,04
MM1 / 1:1	4,06	6831	6971	4,09	4,20
MM5 / 1:0	0	0	0	0	0
MM5 / 12:1	0,35	468	519	0,35	0,33
MM5 / 6:1	0,67	924	1041	0,68	0,72
MM5 / 2:1	2,03	3570	4122	1,96	2,07
MM5 / 1:1	4,06	7158	7466	4,04	4,17

*Vztaženo na polymer.

Z výsledků v Tabulce 33 je zřejmé, že největší množství solů bylo zjištěno u systému MM1 a MM5 v poměru 1:0, tedy s nulovým obsahem HACF. S přibývajícím množstvím navázaného HACF klesal obsah solů, tedy rostl obsah gelu. Nízkomolekulární frakce byly díky obsaženému HACF kovalentně zabudovány do polymerní struktury. Podobný trend byl pozorován také v případě absorpce vody u vzorků na bázi MM1 a MM5. Avšak množství absorbované vody do nátěrových filmů u poměrů latex / HACF 12:1 a 6:1 mírně vzrostlo, pravděpodobně jako důsledek zvýšené polarizace polymeru díky molekulám HACF. V případě vysokých obsahů HACF v polymerním vzorku se blížila hodnotám vzorků bez přídavku HACF.

Tabulka 33 Charakteristické vlastnosti latexových vzorků optimálních poměrů latex / hexaamino-cyklo-trifosfazen

Název latexového vzorku / poměr	Obsah solů [hm. %]	Absorpce vody [hm. %]
MM1 / 1:0	6,56	8,66
MM1 / 12:1	5,90	13,41
MM1 / 6:1	5,82	11,32
MM1 / 2:1	5,18	9,31
MM1 / 1:1	5,88	7,48
MM5 / 1:0	10,98	5,81
MM5 / 12:1	10,37	16,71
MM5 / 6:1	9,23	13,51
MM5 / 2:1	7,69	8,74
MM5 / 1:1	7,06	8,68

Na výsledcích zkoušky hořlavosti, která byla provedena v kónickém kalorimetru, uvedených v Tabulce 34, je patrné, že s přibývajícím množstvím obsaženého HACF významně klesá rychlost uvolňování spalného tepla, postupně klesá i efektivní spalné teplo a mírně i MARHE. Ovšem s větším hmotnostním podílem HACF bohužel narůstá množství uvolněného kouře. Je tedy zřejmé, že obsažený hexaamino-cyklo-trifosfazen plní ve zkoumaných polymerních vzorkách funkci retardéru hoření.

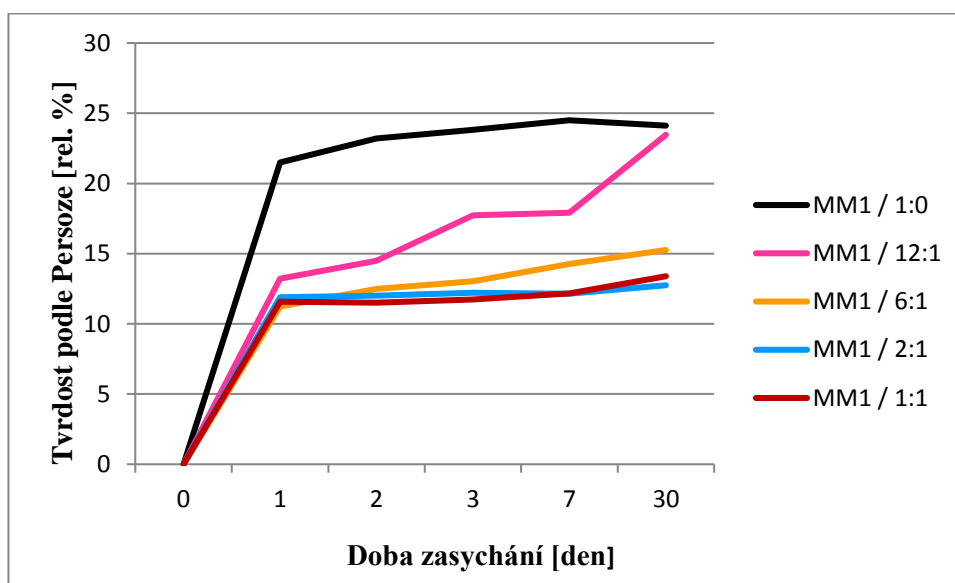
Tabulka 34 Hořlavost polymerních vzorků obsahujících hexaamino-cyklo-trifosfazen jako tvrdidlo

Název latexového vzorku / poměr	Rychlost uvolňování spalného tepla (HRR) [kW/m ² .g]	Efektivní spalné teplo (EHC) [MJ/kg.g]	Spotřeba kyslíku (TOC) [g/g]	Uvolnění kouře (TSR) [m ² /m ² .g]	MARHE [kW/m ² .g]
MM1 / 1:0	40,53	3,92	1,83	98,66	40,29
MM1 / 12:1	39,18	3,82	1,91	95,34	38,82
MM1 / 6:1	36,72	3,20	1,86	103,82	38,26
MM1 / 2:1	33,35	2,97	1,78	135,82	34,44
MM1 / 1:1	27,76	2,79	1,70	152,80	32,20
MM5 / 1:0	41,93	2,49	1,69	99,04	35,14
MM5 / 12:1	35,21	2,78	1,71	109,52	33,62
MM5 / 6:1	34,46	2,63	1,64	102,04	31,76
MM5 / 2:1	28,68	2,53	1,53	134,93	31,06
MM5 / 1:1	27,11	3,09	1,42	169,40	30,68

