

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA STROJNÍ**

Ústav strojírenské technologie

**DETEKCE MASTNÝCH NEČISTOT NA POVRCHU  
PLASTŮ**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Autor:** Avagjan Hrant

**Studijní obor:** Výroba a ekonomika ve strojírenství

**Vedoucí práce:** Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

**Konzultant:** Ing. Michal Zoubek

Praha 2017



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Avagjan** Jméno: **Hrant** Osobní číslo: **412850**  
 Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
 Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**  
 Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**  
 Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Detekce mastných nečistot na povrchu plastů**

Název bakalářské práce anglicky:

**Detection of grease on the surface of plastics**

Pokyny pro vypracování:

1. Rozbor problematiky plastových materiálů.
2. Detekce mastnoty na vzorcích z plastů.
3. Technicko-ekonomické zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

Dle pokynů vedoucího

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Jan Kudláček Ph.D., ústav strojírenské technologie FS**

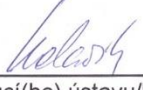
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

**Ing. Michal Zoubek, ústav strojírenské technologie FS**

Datum zadání bakalářské práce: **25.04.2017** Termín odevzdání bakalářské práce: **10.08.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: **10.08.2017**

  
Podpis vedoucí(ho) práce

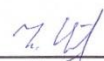
  
Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
Podpis děkana(ky)

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

12.5.2017  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v přiloženém seznamu.

V Praze dne DATUM

.....

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Janu Kudláčkovi, Ph.D., za vedení, odbornou pomoc a připomínky při vypracování bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Michalu Zoubkovi za odborné rady a pomoc při laboratorním měření a Ing. Zdeňce Jeníkové, Ph.D., za poskytnutí vzorků.

**Anotace:**

Bakalářská práce se zabývá problematikou polymerních materiálů – plastů a možností detekce nečistot na jejich površích. V práci je zdůrazněno, z jakého důvodu je snaha nahrazení klasických materiálů (ocel, hliník) plasty. Dále je v práci kladen důraz na vysvětlení problematiky mechanických vlastností polymerů, jejich chemické složení a možností detekce zamaštění v průmyslových aplikacích. Součástí praktické části bakalářské práce je porovnání fluorescence odlišných odstínů ABS plastů, tedy vliv pigmentů a aditiv na fluorescenci těchto materiálů. Tyto a další typy průmyslově používaných plastů byly navíc dále testovány z hlediska možností detekce nečistot a olejových filmů pomocí UV-VIS spektroskopie.

**Klíčová slova:**

Recognoil, plasty, nečistoty, mastnota, olej, detekce, fluorescence, kompozity

**Anotation:**

The bachelor thesis deals with the problems of polymer materials - plastics and possibilities of detection of impurities on their surfaces. The work highlights the reason for the effort to replace plastic materials (steel, aluminum). In addition, the thesis emphasizes the explanation of the mechanical properties of polymers, their chemical composition and the possibility of detection of crimping in industrial applications. Part of the practical part of the bachelor thesis is the comparison of the fluorescence of different shades of ABS plastic, i.e. the influence of pigments and fluorescence additives on these materials. These and other types of industrially used plastics were further tested for UV and VIS spectroscopy detection options for impurities and oil films.

**Key words:**

Recognoil, plastic, impurity, grease, oil, detection, fluorescence, composites

# Obsah

1	Úvod .....	8
2	Rozvoj plastů .....	9
3	Kompozity .....	11
3.1	Definice kompozitu .....	11
4	Dělení plastů .....	14
4.1	Vlastnosti a odolnost plastů .....	15
4.1.1	Polystyrén .....	15
4.1.2	Polyetylen .....	15
4.1.3	Polyvinylchlorid .....	17
4.1.4	Polypropylen .....	18
4.1.5	Kopolymer akrylonitril-butadien-styren .....	20
4.1.6	Acetát celulózy .....	21
4.1.7	Polytetrafluoretylen .....	22
4.1.8	Polyamidy .....	23
4.1.9	Polyoxymetylen .....	24
4.1.10	Polykarbonát .....	25
4.1.11	Polyetylentereftalát .....	26
4.1.12	Polymethylmetakrylát .....	27
4.1.13	Fenolformaldehydová pryskyřice .....	28
4.1.14	Močovinoformaldehydová pryskyřice .....	29
4.1.15	Melaminformaldehydová pryskyřice .....	30
4.1.16	Nenasycené polyestery .....	31
4.1.17	Epoxidová pryskyřice .....	32
4.2	Nejpoužívanější plasty .....	33
4.3	Plasty v automobilovém průmyslu .....	33
4.4	Povrchové napětí plastu .....	34

4.5	Předúprava povrchu plastu před lakováním .....	35
5	Detekce nečistot .....	36
5.1	Fixy a inkousty .....	36
5.2	Metoda porušení souvislého vodního filmu .....	37
5.3	Metoda hmotnostní .....	37
5.4	Metody fluorescenční .....	38
5.5	UV – VIS spektroskopie .....	39
5.5.1	Luminiscence .....	41
5.5.2	Duhy luminiscence: .....	42
5.5.3	Fluorescence a fosforescence .....	44
5.5.4	Fotoluminiscence u organických látek .....	44
5.5.5	Fluorescein .....	45
5.5.6	Fotoluminiscence polymeru .....	46
5.5.7	Fotoluminiscence nanočástic .....	48
6	Experimentální část .....	49
6.1	Fluorescence odlišných odstínů ABS .....	49
6.2	Detekce mastnoty .....	55
6.3	Detekce mastnoty za pomoci inkoustu .....	61
8	Závěr .....	63
	Seznam zkratk .....	64
	Seznam literatury .....	66
	Seznam tabulek .....	69
	Seznam obrázků .....	71
	Přílohy .....	73

# 1 Úvod

Pod názvem plasty se označují materiály, jejichž velkou část tvoří organické makromolekulární látky, jako jsou například polymery. Plasty také obsahují takzvané přísady neboli aditiva, která upravují vlastnosti materiálu. Z hlediska možností detekce mastných nečistot na površích plastů (např. pro kontrolu stavu povrchu po odmaštění před lakováním plastu) je poměrně omezující pro použití detekčních fixů či inkoustů povrchové napětí různých typů plastů. Z tohoto důvodu je práce orientována na ověření možností detekce mastnoty a dalších kontaminantů na plastech (prach, inkoust, aj.) pomocí zařízení Recognoil, které slouží primárně pro detekci mastnoty na kovech. Zařízení je založeno na principu vyvolání a zaznamenání fluorescence mastných látek a tedy různé komponenty či složení polymeru mohou oproti kovům svojí schopností fluorescence znesnadnit či dokonce zabránit detekci nečistot tímto zařízením.

Nečistoty a prach jsou hlavním problémem při lakování či lepení. Prachové částice jsou přitahovány z okolí elektrostatickým nábojem a platí, že čím vyšší je náboj, tím je tato kontaminace větší. Výrobky z plastu se musí při nanášení laku nebo při procesu pokovování odmastit, jinak může docházet k nežádoucím defektům povlaku či ztrátě jeho adheze. Pro dodržení požadovaného stupně čistoty povrchu je žádoucí ověřit kvalitu odmaštění detekčním zařízením. [10]



## 2 Rozvoj plastů

Rozvoj syntetických materiálů, hlavně plastů, výrazně předstihuje rozvoj klasických materiálů, jako jsou kovy. Každým rokem se rozšiřuje aplikace plastů jako náhrada za klasické materiály. Syntetické materiály se aplikují ve strojírenství, stavebnictví, elektrotechnice, zemědělství a v obalové technice. Vývoj plastů stále pokračuje a objevují se nové typy například pro interiér do auta ve formě dekorací nebo imitace dražších materiálů, kryty, ochrany, izolace, dokonce se vyrábí plasty pro raketoplány. [1]

Plasty se staly základem téměř pro všechna průmyslová odvětví a v některých případech nejsou nahraditelné klasickými materiály. Objev plastu byl zaznamenán v 19. století, ale existují důkazy, že se už v době neandertálců používal plast s lepicími vlastnostmi. Ve středověku lidé používali plasty přírodního původu. Rohy býka ohřáli na 125 °C, takže tímto procesem změkly, a používali je jako sklíčko do luceren nebo jako okna. Prvním plastem byl parkesin neboli umělá slonovina (chemický nitrát celulózy). Vynalezl ho Angličan Alexander Parkes v roce 1855. V dnešní době se tato směs považuje za základ pro dnešní plasty. Další plast, za který již obdržel patent, nesl název celuloid. Prvním syntetickým plastem byl bakelit. Polyetylen objevil Hans von Peckman v roce 1891. První vinylové plasty, jako jsou PVC a polystyren, byl vyvinut až po první světové válce. [1] [11]

Celuloid je sloučenina poměru 70–80 dílů nitrocelulózy s obsahem dusíku 11 % a 30 dílů kafry, který slouží jako rozpouštědlo. Má 14 dílů barviva, 1–5 dílů etanolu a k tomu ještě stabilizátory a přísady, díky nimž získává trvanlivost a také je i méně hořlavý. Následně Američan John Wesley rozšířil celuloid tím, že ho použil na výrobu pingpongových míčků, vložek do límečků a nejméně na výrobu filmů.

Filmový průmysl byl tím největším odběratelem celuloidu díky tomu, že materiál je velmi pružný, průhledný a přijatelný k nanášení fotocitlivé vrstvy. Měl však ale i řadu záporných vlastností, např. uměl výborně hořet i bez přístupu vzduchu, což pro archiváře a promítače filmů znamenalo katastrofu.

Historicky významné produkty z plastu:

**Guma:** Vinylchlorid vynalezl Justus von Liebig v roce 1835 a následně se začal vyvíjet. V roce 1839 Charles Goodyear objevil proces vulkanizace, který ještě více zdokonalil vlastnosti gumy. Díky tomu také lze upravit gumu, ale především zlepšit její vlastnosti (pružnost).

**Celofán:** Od roku 1960 je využíván pro balení výrobků.

**PET lahve:** Vyrábí se z polyethylentereftalátu a jsou dostupné již od 80. let dvacátého století. Používaly se na trhu jako balení nápojů od roku 1977 a od roku 1980 se používají i na teplé nápoje. [2] [12]

## 3 Kompozity

Kompozit musí být složen z několika oddělených fází. Jsou nehomogenní, ale jako technický materiál se považují za homogenní. Kvůli tomu se v kompozitu zavádí fiktivní hodnoty:

- Napětí v kompozitu [MPa]
- Relativní deformace kompozitu [-]

Tyto hodnoty se liší od skutečných v matici i disperzi, ale vzájemně spolu souvisí. Kompozitní materiály jsou uspořádány tak, že vyvolávají jejich anizotropii\*.

- Stejný směr
- Vícesměrové uspořádání – pootočený o 90 stupňů přes sebe

*Uspořádání vrstev do více směrů dodává materiálu výrazně větší odolnost. [7]*

\* **Anizotropie** je vlastnost, kterou se označuje závislost určité veličiny na volbě směru.

### 3.1 Definice kompozitu

**Obecné definice kompozitu:**

**Definice MIL – NASA USA:** *Kompozitní materiál je kombinace dvou nebo více materiálů (vyztužovací elementy, výplně a spojovací matrice), lišících se v makroměřítku tvarem nebo složením. Složky si v nich zachovávají svou identitu (tzn. vzájemně se úplně nerozpouštějí ani neslučují), ačkoliv na své okolí působí v součinnosti. Každá složka může být fyzikálně identifikována a mezi ní a dalšími složkami je rozhraní.*

**Definice G. F. Milтона, Cambridge:** *Kompozity jsou materiály, ve kterých jsou délkové nehomogenity v rozměrech mnohem větších, než jsou atomární (což nám umožňuje používat pro tyto nehomogenity rovnice klasické fyziky), které jsou ale v makroskopickém měřítku přirozeně (statisticky) homogenní.*

Jedná se tedy o pevnou látku, která je složena nejméně ze dvou fází (přírodní i umělé). Kompozit musí obsahovat nejméně jednu fázi, která je spojitá a drží pohromadě (matrice). Nespojité rovnoměrné fáze by měly být rozptýlené (disperze). Je tedy dosahováno vlastností, které nemají složky a nedají se dosáhnout ani jejich sumací (synergický efekt) [7]

**Přínosy kompozitů**

Kompozitní materiál je složen z pojiva (matrice) a z vláken (tkanina) nebo z jednosměrné vláknové výztuže. V dnešní době se používají z vláknové výztuže a polymerního pojiva kvůli pevnostně náročným aplikacím. Když spojíme relativně pevná a tuhá vlákna s pojivem, které má podstatně menší tuhost i pevnost než vlákna, ale zároveň vyšší houževnatost, vznikne materiál, který kombinuje vlastnosti těchto dvou komponentů. Jejich vlastnosti mohou být směřovány v libovolném směru. Struktury kompozitního materiálu se odvíjí typem a zatížením dílu. [9]

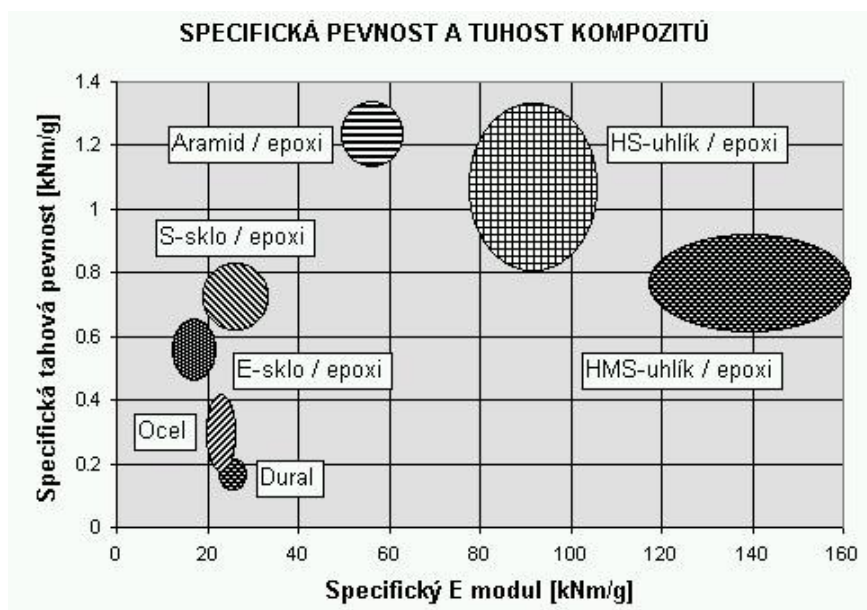
Tabulka 1: Vlastnosti jednosměrných kompozitů [9]

Typ vlákna použitý v kompozitu	Hustota [g.cm <sup>-3</sup> ]	Tahový modul [GPa]	Tahová pevnost [MPa]
E-Sklo	1,94	45	1000
Kevlar 49	1.30	76	1380
T-300 (uhlík)	1,47	132	1240

**E-Sklo:** Vhodný jako elektroizolační materiál.

**Kevlar 49:** Používá se v optických vláknech, zpevnění plastu, lana, kabely a kompozity pro letectvo.

**T-300:** Uhlíkové vlákno, křehké, v podélném směru vrstev mají uhlíková vlákna malý elektrický odpor, ve směru kolmém k ose mají vlákna výrazně menší modul pružnosti.



Obrázek 1 – Pevnost a tuhost kompozitů (platí pro jednosměrné výztuže) [9]

Podle požadavku konstruktéra lze zvolit typ vlákna, které splňuje vlastnosti kompozitního materiálu:

Tabulka 2: Volba vlákna [9]

Konstrukční požadavky	Volba vlákna
Pevnost	Uhlík
Tuhost	Uhlík
Houževnatost	Aramid*
Creep	Uhlík
Únava	Uhlík
Nízká cena	E-Sklo
Prostup světla	E-Sklo
Korozivzdornost	Sklo
Radioprůzračnost*	D-Sklo
Nejvyváženější mechanické vlastnosti	E-Sklo

A podle konkrétních vláken se vybere správné pojivo:

Tabulka 3: Volba pojiva [9]

Konstrukční požadavky	Volba pojiva
Ohnivzdornost	Fenol
Korozivzdornost	Bismaleid
Teplotní odolnost	Fenol, polyimid
Prostup světla	Polyester
Nízká cena	Polyester
Houževnatost	Epoxi, termoplast
Nejvyváženější mechanické vlastnosti	Epoxi

\***Aramid**: pevný žáruvzdorný syntetický materiál. Používá se v leteckém průmyslu a v armádě (neprůstřelné vrstvy). [14]

\***Radioprůzračnost**: jedná se o materiály, které propouští elektromagnetické vlnění. [16]

\***D-Sklo**: borosilikátové sklo s dielektrickými vlastnostmi. [15]

## 4 Dělení plastů

Tradičně se plasty dělí na termoplasty a reaktoplasty. Důležitou vlastností u termoplastů je možnost opakovaného převádění do stavu taveniny nebo viskózního toku ohřevem a ochladit do stáhnutí při teplotách, které jsou charakteristické pro daný typ termoplastu. Díky tomu se termoplasty dají jednoduše recyklovat. Reaktoplasty procházejí chemickou reakcí při zpracování a účinkem tepla, záření nebo síťovacích činidel vytvoří husté prostorové zesíťované struktury. Po tomhle procesu jsou molekuly vzájemně pospojované kovalentními vazbami. Tento proces se nazývá vytvrzování a u kaučuku vulkanizace. Nevýhodou reaktoplastu oproti termoplastům je netavitelnost a nerozpustnost, a proto recyklace u reaktoplastu představuje poměrně obtížnou záležitost a vyžaduje jiné postupy.

Někdy se plasty dělí i na:

- **Plasty na bázi kondenzačních produktů**, např. fenolformaldehydové a aminoaldehydové pryskyřice, polyestery atd.
- **Plasty na bázi přírodních produktů**, a to celulózy, bílkovin, bitumenu a rostlinných olejů.
- **Polysyntetické hmoty** vznikající chemickou nebo fyzikální přeměnou přírodních polymerů. Jsou to například hmoty získané přeměnou přírodního kaučuku, celulózy, bílkovin atd.
- **Plně syntetické hmoty** vyráběné syntézou nízkomolekulárních organických sloučenin.

Plasty nelze rozdělit přísně schematicky podle odlišného chování, protože zahrnují velké množství látek s odlišnými vlastnostmi. U převážné většiny vysokomolekulárních organických látek s lineární strukturou můžeme získat sklovitý, kaučukový nebo kapalný stav. [2] [3]

## 4.1 Vlastnosti a odolnost plastů

Vlastnosti a odolnost polymerů jsou dány jejich základní chemickou a fyzikální strukturou.

### PLASTY:

1) Termoplasty:	2) Reaktoplasty:
1. Polystyrén	1. Fenolformaldehydová pryskyřice
2. Polyetylen	2. Močovinoformaldehydová pryskyřice
3. Polyvinylchlorid	3. Melaminformaldehydová pryskyřice
4. Polypropylen	4. Nenasycené polyestery
5. Kopolymer-akrylonitril-butadien-styren	5. <i>Epoxidová pryskyřice</i> [4]
6. Acetát celulózy	
7. Polytetrafluoretylen	
8. Polyamidy	
9. Polyoxymetylen	
10. Polykarbonát	
11. Polyethyléntereftalát	
12. Polymetylmetakrylát	

### 4.1.1 Polystyrén

Zkratka: PS

#### ***Vlastnosti:***

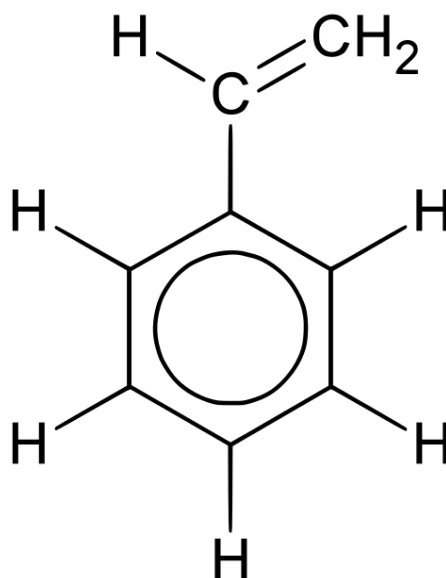
Tvrký, křehký, průhledný, teplotně odolný do 80 °C, odolný vůči neoxidačním kyselinám a zásadám, dobře rozpustný, snadno se lepí a zpracovává. Velmi dobré elektroizolační a dielektrické vlastnosti, venku rychle stárne.

#### ***Použití:***

Šrouby a závitové součásti pro elektrotechniku, malé průhledy, víčka, tlačítka, skříňky, talířky, lžičky, krabičky, hračky. Pěnový polystyren jako tepelná izolace ve stavebnictví, strojírenství; tvarové obaly apod. [4]

Tabulka 4: Mechanické a fyzikální vlastnosti polystyrénu [4]

Mechanické vlastnosti			
$R_m$ [MPa]	$E$ [MPa]	$A$ [%]	$\phi$ [%]
32 - 60	3 200	3 - 4	0,2 - 0,5
Fyzikální vlastnosti			
$t_g/t_t$ [°C]	$C_p$ [kJ.kg <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> ]	$\rho$ [kg.dm <sup>-3</sup> ]	$\epsilon$ [1]
92	1,17	1,05	2,5



Obrázek 2 – Základní vazba polystyrénu [8]

#### 4.1.2 Polyetylen

Zkratka: PE

##### Vlastnosti:

**rPE** – Měkký, houževnatý, teplotně odolný od 60 °C do 90 °C, chemicky odolný proti kyselinám, zásadám, olejům a rozpouštědlům, výborný vysokofrekvenční izolátor.

**IPE** – Tužší, pevnější, méně houževnatý, teplotně odolný až do 95 °C

##### Použití:

**rPE** – Nenamáhaná, málo pružná těsnění, hadice, vodovodní trubky, nádoby, lahve, víčka ve farmaceutice a potravinářství, fólie na obaly a antikoroziční povlaky.

**IPE** – Velké nádoby, dřezy, kbelíky, kanystry, vodovodní trubky, potrubní spojky, tvarovky a armatury. Vysokomolekulární PE na ozubená kola, lanové kotouče, otěruvzdorné lišty apod.

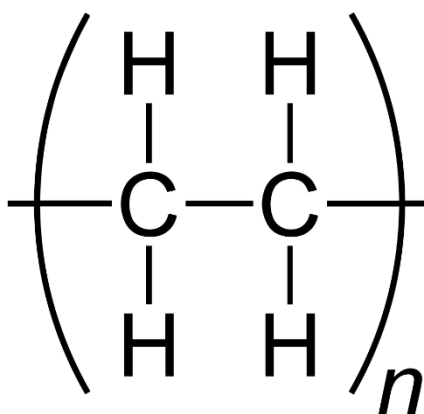


Tabulka 5: Mechanické a fyzikální vlastnosti rPE [4]

Mechanické vlastnosti			
R <sub>m</sub> [MPa]	E [MPa]	A [%]	φ [%]
8 - 10	150 - 500	300 - 1 100	1,5 - 3
Fyzikální vlastnosti			
t <sub>g</sub> /t <sub>t</sub> [°C]	C <sub>p</sub> [kJ.kg <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> ]	ρ [kg.dm <sup>-3</sup> ]	ε [1]
-110/120	2,3 - 2,5	0,92 – 0,94	2,3 – 2,5

Tabulka 6: Mechanické a fyzikální vlastnosti IPE [4]

Mechanické vlastnosti			
R <sub>m</sub> [MPa]	E [MPa]	A [%]	φ [%]
15 - 25	600 - 1 400	20 - 50	0,2 – 0,5
Fyzikální vlastnosti			
t <sub>g</sub> /t <sub>t</sub> [°C]	C <sub>p</sub> [kJ.kg <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> ]	ρ [kg.dm <sup>-3</sup> ]	ε [1]
-122/137	2 – 2,3	0,94 – 0,96	2,3 – 2,5



Obrázek 3 – Základní vazba polyetylenu [8]

### Liten MB 71

Liten MB 71 je vysokohustotní polyetylen. Dodává se v podobě přírodního granulátu. Délka granulí se pohybuje v rozmezí 2–6 mm. Sytná hmotnost granulátu je 520–580 kg.m<sup>-3</sup>. Lze ho obecně používat do 100 °C, ale u výrobků, kde jsou vysoké požadavky na mechanickou pevnost a tuhost, nesmí trvalá teplota překročit 70 °C, nárazově 90 °C.