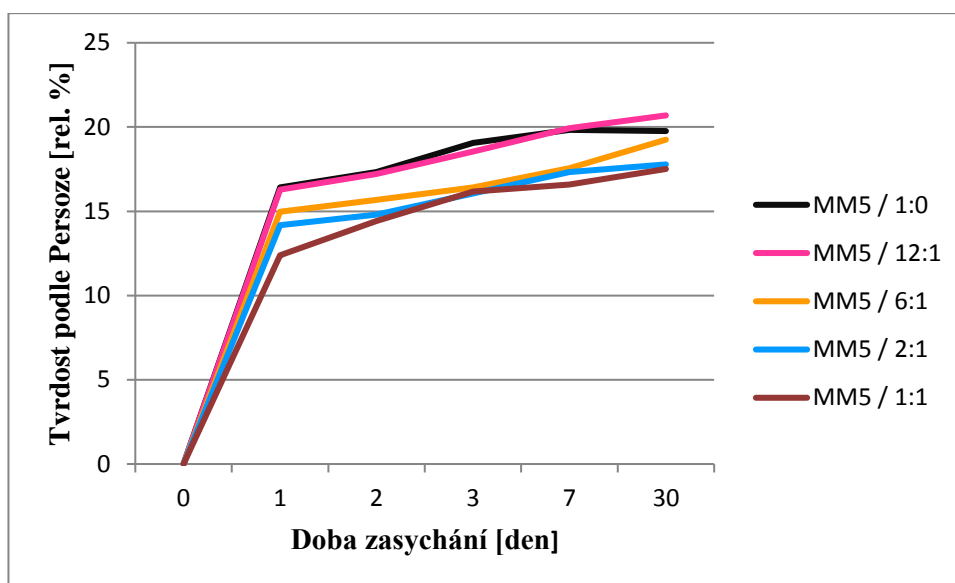
Na skleněných podložkách byla měřena tvrdost nátěrových filmů, které obsahovaly HACF, po 1, 2, 3, 7 a 30 dnech. Ze získaných výsledků, které jsou uvedeny v Tabulce 35, a Grafech 3 a 4 lze konstatovat, že nejvyšší tvrdosti nátěry dosáhly u obou řad nátěrů po 30 dnech zasychání. Na výsledcích je také patrné, že nejvyšší tvrdosti dosahují nátěry na bázi samotných latexů bez jakéhokoliv přídatku HACF. Při porovnání výsledků obou řad lze konstatovat, že nátěry obsahující kopolymerovaný TFEMA vykazují vyšší tvrdost než nátěry obsahující kopolymerovaný MMA. S přibývajícím množstvím obsaženého HACF tvrdost nátěrů klesá, což je patrné z uvedených výsledků v Tabulce 35.

Tabulka 35 Stanovená tvrdost nátěru na bázi latex / HACF podle Persoze po 1, 2, 3, 7 a 30 dnech

Název latexového odlitku / poměr	Tvrdost podle Persoze [rel. %]				
	1. den	2. den	3. den	7. den	30. den
MM1 / 1:0	21,50	23,20	23,81	24,50	24,11
MM1 / 12:1	13,21	14,50	17,73	17,91	23,47
MM1 / 6:1	11,24	12,49	13,04	14,26	15,26
MM1 / 2:1	11,89	12,01	12,21	12,15	12,75
MM1 / 1:1	11,57	11,51	11,74	12,18	13,39
MM5 / 1:0	16,41	17,33	19,05	19,83	19,76
MM5 / 12:1	16,28	17,21	18,54	19,94	20,69
MM5 / 6:1	14,98	15,67	16,41	17,56	19,25
MM5 / 2:1	14,18	14,81	16,05	17,32	17,78
MM5 / 1:1	12,38	14,43	16,17	16,59	17,51



Graf 3 Časový vývoj tvrdosti podle Persoze nátěrových filmů na bázi latex MM1 / HACF



Graf 4 Časový vývoj tvrdosti podle Persoze nátěrových filmů na bázi latex MM5 / HACF

Na skleněných podložkách byla, na nátěrech kompozic na bázi latex / HACF, měřena tvrdost tužkami, adheze a odolnost vůči působení MEK. Dále byl stanoven lesk, vzhled a v poslední řadě byla provedena odtrhová zkouška. Stejně jako tomu bylo v případě tvrdosti stanovené podle Persoze, i nyní u tvrdosti stanovené tužkami (Tabulka 36) dosáhly největších hodnot nátěry samotných latexů. Z hlediska nátěrů na bázi kompozic latex / HACF měly nejvyšší tvrdost u obou řad nátěry v poměru 12:1, tedy s nejmenším obsahem HACF. I tady

platí, že s přibývajícím množstvím obsaženého HACF tvrdost nátěrů stanovaná tužkami klesala. Po provedení zkoušky ke stanovení stupně přilnavosti pomocí mřížkové metody vykazovaly systémy, obsahující kopolymerovaný TFEMA, lepší přilnavost než kompozice na bázi nátěrů obsahující MMA. Největší stupeň poškození vykazovaly systémy obou řad v poměrech 12:1 a 6:1, s přibývajícím obsahem HACF se adheze zkoumaných nátěrů na skleněných podložkách zvyšovala. Z tabulky 36 vyplývá, že nátěry na bázi latexů MM1, které obsahovaly MMA, jsou odolnější vůči působení MEK než nátěry na bázi latexu MM5 obsahující monomerní jednotky TFEMA.