Tabulka 7: Mechanické a fyzikální vlastnosti Litenu MB 71 [5]

VLASTNOST	Jednotka	TYPICKÁ HODNOTA	Zkušební metoda
INDEX TOKU TAVENINY (190/2,16)	g/10 min	8	ČSN EN ISO 1133
INDEX TOKU TAVENINY (190/5)	g/10 min	25	ČSN EN ISO 1133
HUSTOTA	Kg.m <sup>-3</sup>	963	ČSN EN ISO 1183
NAPĚTÍ NA MEZIKLUZU	MPa	25	ČSN EN ISO 527
TAŽNOST NA MEZIKLUZU	%	8.5	ČSN EN ISO 527
VRUBOVÁ HOUŽEVNATOST CHARPY 23 °C	kJ.m <sup>-2</sup>	6.5	ČSN EN ISO 179
VRUBOVÁ HOUŽEVNATOST CHARPY -30 °C	kJ.m <sup>-2</sup>	5.5	ČSN EN ISO 179
TEPLOTA MĚKNUTÍ DLE VICATA	°C	126	ČSN EN ISO 306
OHYBOVÝ MODUL	MPa	1100	ČSN EN ISO 178
TVRDOST SHORE D	-	58	ČSN EN ISO 868

S klesající teplotou klesá houževnatost a křehne při teplotě pod 30 °C. Díky těmto vlastnostem je velmi stálý vůči roztokům anorganických soli, kyselin a zásad. Neodolává pouze oxidačním činidlům, v některých halogenovaných a aromatických uhlovodících za vyšších teplot bobtná. Má prakticky nulovou navlhavost a nasákavost. [4][5]

### 4.1.3 Polyvinylchlorid

Zkratka: PVC

#### Vlastnosti:

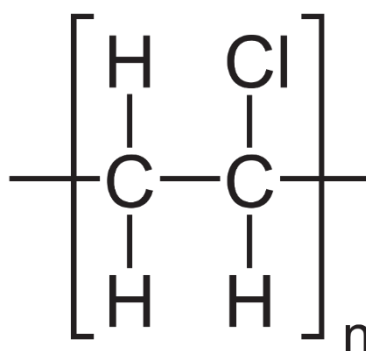
Tvrký, pevný, dosti křehký, odolný kyselinám, zásadám, teplotně od -5 °C do 60 °C, uspokojivé elektroizolační vlastnosti, dobře se svařuje a lepí. Měkčený PVC obsahuje změkčovadla; měkký, ohebný, horší chemické a elektroizolační vlastnosti než tvrdý PVC. Pod 0 °C křehne.

#### Použití:

Vodovodní a odpadní potrubí, armatury, součásti čerpadel a trubky pro chemický průmysl, tvarovky, kyselinovzdorná vyložení nádrží. Měkčený na kabely, hadice, těsnění, podrážky, podlahoviny, vyložení nádrží, povlaky dopravních pásů, samolepicí tapety, těsnicí fólie, izolace vodičů. [4]

Tabulka 8: Mechanické a fyzikální vlastnosti polyvinylchloridu [4]

Mechanické vlastnosti			
R <sub>m</sub> [MPa]	E [MPa]	A [%]	φ [%]
46 - 65	2 900 – 3 400	20 - 50	0,2 - 0,5
Fyzikální vlastnosti			
t <sub>g</sub> /t <sub>t</sub> [°C]	C <sub>p</sub> [kJ.kg <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> ]	ρ [kg.dm <sup>-3</sup> ]	ε [1]
75/-	0,83 - 0,92	1,4	3,2 - 4



Obrázek 4 – Základní vazba polyvinylchloridu [8]

#### 4.1.4 Polypropylen

Zkratka: PP

##### Vlastnosti:

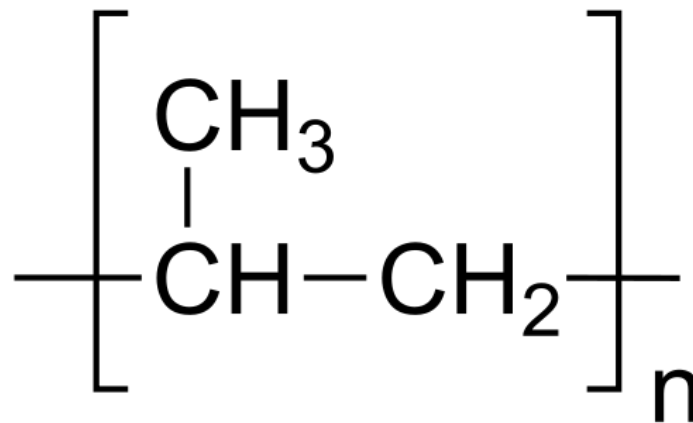
Dostí pevný, tuhý, houževnatý, teplotně odolný až do 130 °C, křehne pod -10 °C. Ostatní vlastnosti jsou stejné jako u PE.

##### Použití:

Potrubí a jeho součásti pro horkou vodu, vlnovce, tělesa čerpadel, oběžná kola ventilátorů, nádoby akumulátorů, sterilizovatelné injekční stříkačky, přepravky na lahve a potraviny; též vlákna na pytle a plovoucí lana.

Tabulka 9: Mechanické a fyzikální vlastnosti polypropylenu [4]

Mechanické vlastnosti			
R <sub>m</sub> [MPa]	E [MPa]	A [%]	φ [%]
26 - 38	3 500	0,91	1 - 2
Fyzikální vlastnosti			
t <sub>g</sub> /t <sub>t</sub> [°C]	C <sub>p</sub> [kJ.kg <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> ]	ρ [kg.dm <sup>-3</sup> ]	ε [1]
-	1,4	0,91	2,25



Obrázek 5 – Základní vazba polypropylenu [8]

### Mosten MA 230

Polypropylen Mosten MA 230 je vysokotekoucí homopolymer s antistatickou aditivací. Velmi dobře se dá zpracovávat a výrobky mívají velmi vysoký lesk. Používá se při výrobě tenkostěnných výrobků, jako jsou například obaly pro potravinářský průmysl, dříve obaly VHS kazet, dnes DVD disků apod.

Tabulka 10: Mechanické a fyzikální vlastnosti mostenu MA 230 [5]

VLASTNOST	Jednotka	TYPICKÁ HODNOTA	Zkušební metoda
INDEX TOKU TAVENINY (230/2,16)	g/10 min	30	ČSN EN ISO 1133
OHYBOVÝ MODUL	MPa	1550	ČSN EN ISO 178
NAPĚTÍ NA MEZIKLUZU	MPa	35	ČSN EN ISO 527
VRUBOVÁ HOUŽEVNATOST CHARPY 23 °C	$\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$	2	ČSN EN ISO 179
HDT (1,8 MPa)	°C	55	ČSN EN ISO 75

Polypropylen mosten má tepelněizolační vlastnosti. Jeho teplota tání krystalického podílu homopolymeru je (160–168) °C, kopolymeru (125–168) °C. Teplota skelného přechodu  $T_g$  homopolymeru se pohybuje okolo -10 °C. Při nižších teplotách se sníží houževnatost materiálu a při teplotě pod -20 °C je křehký. Při použití materiálu v mínusových teplotách se doporučují kopolymery, které mají teplotu skelného přechodu  $T_g$  nižší než homopolymery. Chemicky je polypropylen mosten stálý vůči roztokům anorganických solí, kyselin a zásad díky svému nepolárnímu charakteru ve velkém rozsahu teplot. [4][5]

#### 4.1.5 Kopolymer akrylonitril-butadien-styren

Zkratka: ABS

##### Vlastnosti:

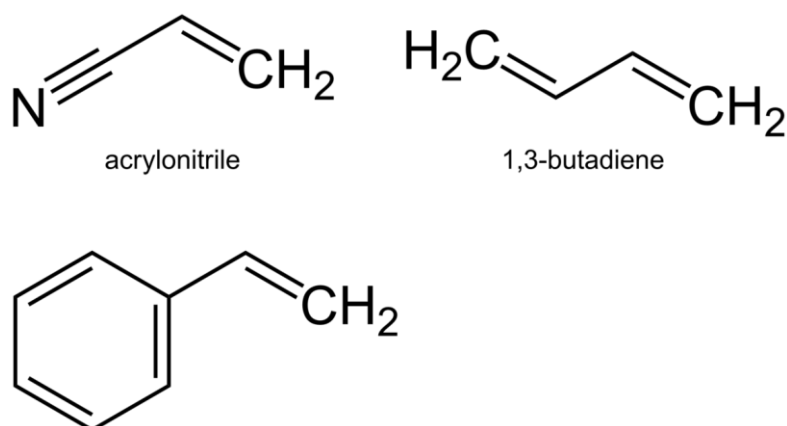
Pevný, tuhý, velmi houževnatý, teplotně odolný od -30 °C do 85 °C, chemicky odolný, ve vnější atmosféře stárne.

##### Použití:

Kryty a tělesa přístrojů, vysavačů, kancelářských strojů, ochranné přilby, skříňky radiopřijímačů, přístrojové desky, části karoserií aut; lze galvanicky chromovat. [4]

Tabulka 11: Mechanické a fyzikální vlastnosti ABS [4]

Mechanické vlastnosti			
$R_m$ [MPa]	$E$ [MPa]	$A$ [%]	$\phi$ [%]
30 - 50	1 800 - 2 800	15 - 30	0,4 - 0,7
Fyzikální vlastnosti			
$t_g/t_t$ [°C]	$C_p$ [kJ.kg <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> ]	$\rho$ [kg.dm <sup>-3</sup> ]	$\epsilon$ [1]
-	1,3 – 1,7	1,25 - 1,32	5 - 6



Obrázek 6 – Základní vazba ABS [8]

#### 4.1.6 Acetát celulózy

Zkratka: CA

##### Vlastnosti:

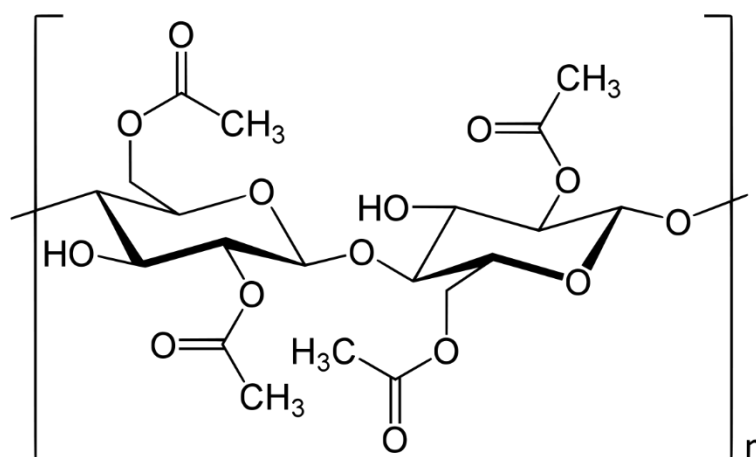
Pevný, velmi houževnatý, průhledný i barvitelný, mírně navlhá; odolný proti olejům, tukům a benzinu, teplotně od -20 °C do 100 °C. Neodolává kyselinám, zásadám a alkoholům, dobře se lepí.