Tabulka 36 Charakteristické vlastnosti nátěrových filmů optimálních poměrů latex / hexaamino–cyklo–trifosfazen na skleněných podložkách I

Název latexového filmu / poměr	Tvrdost tužkami [číslo tužky / typ]	Adheze [stupeň přilnavosti]	MEK [s]
MM1 / 1:0	8	0	21
MM1 / 12: 1	12	5	12
MM1 / 6:1	11	5	13
MM1 / 2:1	10	1	13
MM1 / 1:1	9	0	15
MM5 / 1:0	10	0	15
MM5 / 12:1	8	5	11
MM5 / 6:1	7	4	10
MM5 / 2:1	5	0	11
MM5 / 1:1	4	0	10

V Tabulce 37 jsou uvedeny vzhledové vlastnosti nátěrů na skleněných podložkách kompozic na bázi latex / HACF a odtrhová zkouška. Hodnoty lesku se pohybují ve velmi podobných hodnotách, u první řady okolo hodnoty 82 % a v případě druhé řady okolo hodnoty 80 %. Vzhled zkoumaných filmů byl vynikající, u žádného z nátěrů nedošlo ke zblednutí ani neobsahovaly bublinky či částice a povrch všech filmů byl dokonale hladký. Výsledné hodnoty odtrhové zkoušky jsou zaznamenány v Tabulce 37, a stejně jako tomu bylo u hodnot lesku, nabývají velmi podobných hodnot. Lze tedy konstatovat, že přítomnost

ani obsažené množství HACF na lesk, vzhled ani na přilnavost daných nátěrů k podložce nemá významný vliv.

Tabulka 37 Charakteristické vlastnosti nátěrových filmů optimálních poměrů latex / hexaamino-cyklo-trifosfazen na skleněných podložkách II

Název latexového filmu / poměr	Lesk [rel. %]	Stanovení vzhledu	Odtrhová zkouška [MPa]
MM1 / 1:0	82,9±1,3	Z1 Č1 B1 P1	2,83
MM1 / 12: 1	82,7±0,5	Z1 Č1 B1 P1	2,75
MM1 / 6:1	82,5±0,2	Z1 Č1 B1 P1	2,54
MM1 / 2:1	82,4±0,6	Z1 Č1 B1 P1	2,75
MM1 / 1:1	82,1±0,2	Z1 Č1 B1 P1	2,43
MM5 / 1:0	80,2±0,7	Z1 Č1 B1 P1	2,71
MM5 / 12:1	80,9±0,7	Z1 Č1 B1 P1	2,23
MM5 / 6:1	80,7±0,1	Z1 Č1 B1 P1	2,21
MM5 / 2:1	80,8±0,8	Z1 Č1 B1 P1	2,14
MM5 / 1:1	80,4±0,1	Z1 Č1 B1 P1	2,55

Na ocelových podložkách byl u filmů systémů latex / HACF stanoven lesk, tloušťka, adheze, odolnost proti hloubení a pádu. Veškeré naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 38. I na ocelových podložkách se hodnoty lesku pohybovaly ve velmi podobných hodnotách, nyní však v rozmezí od 72,6 do 78,4 % u systémů obsahujících kopolymerovaný MMA a v rozmezí od 81,3 do 85,7 % u nátěrů obsahujících stavební jednotky TFEMA. Po provedení zkoušky adheze vykazovaly porušení pouze nátěry MM1 6:1 a MM5 12:1. Vynikajících výsledků, tedy žádného porušení, dosáhly všechny zkoušené nátěry. Lze tedy konstatovat, že na mechanické vlastnosti nátěrů na ocelových podložkách nemá množství obsaženého HACF významný vliv.

Tabulka 38 Charakteristické vlastnosti nátěrových filmů optimálních poměrů latex / hexaamino–cyklo–trifosfazen na ocelových podložkách

Název latexového filmu / poměr	Lesk [rel. %]	Tloušťka filmu [μm]	Adheze [stupeň přilnavosti]	Hloubení [mm]	Pád [cm]
MM1 / 1:0	78,2±0,4	26,36	0	Nad 10	Nad 100
MM1 / 12: 1	76,3±0,8	27,73	0	Nad 10	Nad 100
MM1 / 6:1	72,6±0,4	25,50	1	Nad 10	Nad 100
MM1 / 2:1	78,4±0,9	28,21	0	Nad 10	Nad 100
MM1 / 1:1	74,7±0,6	26,46	0	Nad 10	Nad 100
MM5 / 1:0	83,2±0,1	26,10	0	Nad 10	Nad 100
MM5 / 12:1	81,3±0,2	25,26	0	Nad 10	Nad 100
MM5 / 6:1	85,1±0,2	23,83	0	Nad 10	Nad 100
MM5 / 2:1	85,7±0,9	26,93	0	Nad 10	Nad 100
MM5 / 1:1	84,1±0,7	23,73	1	Nad 10	Nad 100

V následujících Tabulkách 39 a 40 jsou uvedeny výsledné hodnoty chemické odolnosti provedené na skleněných podložkách na nátěrech systémů latex / HACF. Z uvedených hodnot je patrné u obou typů latexů, že přítomnost a zvyšující se množství obsaženého HACF snižuje odolnost vůči všem použitým kapalinám. Nátěry obsahující strukturální jednotky TFEMA jsou však na počátku prováděné zkoušky vůči roztokům NaCl, H₂SO₄, NaOH a vodě odolnější než je tomu v případě nátěrů obsahujících strukturální jednotky MMA.

Tabulka 39 Chemická odolnost nátěrových filmů na bázi latex / hexaamino-cyklo-trifosfazen na skleněných podložkách I

Název latexového filmu / poměr	Prostředí	1 hod	2 hod	4 hod	1 den	2 dny	3 dny	4 dny
MM1 / 1:0	Aceton	1	2	4	4	4	4	4
	Ethanol	1	2	4	4	4	4	4
	Amoniak	1	2	4	4	4	4	4
	NaCl	0	0	0	2	2	4	4
	H ₂ SO ₄	0	0	0	1	2	1	1
	NaOH	0	0	0	1	2	1	1
	H ₂ O	0	0	1	1	1	1	1
	Destil. H ₂ O	0	0	1	1	1	1	1
MM1 / 12:1	Aceton	1	2	4	4	4	4	4
	Ethanol	1	2	4	4	4	4	4
	Amoniak	1	2	2	2	3	2	4
	NaCl	0	0	0	2	2	3	1
	H ₂ SO ₄	0	0	0	0	1	1	1
	NaOH	1	0	3	2	2	4	4
	H ₂ O	0	0	1	1	1	1	2
	Destil. H ₂ O	0	0	1	1	1	1	2
MM1 / 6:1	Aceton	2	3	3	4	4	4	4
	Ethanol	2	3	2	4	4	4	4
	Amoniak	2	3	2	3	3	4	4
	NaCl	1	1	1	1	2	4	4
	H ₂ SO ₄	1	1	1	2	2	2	3
	NaOH	1	1	2	2	2	4	1
	H ₂ O	1	1	2	2	3	3	1
	Destil. H ₂ O	1	1	2	2	3	4	2
MM1 / 2:1	Aceton	2	3	3	4	4	4	4
	Ethanol	2	2	2	4	4	4	4
	Amoniak	2	2	2	3	3	2	4
	NaCl	1	1	3	2	2	3	4
	H ₂ SO ₄	1	1	2	3	3	2	3
	NaOH	1	2	3	2	2	2	1
	H ₂ O	1	1	2	3	3	3	1
	Destil. H ₂ O	1	1	3	3	3	2	2
MM1 / 1:1	Aceton	2	3	2	3	4	4	4
	Ethanol	2	3	4	3	4	4	4
	Amoniak	2	3	4	3	3	4	4
	NaCl	2	3	3	2	2	3	4
	H ₂ SO ₄	2	2	2	2	2	1	1
	NaOH	2	2	2	2	2	2	4
	H ₂ O	2	3	3	3	3	3	3
	Destil. H ₂ O	2	3	3	3	3	3	2

Tabulka 40 Chemická odolnost nátěrových filmů na bázi latex / hexaamino-cyklo-trifosfazen na skleněných podložkách II

Název latexového filmu / poměr	Prostředí	1 hod	2 hod	4 hod	1 den	2 dny	3 dny	4 dny
MM5 / 1:0	Aceton	1	3	4	4	4	4	4
	Ethanol	1	3	4	4	4	4	4
	Amoniak	1	2	4	4	4	4	4
	NaCl	0	0	0	2	3	4	4
	H ₂ SO ₄	1	0	1	1	2	1	1
	NaOH	0	0	1	2	2	2	4
	H ₂ O	0	0	1	2	2	2	3
	Destil. H ₂ O	0	0	1	1	1	2	3
MM5 / 12:1	Aceton	1	3	4	4	4	4	4
	Ethanol	1	3	4	4	4	4	4
	Amoniak	1	3	3	3	3	4	4
	NaCl	0	2	2	3	2	4	4
	H ₂ SO ₄	0	0	1	1	1	1	1
	NaOH	0	0	1	1	1	1	1
	H ₂ O	0	0	1	1	2	2	2
	Destil. H ₂ O	0	0	1	1	1	2	1
MM5 / 6:1	Aceton	1	3	4	4	4	4	4
	Ethanol	1	3	4	4	4	4	4
	Amoniak	1	2	3	3	3	4	4
	NaCl	0	2	2	2	2	2	4
	H ₂ SO ₄	0	2	2	2	2	1	1
	NaOH	0	1	1	1	1	1	1
	H ₂ O	0	1	1	1	1	1	1
	Destil. H ₂ O	0	1	1	1	1	1	1
MM5 / 2:1	Aceton	2	4	4	4	4	4	4
	Ethanol	2	4	4	4	4	4	4
	Amoniak	2	4	4	4	4	4	4
	NaCl	0	0	0	1	1	1	3
	H ₂ SO ₄	0	0	0	1	1	1	1
	NaOH	0	0	1	1	1	1	1
	H ₂ O	0	0	1	1	1	2	1
	Destil. H ₂ O	0	0	2	1	1	2	1
MM5 / 1:1	Aceton	2	3	4	4	4	4	4
	Ethanol	2	3	4	4	4	4	4
	Amoniak	2	3	3	3	3	4	4
	NaCl	0	0	1	2	2	1	1
	H ₂ SO ₄	0	0	0	1	1	1	1
	NaOH	1	3	3	2	2	1	4
	H ₂ O	1	1	1	1	1	2	2
	Destil. H ₂ O	1	1	1	1	1	2	1