##### Použití:

Držadla, rukojeti náradí, volanty aut, osvětlovací tělesa, světelná tlačítka, ozdobné kryty, stínidla, filmové pásy. [4]

Tabulka 12: Mechanické a fyzikální vlastnosti acetátu celulózy [4]

Mechanické vlastnosti			
Re [MPa]	E [MPa]	A [%]	ϕ [%]
30 - 60	1 500 – 3 000	15 - 30	0,4 – 0,7
Fyzikální vlastnosti			
t <sub>g</sub> /t <sub>t</sub> [°C]	C <sub>p</sub> [kJ.kg <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> ]	ρ [kg.dm <sup>-3</sup> ]	ε [1]
-	1,3 – 1,7	1,25 – 1,32	5 - 6



Obrázek 7 – Základní vazba acetátu celulózy [8]

#### 4.1.7 Polytetrafluoretylen

Zkratka: PTFE

##### Vlastnosti:

Méně pevný, velmi houževnatý, odolný proti všem chemikáliím, teplotně od -250 °C až 250 °C, vysoká kluznost, výborný vysokofrekvenční izolátor, nelze jej roztavit.

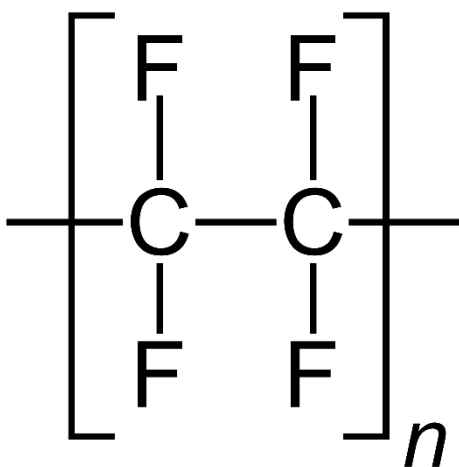
##### Použití:

Samomazná kluzná a metaloplastická ložiska, kluzná vedení, těsnění, ucpávky a hadice pro agresivní prostředí za vysokých teplot, pístní kroužky, membrány, vlnovce, antiadhezní a chemicky odolné povlaky. [4]

Tabulka 13: Mechanické a fyzikální vlastnosti polytetrafluoretylenu [4]

Mechanické vlastnosti			
R <sub>m</sub> [MPa]	E [MPa]	A [%]	φ [%]
10 - 30	430 - 750	250 - 500	3 - 5
Fyzikální vlastnosti			
t <sub>g</sub> /t <sub>t</sub> [°C]	C <sub>p</sub> [kJ.kg <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> ]	ρ [kg.dm <sup>-3</sup> ]	ε [1]
-110/327	1	2,14 – 2,2	2,1

Obrázek 8 – Základní vazba polytetrafluoretylenu [8]



#### 4.1.8 Polyamidy

Zkratka: PA

**Vlastnosti:**

Pevné, tuhé, houževnaté, odolné proti opotřebení, dobře tlumí nárazy a chvění, odolné slabým zásadám, olejům a rozpouštědlům, teplotně do 80 °C, některé typy na vzduchu navlhají, neodolávají kyselinám, dobré elektroizolační vlastnosti.

**Použití:**

**PA 66** – Šrouby, matice, ozubená kola, váčky, kluzná ložiska, klece valivých ložisek, nosná tělesa, rotory ventilátorů.

**PA 6** – jako **PA 66**, dále kladky, řemenice, silent bloky, součásti spojek, hadice, řemeny, lana. Vlákná (silon, nylon, dederon atd.), rybářské vlasce, struny. Povlaky jako ochrana proti korozi a otěru. [4]

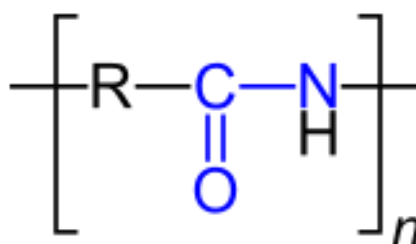


Tabulka 14: Mechanické a fyzikální vlastnosti PA 66 [4]

Mechanické vlastnosti (PA 66)			
Re [MPa]	E [MPa]	A [%]	ϕ [%]
55 - 85	1 700 – 3 000	30 - 220	1 - 2
Fyzikální vlastnosti (PA 66)			
t <sub>g</sub> /t <sub>t</sub> [°C]	C <sub>p</sub> [kJ.kg <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> ]	ρ [kg.dm <sup>-3</sup> ]	ε [1]
65/265	1,7	1,12 – 1,15	4 - 6

Tabulka 15: Mechanické a fyzikální vlastnosti PA 6 [4]

Mechanické vlastnosti (PA 6)			
R <sub>m</sub> [MPa]	E [MPa]	A [%]	ϕ [%]
30 - 85	900 – 3 200	50 - 250	1 – 2,5
Fyzikální vlastnosti (PA 6)			
t <sub>g</sub> /t <sub>t</sub> [°C]	C <sub>p</sub> [kJ.kg <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> ]	ρ [kg.dm <sup>-3</sup> ]	ε [1]
40/22	1,7 – 2,1	1.12 - 1.15	4,3



Obrázek 9 – Základní vazba polyamidu [8]

#### 4.1.9 Polyoxymetylen

Zkratka: POM

**Vlastnosti:**

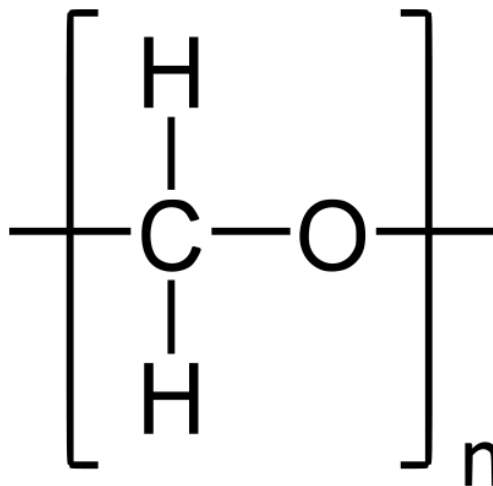
Pevný, tuhý, mimořádně houževnatý a nárazuvzdorný, průhledný, odolný slabým kyselinám, benzínu, oleji, teplotně do 120 °C, neodolává zásadám a aromatickým uhlovodíkům; křehne při -190 °C.

**Použití:**

Nerozbitné nádoby, kryty světel, ochranné kryty např. svorkovnice, průhledy, nosná tělesa; též elektroizolační fólie pro vyšší teploty. [4]

Tabulka 16: Mechanické a fyzikální vlastnosti polyoxymetyleny [4]

Mechanické vlastnosti			
Re [MPa]	E [MPa]	A [%]	φ [%]
70	2 800 – 3 500	10 - 14	1 - 3,5
Fyzikální vlastnosti			
t <sub>g</sub> /t <sub>t</sub> [°C]	C <sub>p</sub> [kJ.kg <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> ]	ρ [kg.dm <sup>-3</sup> ]	ε [1]
-40/181	1,47 – 1,5	1,42	4



Obrázek 10 – Základní vazba polyoxymetyleny [8]

#### 4.1.10 Polykarbonát

Zkratka: PC

##### Vlastnosti:

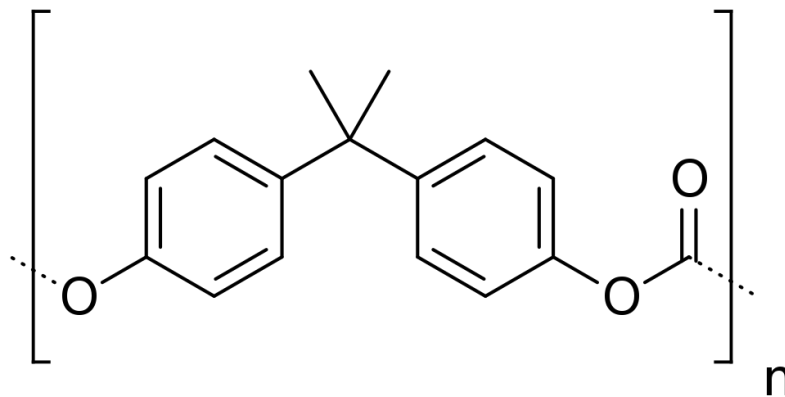
Pevný, houževnatý, odolný proti opotřebení, rozměrově stálý do 110 °C.

##### Použití:

Ozubená kola, kluzná ložiska a kluzné prvky, nosná tělesa, elektroizolační fólie kabelů a transformátorů do 150 °C, membrány reproduktorů, magnetofonové pásky, tiskařské fólie, pokovované fólie na tištěné spoje a miniaturní kondenzátory, vlákna (terylen, tesil) pro oděvnictví a technické tkaniny, pogumované tkaniny na nafukovací čluny, haly, nádrže atd. [4]

Tabulka 17: Mechanické a fyzikální vlastnosti polykarbonátu [4]

Mechanické vlastnosti			
Re [MPa]	E [MPa]	A [%]	ϕ [%]
60 - 65	2 000 - 2 200	80 - 120	0,7 – 0,8
Fyzikální vlastnosti			
t <sub>g</sub> /t <sub>t</sub> [°C]	C <sub>p</sub> [kJ.kg <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> ]	ρ [kg.dm <sup>-3</sup> ]	ε [1]
144/-	1,3	1,22	3



Obrázek 11 – Základní vazba polykarbonátu [8]

#### 4.1.11 Polyetylentereftalát

Zkratka: PETP

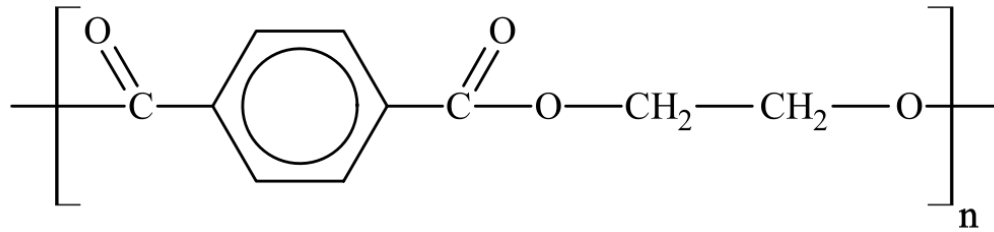
**Vlastnosti:**

Pevný, tuhý, průhledný, velmi dobré optické vlastnosti, odolný slabým kyselinám, zásadám a nepolárním rozpouštědlům, teplotně do 65 °C, dobře se lepí nepolárními lepidly, dobré elektroizolační vlastnosti, odolný proti povětrnostním podmínkám.

**Použití:** Ochranné kryty a štíty strojů a přístrojů, optické části laboratorních přístrojů, modely pro fotoelascimetrii, světelné reklamy, zubařské hmoty (dentakryl) aj. [4]

Tabulka 18: Mechanické a fyzikální vlastnosti polyetylentereftalátu [4]

Mechanické vlastnosti			
Re [MPa]	E [MPa]	A [%]	ϕ [%]
55 - 74	2 800 – 3 100	50 - 150	1 - 2
Fyzikální vlastnosti			
t <sub>g</sub> /t <sub>t</sub> [°C]	C <sub>p</sub> [kJ.kg <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> ]	ρ [kg.dm <sup>-3</sup> ]	ε [1]
-	1	1,33 – 1,37	3,5



Obrázek 12 – Základní vazba polyethylentereftalátu [8]

#### 4.1.12 Polymetylmetakrylát

Zkratka: PMMA

##### Vlastnosti:

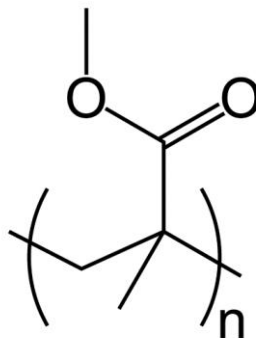
Pevný, velmi tuhý, odolný proti opotřebení a otěru, teplotně do 90 °C, křehne při -50 °C. Odolává většině organických rozpouštědel, neodolává oxidačním činidlům a silnějším kyselinám. Rozměrově stabilní.