4 Závěr

V teoretické části této diplomové práce byla rešeršním stylem rozebírána témata zaobírající se nátěrovými hmotami, a to především vodou ředitelnými nátěrovými hmotami a emulzní polymerací. Následně byly zpracovány kapitoly týkající se epoxidových pryskyřic, hoření polymerních filmů a v závěru rešerše bylo popsáno téma zabývající se fosfazenovými sloučeninami.

V následující rozsáhlejší části byla podrobně popsána syntéza dvou řad latexů vycházející z různých monomerů. První řada obsahovala jako hlavní monomery MMA, BA a GMA a při syntéze druhé řady byly použity jako hlavní monomery TFEMA, BA a GMA. Do emulzních kopolymerů byl v průběhu emulzní polymerace zabudován HACF za účelem snížit hořlavost výsledných nátěrů a také jako síťující činidlo. Na základě zkoušek na nátěrových filmech byl zjišťován optimální poměr latexu a vodné epoxidové disperze. V následující části byl HACF použit jako nízkomolekulární tvrdidlo latexů funkcionalizovaných glycidyllovými skupinami. Byly vytvořeny nátěrové filmy s různým obsahem HACF, které byly podrobeny zkouškám charakterizujícím jejich vlastnosti.

Na základě získaných výsledků bylo dokázáno, že kopolymerace HACF s akrylovými monomery, vedená pomocí emulzní polymerace, nemá vliv na tvorbu koagulátu. Polymerní filmy obsahující MMA stavební jednotky obsahují vyšší obsah gelu. Analýzou ICP-OES bylo dokázáno, že většina obsaženého HACF byla kovalentně navázána na polymerní řetězec. U emulzních polymerů na bázi první řady latexů s obsahem MMA, nedošlo při zvyšování obsahu HACF k poklesu rychlosti uvolňování spalného tepla, efektivního spalného tepla ani MARHE. Avšak emulzní polymery druhé řady obsahující stavební jednotky TFEMA vykazovaly pokles množství spalného tepla, rychlost uvolňování spalného tepla i MARHE. Lze tedy konstatovat, že u emulzních polymerů obsahujících monomer TFEMA obsažený HACF plnil funkci retardéru hoření.

U nátěrů na bázi kompozic latex / vodná epoxidová disperze bylo podle získaných výsledků provedených zkoušek zjištěno, že přítomnost epoxidové pryskyřice zlepšuje mechanické vlastnosti, odolnost vůči chemikáliím a také hořlavost polymerních filmů. Možnou nevýhodou z aplikačního hlediska je ztráta transparentnosti nátěrových filmů.

V případě, kdy byl fosfazen použit jako nízkomolekulární tvrdidlo latexů funkcionalizovaných glycidylowymi skupinami, bylo na základě výsledků získaných pomocí metody ICP-OES dokázáno, že veškerý HACF byl kovalentně navázán na strukturu polymerního řetězce. Tato skutečnost byla potvrzena i faktem, že s přibývajícím množstvím obsaženého HACF klesal obsah nezesíťovaných nízkomolekulárních frakcí. Ukázalo se, že obsažený HACF významně snižoval hořlavost a plnil tedy funkci retardéru hoření. U nátěrů na bázi latexů obsahujících stavební jednotky TFEMA byl pokles rychlosti uvolňování spalného tepla, efektivního spalného tepla a MARHE výraznější než u nátěrů se stavebními jednotkami MMA.

Z výsledků analýzy ICP-OES je také patrné, že HACF byl kovalentně navázán na polymerní řetězec již při samotné syntéze latexů, tak i v případě, kdy byl použit jako nízkomolekulární tvrdidlo latexů funkcionalizovaných glycidylowymi skupinami. Při porovnání výsledků hořlavosti nátěrů na bázi latex / vodná epoxidová disperze a latex / HACF je zřejmé, že lepších vlastností, tedy většího poklesu hořlavosti bylo dosaženo u systémů latex / vodná epoxidová disperze, tudíž by tyto nátěrové kompozice mohly být využity k ochraně materiálů v prostředí se zvýšeným rizikem požáru.