##### Použití:

Ozubená kola, kluzná ložiska, váčky, klece valivých ložisek, kladky, ventily a kohouty, šrouby a matice, pružiny, oběžná kola čerpadel, rukojeti nástrojů. [4]

Tabulka 19: Mechanické a fyzikální vlastnosti polymetylmetakrylátu [4]

Mechanické vlastnosti			
R <sub>e</sub> [MPa]	E [MPa]	A [%]	φ [%]
80	3 300	5 - 6	0,3 – 0,8
Fyzikální vlastnosti			
t <sub>g</sub> /t <sub>t</sub> [°C]	C <sub>p</sub> [kJ.kg <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> ]	ρ [kg.dm <sup>-3</sup> ]	ε [1]
105/-	1,46	1,18	3,6



Obrázek 13 – Základní vazba polymetylmetakrylátu [8]

### 4.1.13 Fenolformaldehydová pryskyřice

Zkratka: PF

#### Vlastnosti

##### Nejčastější plniva:

**Dřevitá moučka**, tzv. **bakelit** – pevný, tvrdý, křehký, odolný některým rozpouštědlům, benzínu a olejům, teplotně do 110 °C, neodolává silným kyselinám a zásadám a horké vodě; mírně navlhavý, dobré elektroizolační vlastnosti.

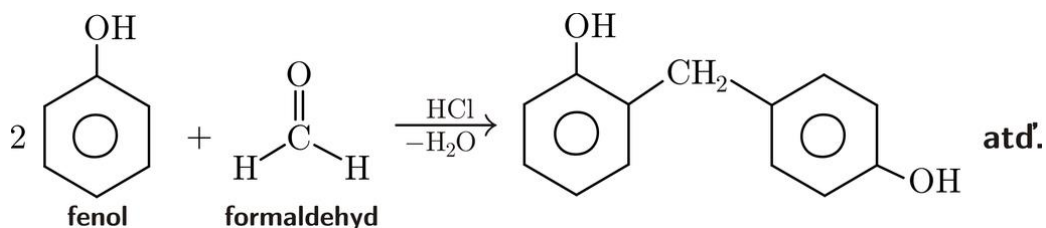
**Azbest** – teplotně odolný do 150 °C, jinak jako bakelit, vrstvený papír (karit, umakart) – velká pevnost a houževnatost, velmi dobré elektroizolační vlastnosti;

**Skleněná vlákna** – vysoká pevnost, teplotně odolná do 130 °C.

**Použití: Bakelit** – Elektroizolační součásti (svorkovnice, zásuvky, přepínače), rukojeti, tepelná izolační držadla (žehliček)

**Textil** – Ozubená kola, kluzné ložiskové pánve, součásti čerpadel

**PF se skleněnými vlákny** – konstrukční prvky letadel a raket, lopatky ventilátorů, potrubí pro chemický průmysl. [4]



Obrázek 14 – Základní vazba fenolformaldehydové pryskyřice [8]

Tabulka 20: Mechanické a fyzikální vlastnosti fenolformaldehydové pryskyřice [4]

Mechanické vlastnosti			
R <sub>m</sub> [MPa]	E [MPa]	A [%]	φ [%]
30 - 40	3 500 – 4 200	2	0,2 - 1
Fyzikální vlastnosti (bez plniva)			
t <sub>g</sub> /t <sub>i</sub> [°C]	C <sub>p</sub> [kJ.kg <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> ]	ρ [kg.dm <sup>-3</sup> ]	ε [1]
100-170/-	1,4 – 1,6	1,25 - 2	6

### 4.1.14 Močovinoformaldehydová pryskyřice

Zkratka: UF

**Vlastnosti:**

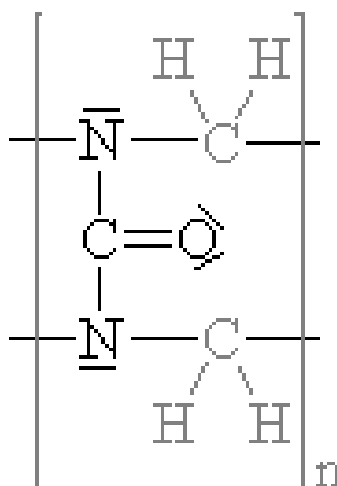
Plnivo – dřevitá moučka nebo celulóza – pevný, tvrdý, křehký. Odolný proti organickým rozpouštědlům, benzínu, tukům a olejům, neodolává kyselinám a zásadám. Teplotně odolný do 80 °C. Velmi dobré elektroizolační vlastnosti.

**Použití:**

Elektroizolační součásti, závitové uzávěry, cestovní nádobí. Vrstevní hmota s papírem na obkládání stolů a pultů. [4]

Tabulka 21: Mechanické a fyzikální vlastnosti močovinoformaldehydové pryskyřice [4]

Mechanické vlastnosti			
R <sub>m</sub> [MPa]	E [MPa]	A [%]	φ [%]
30	5 000 – 7 000	3	0,2 – 1,3
Fyzikální vlastnosti			
t <sub>g</sub> /t <sub>t</sub> [°C]	C <sub>p</sub> [kJ.kg <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> ]	ρ [kg.dm <sup>-3</sup> ]	ε [1]
-	1,5 - 1,7	1,5 - 2	6



Obrázek 15 – Základní vazba močovinoformaldehydové pryskyřice [8]

### 4.1.15 Melaminformaldehydová pryskyřice

Zkratka: MF

**Vlastnosti:**

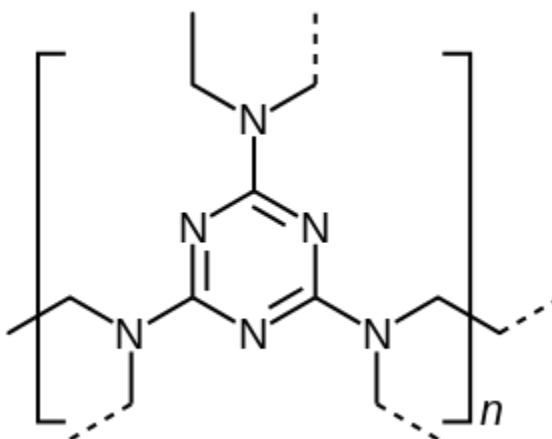
Se stejným plnivem jako UF méně křehký, teplotně odolný do 100 °C, s anorganickým plnivem do 130 °C odolává horké vodě. Jinak jako UF.

**Použití:**

Rukojeť pro horké nádoby, elektroizolační součásti. [4]

Tabulka 22: Mechanické a fyzikální vlastnosti melaminformaldehydové pryskyřice [4]

Mechanické vlastnosti			
R <sub>m</sub> [MPa]	E [MPa]	A [%]	φ [%]
30	6 000 - 10 000	2	0,2 – 1,3
Fyzikální vlastnosti			
t <sub>g</sub> /t <sub>t</sub> [°C]	C <sub>p</sub> [kJ.kg <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> ]	ρ [kg.dm <sup>-3</sup> ]	ε [1]
100-130	1.5-1.7	1.17-1.26	-



Obrázek 16 – Základní vazba melaminformaldehydové pryskyřice [8]

### 4.1.16 Nenasycené polyestery

Zkratka: UP

**Vlastnosti:**

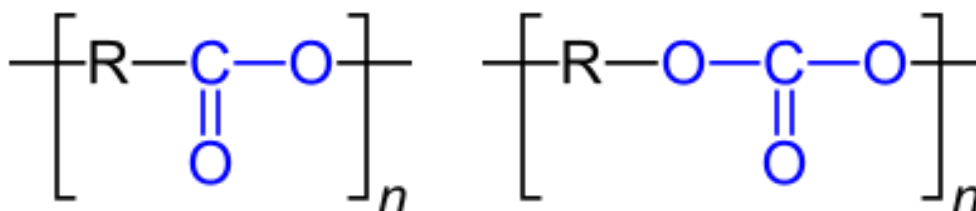
Nejčastější plnivo – skleněná vlákna, rohože, tkaniny. Velmi pevné, tvrdé, nárazuvzdorné. Odolává benzínu, alkoholům, slabým kyselinám, teplotně do 90 °C až 140 °C, odolný proti stárnutí. Neodolává silným kyselinám a zásadám, organickým rozpouštědlům a horké vodě.

**Použití:**

Velké nádrže, cisterny, trubky, kanalizační potrubí, karoserie vozidel a lodí, tvářecí nástroje na plasty, kryty velkých strojů, nosná tělesa. [4]

Tabulka 23: Mechanické a fyzikální vlastnosti nenasyceného polyesteru [4]

Mechanické vlastnosti			
R <sub>m</sub> [MPa]	E [MPa]	A [%]	φ [%]
60 - 100	5 000 – 25 000	2	-
Fyzikální vlastnosti			
t <sub>g</sub> /t <sub>t</sub> [°C]	C <sub>p</sub> [kJ.kg <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> ]	ρ [kg.dm <sup>-3</sup> ]	ε [1]
70-120(bez plniva) /-	1,5 – 1,7	1,17 – 1,26	-



Obrázek 17 – Základní vazba nenasyceného polyesteru [8]



### 4.1.17 Epoxidová pryskyřice

Zkratka: EP

**Vlastnosti:**

Velmi pevná, tvrdá, křehká až houževnatá. Odolná povětrnostním vlivům a záření, slabým kyselinám a zásadám, benzínu, olejům, teplotně do 90 °C až 130 °C. Neodolává esterům, ketonům a horké vodě.

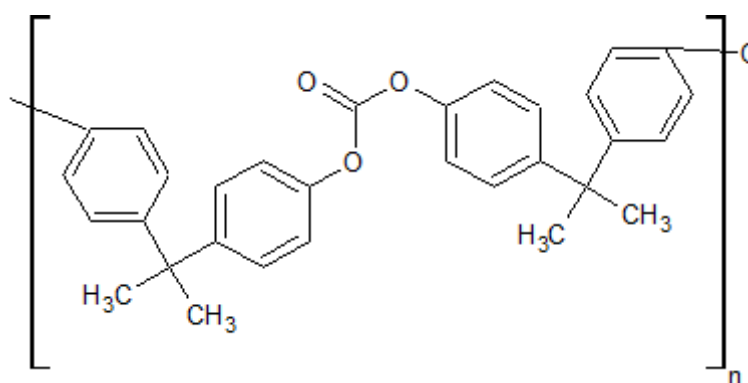
**Použití:**

**Licí pryskyřice:** Modely pro slevárenství, formy pro tvoření plastů, univerzální lepidla na kovy a plasty.

**Skelné lamináty** – Kryty letadel a raket, vrtulové listy pro vrtulníky, sportovní nářadí. [4]

Tabulka 24: Mechanické a fyzikální vlastnosti epoxidové pryskyřice [4]

Mechanické vlastnosti			
R <sub>m</sub> [MPa]	E [MPa]	A [%]	φ [%]
220	18 000	2	0,1 – 0,5
Fyzikální vlastnosti			
t <sub>g</sub> /t <sub>i</sub> [°C]	C <sub>p</sub> [kJ.kg <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> ]	ρ [kg.dm <sup>-3</sup> ]	ε [1]
-	0,9	1,17 - 1,25	6



Obrázek 18 – Základní vazba epoxidové pryskyřice [8]

## 4.2 Nejpoužívanější plasty

Největší množství plastů a kompozitů se používá v těchto odvětvích:

### a) Stavebnictví

**Polykarbonátové desky** – skleníky, zahradní přístřešky a pergoly. Životnost se pohybuje okolo 20–35 let. Jsou odolné vůči UV záření a slunečním paprskům díky filtru.

**Protihlukové stěny z plastu** – vysoká transparentnost, odráží hluk, nízká hmotnost, vysoká odolnost vůči nárazu a možnost snadné recyklace.

**Polypropylenové desky** – konstrukce bazénů a jejich zastřešení, solární absorbér, konstrukce čistíren odpadních vod nebo vodoměrných šachet.

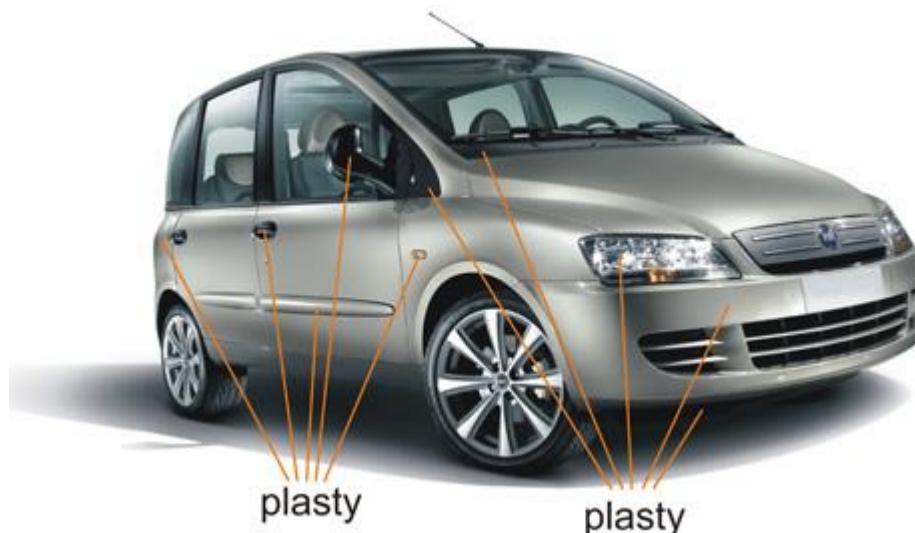
**Neprůstřelné prvky** – neprůstřelné prosklení bývají kombinací skla, polykarbonátu s tvrzeným povrchem, polymethylmetakrylátu a polymerních mezivrstev.

### b) Průmysl a strojírenství

Většina strojů a zařízení obsahuje součásti z plastu díky výborným mechanickým vlastnostem, nízké hmotnosti a hlavně odolnosti vůči korozi, to vše je spojené s nízkou cenou. Typickou aplikací plastů jsou například vodící lišta, dorazy, rolny, kryty, přepážky nebo kluzné díly. Většinou jsou z PE, PA, POM, PTFE, PVC, PP, řada dalších plastů má široké využití v konstrukcích nejrůznějších technologických zařízení v chemickém průmyslu, elektrochemickém průmyslu a úpravách vod a vzduchu. [17]

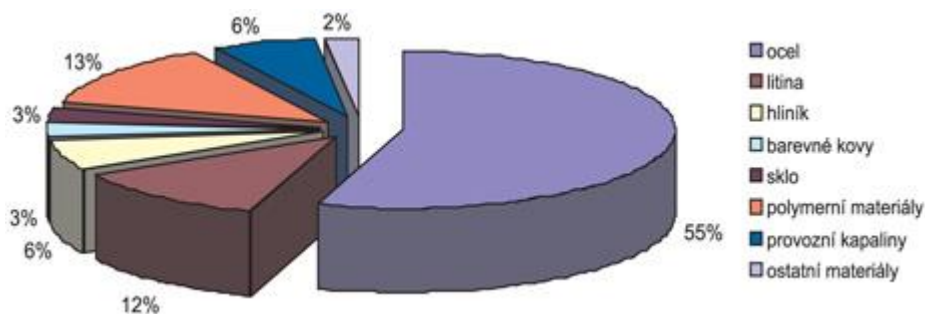
## 4.3 Plasty v automobilovém průmyslu

Už od začátku sériové výroby se objevovaly plasty v automobilovém průmyslu. Zpočátku nebyl velký výběr, proto i jejich podíl byl poměrně nižší. V 50. a 60. letech se začaly objevovat termoplastické polymery a v tomto období se začaly nahrazovat drahé a technologicky náročně zpracovatelné materiály. Velký skok ve spotřebě plastů v automobilovém průmyslu nastal v 70. letech, kdy se zvyšovaly požadavky na pasivní bezpečnost a hospodárnost. Plasty nahrazovaly plechy v některých částech karoserie a umožňovaly tak dosáhnout těchto požadavků.



Obrázek 19 – Plastové díly na automobilu [18]

Automobil se skládá ze tří základních konstrukčních skupin: hnací jednotka, podvozek a karoserie. Přičemž hnací jednotka tvoří 28 %, podvozek 27 % a karoserie včetně výbavy 38 %. Zbytek hmotnosti automobilu připadá na příslušenství. Zastoupení jednotlivých konstrukčních materiálů běžně používaných pro výrobu automobilu vztažených na hmotnost vozu je uvedeno v grafu na obrázku níže.[18] [19] [20]



Obrázek 20 – Podíl jednotlivých materiálů na celkové hmotnosti automobilu [18]

#### 4.4 Povrchové napětí plastu

Pro dosažení co nejlepší adheze je v případě polymerních materiálů zajistit smáčivost povrchu. Smáčivost povrchu která má zásadní vliv na přilnavost ochranných laků či inkoustů při potisku dílů je silně závislá na povrchovém napětí, které je dáno molekulární a krystalickou strukturou. Povrchové napětí se měří v  $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$ . Povrchové napětí neupravených PE a PP plastů se pohybuje kolem  $30 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$ . Pro kvalitní potisk plastů se musí hodnota povrchového napětí pohybovat v rozmezí  $38\text{-}40 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$ . Materiály s nižším povrchovým napětím než  $37 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$  způsobují problémy s přilnavostí laků, inkoustů či lepidel. Existují metody úprav povrchu, které umožní

výrazně zvýšit povrchové napětí: například krátký ožeh plamenem, předúprava plazmou, korónovým výbojem iontů nebo chemické předúpravy. Metoda úpravy povrchového napětí se volí podle daného materiálu, vhodnosti pro následné technologie spojování či povrchové úpravy a cenové dostupnosti.

Tabulka 25: Povrchové napětí některých druhů plastů [22]

Materiál	Povrchové napětí [ $\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$ ]
Polytetrafluoretylen	<20
Silikon	<20
Polypropylen	30
Polyetylen	32
Polystyren	34
Polykarbonát	34

Pro detekci povrchového napětí lze například použít polypropylenovou tužku. Složením tužka obsahuje ředidla a rozpouštědla, a proto není vhodná pro použití na polymerních materiálech, které jsou na tyto látky citlivé. Hodí se na PE, PP a polybuten. Pomocí této tužky lze ověřit, jestli bylo dosaženo povrchového napětí  $38 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$ . [21] [22]

## 4.5 Předúprava povrchu plastu před lakováním

Nátěr musí plnit dvě nejdůležitější funkce: estetickou a ochrannou. Záleží na podmínkách použitelnosti, jež ovlivní, která z těchto dvou funkcí převládne. Z hlediska estetiky je důležitá barva, kryvost a lesk nátěru, z hlediska ochrany jde zejména o životnost nátěru, která závisí na druhu materiálu, na úpravě povrchu a na nátěrové hmotě.

Povrch se musí nejdříve dokonale odmastit a následně opláchnout demineralizovanou vodou, následně se odstraní veškeré její zbytky. Po této operaci se materiál osuší a ochladí. Ožehem povrchu docílíme vyššího povrchového napětí a drsnosti. Po čištění povrchu následuje samotný proces lakování. [10]

## 5 Detekce nečistot

Parametry finální povrchové úpravy či například metody spojování (lepení či svařování) ovlivňuje výsledná koncentrace olejů, maziv a podobných reziduálních látek. Různé oleje a maziva se běžně používají ve strojírenství. Nečistoty mohou také vzniknout přenosem z důvodu neodborné manipulace nebo může dojít k nechtěnému přenosu olejů při mazání potřebných mechanických součástí strojů. Předupravené výrobky prochází přes ruční mechanické odmašťovací procesy až po velké průmyslové postupy a technologie. Pro dosažení vysoké kvality finálních produktů je zapotřebí procesy průběžně kontrolovat a sledovat kvůli možným chybám obsluhy nebo degradaci a kontaminaci lázní odmašťovacích linek.

### Metody detekce nečistot:

- 1) Fixy a inkousty;
- 2) Metoda fluorescenční;
- 3) Metoda hmotnostní;
- 4) Metoda infračervená;
- 5) Metoda porušení souvislého vodního filmu;

### 5.1 Fixy a inkousty

Postup měření touto metodou:

- **Vyšší povrchové napětí materiálu zlepší přilnavost povrchu.**
  - a) Nízké napětí mohou způsobit vlastnosti materiálu. Mnoho plastů vykazuje nízké povrchové napětí, což se řeší pomocí chemické nebo fyzické úpravy povrchu k dosažení lepší přilnavosti.
  - b) Znečištění povrchu tukem, olejem nebo otisky prstů může způsobit nízké povrchové napětí.
- **Obecný limit je stanoven na  $38 \text{ mN.m}^{-1}$ .**
  - a) Jestliže je povrchové napětí nižší, přilnavost bude velice špatná.
  - b) Jestliže je povrchové napětí vyšší než obecný stanovený limit, přilnavost by měla být dostatečná nebo dobrá. [23]



Obrázek 21 – Arcotest – Fixy a inkousty

### **Aplikace:**

Na začátku jakéhokoliv testování se nejprve použije testovací fix (inkoust) se střední hodnotou  $38 \text{ mN.m}^{-1}$ . Jestliže linka inkoustu zůstane na povrchu nezměněna po krátké době, povrchové napětí je stejné nebo vyšší než povrchové napětí roztoku ( $38 \text{ mN.m}^{-1}$ ) a pokračuje se dál s fixem, který má vyšší hodnotu, dokud se jeho čára neslije do malých kapiček. Pokud kapky vzniknou po použití střední hodnoty, zkouška pokračuje tak, že nanese se fix nebo inkoust s nižší hodnotou. Následně se povrchové napětí vyhodnotí dvěma hodnotami. [23]

## **5.2 Metoda porušení souvislého vodního filmu**

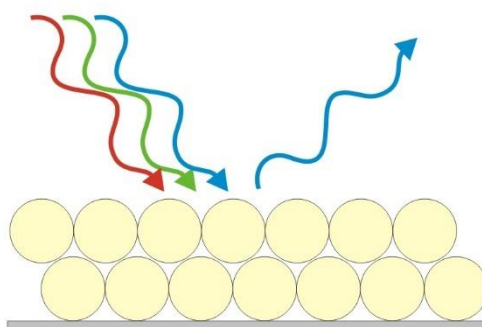
Tato metoda využívá povrchové napětí vody, které umožní zachovat souvislý vodní film na čistém povrchu po vyjmutí zkušebního materiálu z demineralizované vody. Nečistoty způsobí změnu povrchového napětí, které poruší vodní film. Změří se čas po vyjmutí z destilované vody po dobu porušení vodního filmu na povrchu. Měří se při teplotě  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Materiál se musí chránit před prachem a nesmí být v blízkosti zdroje tepla. Tato metoda není zcela vhodná pro plasty vzhledem k rozdílnému povrchovému napětí, a proto se skoro nepoužívá.

## **5.3 Metoda hmotnostní**

Materiál se zváží s přesností  $0.1 \text{ mg}$ . Určí se celková plocha a následně se odmastí v rozpouštědle. Musí splňovat podmínky dokonalého rozpuštění mastnoty. Po odmaštění se znovu zváží. Rozdílem hmotnosti před odmaštěním a po něm získáme plošnou hustotu zamaštění [ $\text{g.m}^{-2}$ ].