5 Seznam zdrojů

1. MACHOTOVÁ, Jana, ZÁRYBNICKÁ, Lucie, BAČOVSKÁ, Radka, VRAŠTIL, Josef, HUDÁKOVÁ, Martina, ŠNUPÁREK Jaromír. Self-crosslinking acrylic latexes with copolymerized flame retardant based on halogenophosphazene derivative. *Progress in Organic Coatings* [online]. 2016, 101, 322-330 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2016.09.007>. ISSN 0300-9440.
2. MACHOTOVÁ, Jana, ZÁRYBNICKÁ, Lucie, RUCKEROVÁ, Adéla, BAČOVSKÁ, Radka, RYCHLÝ, Jozef, IMRAMOVSKÝ, Aleš. Synthesis and Application of Hexaallylaminocyclo-triphosphazene as Flame Retardant in Latex Coatings. *Polymer-Plastics Technology and Engineering* [online]. 2017, 56(5), 563-571 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1080/03602559.2016.1233262>. ISSN 0360-2559.
3. KASHIWAGI, Takashi, DU, Fagming, DOUGLAS, Jack F., WINEY, Karen I., HARRIS JR., Richard H. Nanoparticle Networks Reduce the Flammability of Polymer Nanocomposites. *Nature Materials*. 4(12), 928-933. ISSN 1476-1122.
4. JAEGER, Roger De, GLERIA, Mario. *Phosphazenes: A Worldwide Insight*. Nova Publishers. 2004, 1047. ISBN 978-1-59033-423-2.
5. HOLAN, Jiří. *Dřevo v domácnosti: ochrana, údržba, renovace*. Brno: ERA, 2006, 112. ISBN 80-7366-049-0.
6. PAPAY, Vlastimil. *Porovnání odolnosti dřeva vůči ohni ošetřeného základními druhy nátěrových hmot*. Brno, 2007. 100s. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta. Vedoucí práce Ing. Jiří Holan, Ph.D.
7. MARTÍNEK, Petr. *Vliv přípravy povrchu dřevěných povrchů před dokončením na kvalitu povrchové úpravy polyesterovými nátěrovými hmotami*. Brno, 2014. 107s. Diplomová práce, Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta. Vedoucí práce Ing. Daniela Tesařová, Ph.D.
8. TESAŘOVÁ, Daniela. *Nové trendy při dokončování vodou ředitelných nátěrových hmot nové generace*. In Informační bulletin a sborník statí . 2007, 83. ISBN 978-80-7375-0
9. TROPPOVÁ, Eva. *Vliv druhu matovacích prostředků na kvalitu povrchové úpravy nábytku vodou ředitelnými nátěrovými hmotami*. Brno, 2008. 53s. Bakalářská práce, Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta. Vedoucí práce Ing. Zdeněk Muzikář Ph.D.
10. SAUNDERS, Brian R., VIBNCENT, Brian. Microgel particles as model colloids: theory, properties and applications. *Advances in Colloid and Interface Science* [online]. 1998, 80, 1-25 [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0001-8686\(98\)00071-2](https://doi.org/10.1016/S0001-8686(98)00071-2). ISSN 0001-8686.
11. MCCAN, Judith, THAIBOONROD, Sineenat, ULIJN, Rein. V., SAUNDERS, Brian. Effects of crosslinker on the morphology and properties of microgels containing N-vinylformamide, glycidylmethacrylate and vinylamine. *Journal of Colloid and*

- Interface Science* [online]. 2014, 415, 151-158 [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2013.09.030>. ISSN 0021-9797.
12. MACHOTOVÁ, Jana, ŠŇUPÁREK, Jaromír. Functionalised Microgels for Acrylic Coatings. *Macromolecular Symposia* [online]. 2009, 281, 197-205 [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/masy.200950726>. ISSN 1521-3900
 13. ŠŇUPÁREK, Jaromír. Makromolekulární chemie: Úvod do chemie a technologie polymerů. Univerzita Pardubice, 2009. ISBN 978-80-7395-166-5
 14. YAMAK, Hale B. Emulsion Polymerization: Effects of Polymerization Variables on the Properties of Vinyl Acetate Based Emulsion Polymers. Polymer Science Faris Yılmaz, IntechOpen [online]. 2013. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/books/polymer-science/emulsion-polymerization-effects-of-polymerization-variables-on-the-properties-of-vinyl-acetate-based>
 15. AERDTS, Annemieke M., HERK, Alex M., KLUMPERMAN, Bert, KURJA, Jenci, GERMAN, Anton L. Emulsion polymerization. *Materials science and technology: A comprehensive treatment*. 1999, 274-283. ISBN 9783527299713.
 16. HEARN, John. An overview of polymer latex film formation and properties. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2000, 86, 195-267. ISSN 0001-8686.
 17. HARKINS, William D. A General Theory of the Mechanism of Emulsion Polymerization I. *Journal of the American Chemical Society* [online]. 1947 69 (6), 1428-1444 [cit. 2018-02-22]. DOI: 10.1021/ja01198a053. ISSN 1520-5126.
 18. HARKINS, William D. A General Theory of the Reaction Loci in Emulsion Polymerization. *The Journal of Chemical Physics* [online]. 1945, 13, 381 [cit. 2018-02-22]. Dostupný z: <https://doi.org/10.1063/1.1724054> . ISSN 1089-7690.
 19. HARKINS, William D. General theory of mechanism of emulsion polymerization. II. *Journal of the American Chemical Society* [online]. 1950, 5, 217-251 [cit. 2018-02-22]. Dostupný z: <https://doi.org/10.1002/pol.1950.120050208>. ISSN 1520-5126.
 20. FITCH, Robert M. Particle Formation in Polymer Colloids, III: Prediction of the Number of Particles by a Homogeneous Nucleation Theory. *Polymer Colloids* [online]. 1971, 73-102 [cit. 2018-02-23]. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-1-4684-1920-7_5. ISBN 978-1-4684-1920-7.
 21. FITCH, Robert M. Preparation and properties of polystyrene model colloids: I. Preparation of surface-active monomer and model colloids derived therefrom. *Journal of Colloid and Interface Science*. 1987, 115, 450-462. ISSN 0021-9797.

22. FITCH, Robert M. Kinetics of the diffusion of small molecules across polymer monolayers. *Journal of Colloid and Interface Science*. 1982, 90, 51-59. ISSN 0021-9797.
23. KIMBER, James A, GERST, Matthias, KAZARIAN, Sergei G. Fast Drying and Film Formation of Latex Dispersions Studied with FTIR Spectroscopic Imaging. *JOHN WILEY & SONS INC, ed. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology* [online]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2000 [cit. 2018-03-03]. ISBN 9780471238966.
24. WICKS, Zeno W, JONES, Frank J. Coatings. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology* [online]. 2013, 86 [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/0471238961.0315012023090311.a01.pub3>. ISBN 9780471238966
25. RAWLINS, James W., MENDON, Sharathkumar K. In coatings, adhesives and laminates. *Polymer Grafting and Crosslinking* [online]. 2008, 18, 273-308 [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/9780470414811.ch11>
26. KARAKAS, Gurkan, ORBEY, Nese. An experimental investigation of poly(vinyl chloride) emulsion polymerization: Effect of initiator and emulsifier concentrations on polymerization kinetics and product particle size. *Polymer international* [online]. 1989, 21, 399 [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/pi.4980210508>. ISSN: 1097-0126
27. BLOM, Alexander V. Grundlagen der Anstrichwissenschaft. *Basel* [online]. 1954, 57, 358 [cit.2018-03-04]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/lipi.19550571219>. ISSN 1438-9312.
28. WEINMANN, K. Grundlagen der lackchemie - physikalisch-chemische betrachtungen über die löslichkeit von kunstharzen, kunststoffen und anderen lackfilmbildnern in organischen lösungsmitteln. *Farbe und Lack*. 1959, 65, 535. ISBN 9783866308794.
29. WEINMANN, K. Grundlagen der lackchemie - die filmbildung von anstrichen, physikalische filmbildung durch verdunsten flüchtiger lösungsmittel. *Farbe und Lack*. 1960, 66. 571. ISBN 9783866308794
30. MLEZIVA, Josef, KÁLAL, Jaroslav. *Základy makromolekulární chemie*. Státní nakladatelství technické literatury, 380s, 1986. ISBN 978-80-7080-662-3

31. PHAM, Ha. Q., MARKS, Maurice J., *Epoxy Resins. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology* [online]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2000, 2004-11-19 [cit. 2018-03-03]. DOI: 10.1002/0471238961.0516152407011414.a01.pub2. ISBN 0471238961. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/0471238961.0516152407011414.a01.pub2>
32. KALEDOVÁ, Andrea, KALENDA, Petr. *Technologie nátěrových hmot I. : Pojiva, rozpouštědla a aditiva pro výrobu nátěrových hmot*. 1. vyd. Pardubice: Ediční středisko Univerzity Pardubice, 2004. ISBN 80-7194-691-5
33. FLICK, Ernest W. *Contemporary Industrial Coatings, Environmentally Safe Formulations*. Noyes Publishers, Park Ridge, N.J., 1985. ISBN 081551025X 9780815510253
34. HEGEDUS, Charles, PEPE, Frank R., DICKSON, John B. Waterborne acrylic-epoxy coatings. *Journal of Coatings Technology* [online]. 2002, 74, 31-39 [cit.2018-03-08]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/BF02720162>. ISSN 1935-3804.
35. MERCURIO, Antonio. Advances in Waterborne Coatings for the 1990s. America. *Paint Coat. Journal*. 1992, 36–45. ISSN 0884-3848.
36. ESLINGER, Delano R. Aliphatic epoxy emulsion crosslinker for waterborne coatings. *JCT, Journal of coatings technology*, 1995, 67.850: 45-50. ISSN 0361-8773
37. LYON, Richard E., JANSSENS Marc L. *Polymer Flammability*. Encyclopedia of Polymer Science and Technology [online]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2002, 2015-12-15, s. 1-70 [cit. 2018-03-03]. DOI: 10.1002/0471440264.pst135.pub2.. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/0471440264.pst135.pub2>. ISBN 9780471440260
38. TESORO, Giuliana C. Chemical modification of polymers with flame-retardant compounds. *Journal of polymer science: macromolecular reviews*, 1978, 13(1), 283-353. ISSN 1543-0480
39. ČAUČÍK, Pavol. a kol., *Prísady do plastov*, Bratislava: Alfa, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1985
40. FILIPI, Bohdan. *Plasty Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství*. 1. vydání, Ostrava, 2003, 48s. ISBN 80-86634-13-2
41. BABRAUSKAS, Vytenis. *Specimen heat fluxes for bench-scale heat release rate testing*. *Fire and Materials* [online]. 1995, 19, 243–252 [cit. 2018-03-12]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/fam.810190602>. ISSN 1099-1018.