## 5.4 Metody fluorescenční

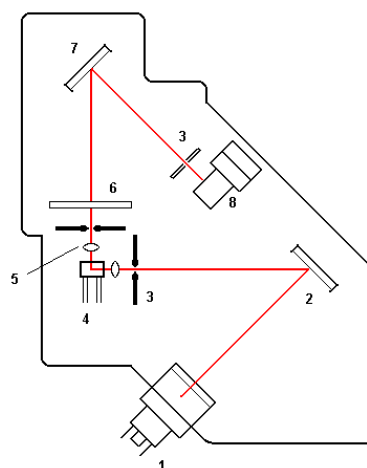
Fluorescence je druh studeného světla, které téměř okamžitě po excitaci vymizí, lze tedy říci, že fluorescence je světélkování bez pohlcení energie. Fluorescenční HPLC detektory se zakládají na principu fluorescence a měření sekundárního záření (emisního), které látka vydá po absorpci primárního elektromagnetického záření (excitačního). Fotoluminiscence bývá u fluorescence od  $10^{-8}$  až  $10^{-5}$  sekund.



Obrázek 22 – Vznik barvy odražením specifických vlnových délek světla [24]

Molekuly látek ze základního singletového elektronového stavu absorpcí elektromagnetického záření přecházejí do vibračních hladin excitovaného singletového elektronového stavu. Excitovaná molekula může absorbovanou energii vyzářit jako fluorescenci, nebo ji zcela přeměnit na jiný typ energie či ji předat jiným molekulám. Molekula emituje fluorescenci záření poté, co ztratí vibrační energii, a přejde do základního vibračního stavu a má stejnou vlnovou délku jako absorbované záření (rezonanční fluorescence) anebo vlnová délka záření je emitovaná větším zářením kvůli vibrační relaxaci. Schéma fluorescenčního detektoru je zobrazeno na obrázku 23. [26]

- 1) výbojka (rtuťová nebo xenonová)
- 2) excitační mřížka (monochromátor)
- 3) štěrbina
- 4) průtoková cela
- 5) mikroočky
- 6) cut-off filtr
- 7) emisní mřížka (monochromátor)
- 8) fotonásobič



Obrázek 23 – Schéma fluorescenčního detektoru [26]

## 5.5 UV – VIS spektroskopie

Podstatou detekce pomocí UV –VIS spektroskopie je vyvolání fluorescence látek, její zachycení a následně vyhodnocení.

### Zařízení Recognoil fi. TechTest, s.r.o.

Přístroj Recognoil umožňuje kombinací UV záření a VIS detektoru získat obrazový výstup – fluorescenční mapu znečištění povrchu a hodnotu intenzity fluorescence. Detekce mastných nečistot pomocí tohoto zařízení se provádí v oblasti povrchových úprav, při tvářecích operacích (kontrola homogenity lubrikantů), při výrobě optických systémů, v elektrotechnice a dalších oblastech, kde se setkáme s kontaminací povrchu olejem. Zařízení Recognoil ozařuje povrch testovaného materiálu UV zářením o vlnové délce 365 nm a vyhodnocení probíhá ve viditelném spektru záření. Přístroj umožňuje spolehlivě detekovat nečistoty převážně na povrchu kovů a po provedení kalibrace na daný druh oleje dokáže stanovit tloušťku vrstvy olej či plošnou koncentraci. Fluorescenční mapa reprezentuje plošné rozložení a intenzitu znečištění na povrchu jak ve 2D tak 3D zobrazení. Při namátkové kontrole umožňuje toto zařízení snímat znečištění povrchu v reálném čase. [19]

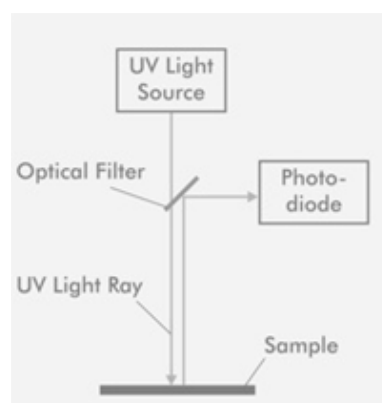


Obrázek 24 – Zařízení Recognoil a fluorescenční mapa



### Zařízení CleanoSpector fi. SITA

SITA Messtechnik GmbH vyvinula zařízení na principu UV – VIS detekce. Pomocí zařízení se dedukují kontaminanty vlivem své fluorescence, která je excitovaná UV LED diodou. Intenzita fluorescence je závislá na množství kontaminace v místě měření. Senzor – fotodioda zaznamenává intenzitu fluorescence. Je velice citlivá na lehké stopy kontaminace. Výstupem z měření je hodnota intenzity fluorescence. [27]

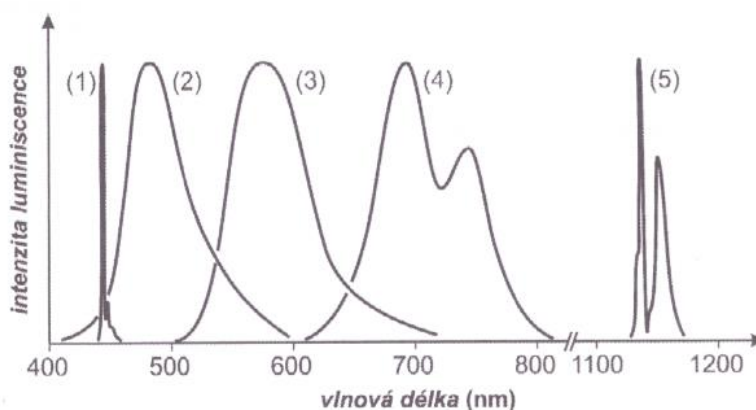


Obrázek 25 – Zařízení CleanoSpector (vlevo), schéma principu (vpravo) [27]

### 5.5.1 Luminiscence

Z důvodu použití zařízení Recognoil v praktické části bakalářské práce, je nezbytné pro správnou interpretaci výsledků měření popsat principy luminiscence a chování jednotlivých látek.

Název luminiscence (odvozený z latiny, *lumen* neboli světlo) pochází od německého fyzika Eilharda Wiedemanna. Látky, které nevedou příliš dobře elektrický proud, tedy izolátory (dielektrika) a polovodiče, mohou luminiskovat. Kovy neluminiskují důsledkem transportu elektronů, proto lze usuzovat, že luminiscence souvisí s elektronovým obalem atomu, avšak nikoliv s atomovým jádrem, které vysílá vysokoenergetické záření (radioaktivita). Samotné prvky, jako jsou měď (Cu), stříbro (Ag), zlato (Au), hliník (Al) apod., neluminiskují, ale jejich sloučeniny, zejména oxidy, které se již považují za izolátory, luminiskují. Luminiscence roste ve většině případů s klesající teplotou a nejsilnější může být v blízkosti absolutní nuly ( $T=0\text{ K}$  ( $273,15\text{ °C}$ )).



Obrázek 26- Luminiscenční spektra různých látek

- (1) Modrá luminiscence čistého polovodiče selenidu zinečnatého ZnSe při teplotě  $T = 2\text{ K}$
- (2) Modrozelená luminiscence izolátoru: iontového krystalu chloridu stříbrného AgCl při teplotě  $T = 4\text{ K}$
- (3) Žlutozelená luminiscence luciferinu při pokojové teplotě  $T = 300\text{ K}$
- (4) Červená luminiscence zeleně listové – chlorofylu v živé rostlině při teplotě  $T = 300\text{ K}$
- (5) Část infračerveného spektra luminiscence krystalického křemíku při teplotě  $T = 4,2\text{ K}$

Stejně tak mohou luminiskovat mnohem složitější umělé hmoty, jako jsou polymery nebo organická barviva. V současné době budou i pod působením silných laserových světelných pulzů vykazovat alespoň určitou slabou luminiscenci. [28]

Tabulka 26: Nejznámější luminiscenční látky [28]

Luminofor	Možné použití	Poznámka
Alkalické halogenidy, iontové krystaly (KCl, NaI, KI, CaF <sub>2</sub> , ...) Oxidy (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, SrO, ...)	Scintilační detektory	Nutné vhodné příměsi
Polovodiče (CdS, ZnS, GaAs, GaP, GaN, ...)	LED diody, lasery	
Wolframový (CaWO <sub>4</sub> , CdWO <sub>4</sub> , ...)		
Křemičitany (ZnSiO <sub>4</sub> , MgSiO <sub>3</sub> , ...)	Obrazovky, zářivky	
Fosforečnany (Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ), Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> , ...)		
Granáty (Nd:YAG (Y <sub>3</sub> Al <sub>5</sub> O <sub>12</sub> ), ...)	Lasery	Příměs vzácných zemin
Čisté organické krystaly (naftalen, antracen, ...)		
Organická barviva (rhodaminy, kumariny, porfyriny, ...)	Kapalinové lasery	
Luciferiny	Biologie, medicína	

### 5.5.2 Duhy luminiscence:

**Fotoluminiscence** – Buzení při ozáření tělesa světlem neboli elektromagnetickým vlněním. Lze ji tedy vybudit ozářením laserovým paprskem o vhodné vlnové délce. Nejběžnější způsob.

**Elektroluminiscence** – Vzniká při průchodu elektrického proudu a aplikaci elektrického napětí látkou. Uplatňuje se to zejména v elektronice a optických komunikacích. Jsou to hlavně LED diody, které pracují na elektroluminiscenčním principu.

**Chemiluminiscence** – Nevyžaduje externí zdroj. Je to nerovnovážné světelné záření, které doprovází některé exotermní chemické reakce. Při uvolnění energie se těleso nezahřívá, ale vyzařuje ve formě světla neboli luminiscence.

**Bioluminiscence** – Speciální typ chemiluminiscence. Doprovází chemické reakce probíhající v živých organismech.

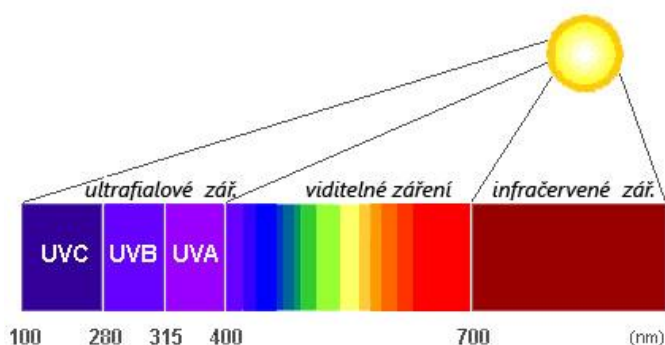
**Katodoluminiscence** – Vzniká při dopadu urychlených elektronů pohybujících se vakuem nebo nádobou se silně zředěným plynem na materiál. Typickým příkladem je svícení starých televizních obrazovek.

**Termoluminiscence** – Abychom mohli vyvolat tento děj, je nutné postupovat těmito 3 kroky. Především se musí ochladit látka na dostatečně nízkou teplotu a poté je třeba ji excitovat (buď viditelným, nebo ultrafialovým zářením). Tady lze již pozorovat nám známou fotoluminiscenci,

která vzniká okamžitou přeměnou části excitační energie na světelné záření. Posledním krokem je ohřátí tělesa po skončení excitace. Se zvyšující se teplotou se uvolňuje zamrznutá nashromážděná energie ve formě světla. Teprve toto je termoluminiscence.