42. BABRAUSKAS, Vytenis, PEACOCK, Richard D. Heat release rate: the single most important variable in fire hazard. *Fire Safety Journal*. 1992, 18, 255–272. ISSN 0379-7112
43. *CD/ISO 5660-1: 1999*. Reaction to fire tests . Part 1: Heat release rate (Cone calorimeter method).
44. LAOUTID, Fouad, et al. New prospects in flame retardant polymer materials: from fundamentals to nanocomposites. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 2009, 63(3), 100-125. ISSN 0927-796X.
45. LEVCHIK, Sergei V. Introduction to flame retardancy and polymer flammability. *Flame retardant polymer nanocomposites*, 2007, 1, 1-29. ISBN 9780470109038.
46. JANOŠOVÁ, Monika. *Aditiva užívaná pro snížení hořlavosti styrenových kopolymerů*. Zlín, 2009, 72s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická. Vedoucí práce Ing. Alena Kalendová Ph.D.
47. KULSHRESHTHA, Kumar A, VASILE, Cornelia. *Handbook of Polymer Blends and Composites*, iSmithers Rapra Publishing, 2002, 558s. ISBN 1859572782.
48. ZANETTI, Marco, et al. Cone calorimeter combustion and gasification studies of polymer layered silicate nanocomposites. *Chemistry of Materials*. 2002, 14(2), 881-887. ISSN 0897-4756.
49. BILGE, Selen. Studies on the mechanism of phosphazene ring-opening polymerization (ROP). *Turkish Journal of Chemistry*, 2011, 35(5), 745-756. ISSN 1300-0527.
50. BRUNNEROVÁ, Petra. *Fosfazenové sloučeniny pro modifikace procesů síťování epoxidových pryskyřic*. Brno, 2012. 70s. Bakalářská práce. Masarykova univerzita v Brně. Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce RNDr. Milan Alberti, CSc.
51. RICHTERA, Lukáš. *Studium reakcí $P_3N_3Cl_6$ a jeho amidoderivátů s $SeOCl_2$ a $SeCl_4$* . Brno, 2004. 74s. Diplomová práce. Masarykova univerzita v Brně. Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Doc. RNDr. J. Toužínovi, CSc.
52. KOČÍ VOZNICOVÁ, Radka. *Syntéza a charakterizace nových fosfazenových derivátů*. Brno, 2009. Disertační práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce prof. RNDr. Jiří Příhoda, CSc.
53. BAČOVSKÁ, Radka. *Reakce lineárních chlorofosfazenů s adamantany*. Brno, 2008. Bakalářská práce. Masarykova univerzita. Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce prof. RNDr. Jiří Příhoda, CSc.
54. BAČOVSKÁ, Radka. *Příprava a studium monomerních a polymerních struktur – materiálů budoucnosti*. Brno, 2017. 66s. Disertační práce. Masarykova univerzita. Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce prof. RNDr. Jiří Příhoda, CSc.

55. ŠEVČÍKOVÁ, Petra, KAŠPÁRKOVÁ, Věra, KREJČÍ, Jiří, VLTAVSKÁ, Pavlína. Dynamický rozptyl světla v analýze koloidních systémů. Chemické listy. 2014, 108, 479-482. ISSN 1213-7103
56. FTT fire testing technology. [online]. Dostupné z: <http://www.fire-testing.com/cone-calorimeter-dual>

Údaje pro databázi knihovny

Název práce	Studium vlivu hexaamino- <i>cyklo</i> -trifosfazenu na vlastnosti latexových nátěrů
Autor práce	Bc. Michaela Medunová
Obor	Technologie výroby a zpracování polymerů
Rok obhajoby	2018
Vedoucí práce	Ing. Jana Machotová, Ph.D.
Konzultant	Ing. Adéla Růckerová
Anotace	<p>V teoretické části této diplomové práce jsou ve formě rešerše zpracována témata zabývající se obecnou problematikou nátěrových hmot se zaměřením na vodou ředitelné nátěrové hmoty. Dále jsou rozebírána témata emulzní polymerace, tvorby latexových filmů a epoxidových pryskyřic. Následně je pozornost věnována hořlavosti polymerních filmů. Experimentální část je zaměřena na přípravu a charakterizaci latexů, které ve své struktuře obsahují hexaamino-<i>cyklo</i>-trifosfazen, jakožto retardér hoření a síťující činidlo. Další část je věnována zvolení optimálního poměru latexu / vodné epoxidové pryskyřice a fosfazenu jako nízkomolekulárního tvrdidla latexů funkcionalizovaných glycidyllovými skupinami. V poslední části práce jsou charakterizovány a vyhodnoceny vlastnosti nátěrových filmů na bázi kompozic latex / vodná epoxidová disperze a latex / hexaamino-<i>cyklo</i>-trifosfazen.</p>
Klíčová slova	Emulzní polymerace, latex, retardér hoření, fosfazen, nátěr, vodná epoxidová disperze, epoxidová pryskyřice