**UV záření:**

Ultrafialové (UV) záření je elektromagnetické záření s vlnovou délkou, která je kratší než viditelné světlo, ale delší, než má rentgenové záření. Pro naše oko toto záření není viditelné. Slunce je přirozeným zdrojem UV záření. UV záření se dělí na blízké ultrafialové záření a daleké ultrafialové záření. [25] [28]



Obrázek 27 – Záření slunečního paprsku [25]

Tabulka 27: Rozdělení UV záření [8]

Název	Zkratka	Vlnová délka v nanometrech
<b>Blízké</b>	NUV	400 nm–200 nm
<b>UVA</b> , dlouhovlnné, „černé světlo“	UVA	400 nm–320 nm
<b>UVB</b> , středněvlnné	UVB	320 nm–280 nm
<b>UVC</b> , krátkovlnné, „dezinfekční“	UVC	pod 280 nm
<b>DUV, hluboké ultrafialové</b>	DUV	pod 300 nm
<b>Daleké</b> , řidčeji „vzduchoprázdné“ (vacuum)	FUV, VUV	200 nm–10 nm
<b>Extrémní</b> nebo „ <b>hluboké</b> “	EUV, XUV	31 nm–1 nm

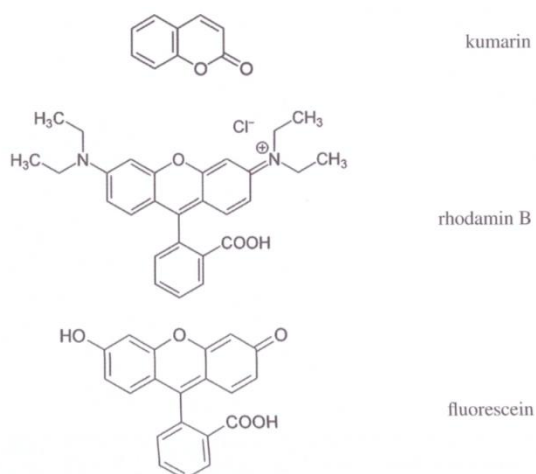
### 5.5.3 Fluorescence a fosforescence

Fluorescence je druh studeného světla, které téměř okamžitě po excitaci vymizí. Fosforescence trvá i nadále a následně v nějakém časovém úseku postupně také vymizí. Tento dosvit může trvat jen zlomky vteřin, ale také hodiny nebo dny. Luminiscence v sobě zahrnuje jak fluorescenci, tak i fosforescenci. Jednoduše můžeme definovat, že fluorescence je luminiscence v průběhu excitace a fosforescence je luminiscence po skončení excitačního působení.

Fluorescence sice mizí „okamžitě“, ale po jistou dobu také dohasíná. Aby se dala fluorescence počítat mezi luminiscenční jevy, musí doznívání světelné emise trvat podstatně déle, než je perioda kmitu světelných vln, která činí alespoň  $10^{-15}$  až  $10^{-14}$  sekundy. Tím dokážeme odlišit fluorescenci od případného odraženého světla a některých podobných efektů, jako je rozptyl světla. [28]

### 5.5.4 Fotoluminiscence u organických látek

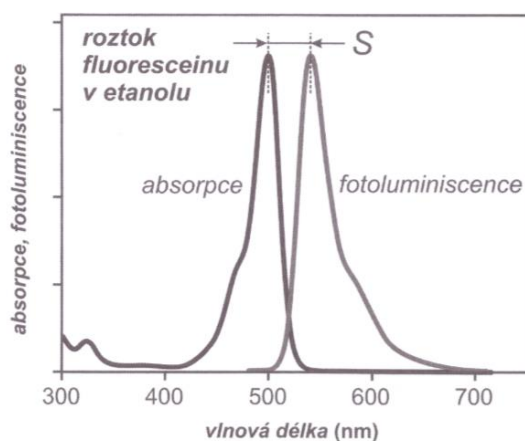
Tento jev lze vyvolat u obrovského množství organických látek. Typickými sloučeninami, u kterých můžeme vyvolat fotoluminiscenci, jsou organická barviva. Jsou to barevné sloučeniny, poskytující barvu jiným látkám. Jde tedy o molekuly s konjugovanými systémy dvojných vazeb. Obsahují elektrony nelokalizované v molekulových orbitalech zahrnujících celou molekulu. Tyto látky lze rozdělit například podle struktury na barviva polymethinová, akridinová, xantenová, azobarviva a porfyriny. Mezi porfyriny nebo pyrrolová barviva patří velice známá zeleň listová (chlorofyl) a červené krevní barvivo (hemoglobin). Ale tato jejich přirozená barva nemá příliš mnoho společného s fotoluminiscencí. Barva látky je způsobena molekulami v látce, které pohlcují denní světlo, a je částečně ozářena zpátky ve formě fotoluminiscence o delších vlnových délkách zpět. [28]



Obrázek 28 – Typičtí představitelé organických barviv [28]

### 5.5.5 Fluorescein

Z absorpčního spektra lze vyčíst, že z bílého světla pohlcuje fluorescein jeho „modrý konec“ o vlnové délce 420–520 nm. Delší vlnové délky zůstávají nepohlčené, odpovídají barvám červené a žluté. Právě kvůli tomu se fluorescein za denního světla jeví jako červenohnědá substance. U vlnových délek 520–530 nm je poměrně ostré maximum, doplněné asymetrickým křídlem u vlnových délek 550–650 nm. Z toho vyplývá, že barva, která bude vysílána při fotoluminiscenci, bude žlutozelená (570 nm je charakterizováno žlutou barvou a 540 nm zelenou). Dále vidíme, že absorpční vlnové délky jsou kratší než u fotoluminiscence. Je to dáno Stokesovým zákonem, který vyjadřuje princip zachování energie. Tvar obou křivek je téměř zrcadlově dokonalý. Energetická vzdálenost  $S$  mezi vrcholy dvou křivek se nazývá *Stokesův posun*.



Obrázek 29 – Absorpční spektrum a emisní fotoluminiscenční spektrum roztoku fluoresceinu v etanolu za pokojové teploty [28]



Obrázek 30 – Stopa fluoresceinu ve vodě [28]

Na obrázku 30 lze pozorovat stopy zrněk fluoresceinu ve vodě ozářené ultrafialovou lampou. Na snímku lze také spatřit červenohnědé skvrny, které představují nerozpuštěný prášek. [28]

### 5.5.6 Fotoluminiscence polymeru

Stejně jako u ostatních luminiscenčních látek lze i zde rozlišit dva druhy luminiscence: luminiscence polymeru (intrinsická) a luminiscence příměsu (extrinsická), která může být původem v cizích atomech nebo molekulách zavedených do polymeru a která slouží jako matrice. PMMA neboli plexisklo je jeden z typů polymeru, který se dobře rozpouští v organických látkách a do roztoku je snadné přidat molekuly organického barviva. Pevnou látku získáme po vypaření rozpouštědla jevícího fotoluminiscenci charakteristickou pro dotyčné barvivo. Zabudování luminiscenčních látek do interní pevné matrice PMMA umožní snadnou manipulaci se vzorky a brání přístupu vlhkosti a kyslíku, protože tím by docházelo k nežádoucím změnám vlastností zkoumané látky.

Pomocí intrinsické fotoluminiscence můžeme snadno zjistit informace o degradaci polymeru. Je to charakterizováno tím, že chemické a fyzikální vlastnosti polymeru se časem mění (nejsou stálé jako kovy, keramiky apod.) Degradace může dovést polymer až k úplnému rozkladu. Důsledkem tohoto jevu je oxidace a ultrafialové složky slunečního záření. Vlastnosti luminiscence se degradací výrazně mění jejich intenzita i spektrální složení a rychlost dohasínání. Aby se rychlým degradacím zabránilo, do polymeru se přidávají rozpustné absorbéry ultrafialového záření nebo pigmenty. [28]

Přehled nejvýznamnějších anorganických pigmentů a látek, které se využívají jako plnidlo do polymerních matric: [24]

1) Bílá

- Titanová běloba –  $\text{TiO}_2$
- Zinková běloba –  $\text{ZnO}$
- Olovnatá běloba –  $\text{Pb(OH)}_2 \cdot 2 \text{PbCO}_3$
- Barytová běloba –  $\text{BaSO}_4$
- Sádra –  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$  ®  $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$
- Křída, vápenec, mramor –  $\text{CaCO}_3$
- Hydroxid hlinitý

2) Žlutá

- Žluté okry  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeO(OH)}$
- Chromová žluť  $\text{PbCrO}_4$  s příměsí  $\text{PbSO}_4$
- Kadmiová žluť –  $\text{CdS}$
- Barytová žluť –  $\text{BaCrO}_4$
- Uranová žluť –  $\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7$ ,  $\text{K}_2\text{U}_2\text{O}_7$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$

3) Červená

- Červené okry –  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO(OH)}$
- Minium –  $\text{Pb}_3\text{O}_4$
- Chromová oranž a červeň – oranž  $\text{PbO} \cdot \text{PbCrO}_4$  červeň  $2 \text{Pb(OH)}_2 \cdot \text{PbCrO}_4$

4) Modrá

- Kobaltová modř –  $\text{CoO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
- Manganová modř –  $\text{BaMnO}_4 \cdot \text{BaSO}_4$
- Ultramarín –  $(\text{Na}, \text{Ca})_8[(\text{S}, \text{SO}_4, \text{Cl}_2) | \text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}]$
- Azurit a měďnaté modře –  $\text{Cu(OH)}_2 \cdot 2 \text{CuCO}_3$

5) Zelená

- Chromové zeleně –  $\text{PbCrO}_4$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$
- Pigmenty na bázi mědi – různé směsi hydroxidů, uhličitánů a organických sloučenin Cu
- Zelené hlínky – jílové minerály glaukonit a seladoni

6) Černá

- Grafit – C
- Saze – C
- Manganová čerň –  $\text{MnO}_2$



### 5.5.7 Fotoluminiscence nanočástic

Nanočástice, tedy materiály, jejichž alespoň jeden rozměr nepřesahuje 100 nm umožňují dosažení zcela odlišných vlastností než mikro či makro částice stejného materiálu. Může se jednat například o vyšší pevnost, elektrickou vodivost atd. Tvar nanočástic neovlivňuje jejich luminiscenční vlastnosti v porovnání s makroskopickým kusem materiálu. Na obrázku 31 je uveden příklad luminiscence různě velkých nanočástic CdSe. Barva luminiscence silně závisí na velikosti nanočástic (tedy na jejich poloměru). Průměr nanokrystalů v nádobě s červenou barvou je 4 nm a se zmenšováním průměru barva přechází přes oranžovou, žlutou a zelenou až k modré barvě, která má průměr okolo 2 nm. Důvodem tohoto jevu je tak zvaný kvantově-rozměrový jev. Ze samotných základů kvantové fyziky vyplývá, že energetické hladiny elektronu ve vodivostním pásu i děr ve valenčním pásu se začínají navzájem vzdalovat, pokud se velikost vzorku změní pod kritickou mez. [28]



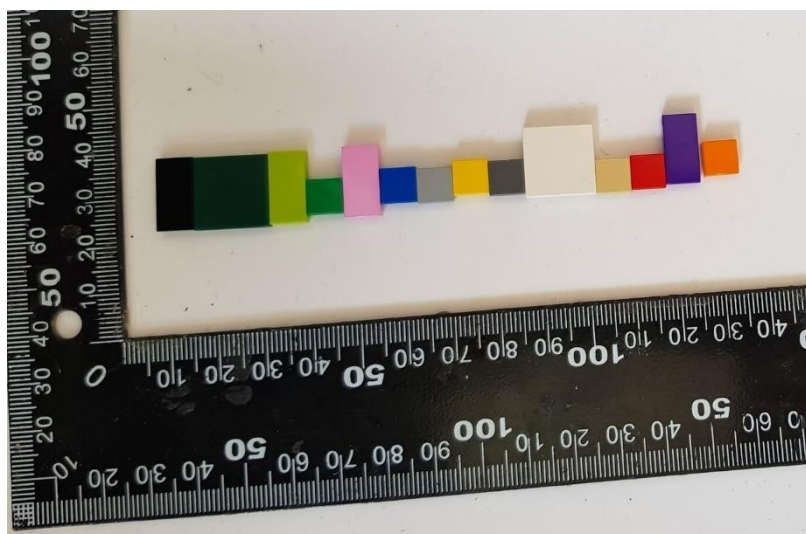
Obrázek 31 – Sada roztoků nanokrystalu CdSe v denním světle (nahore) a jejich fotoluminiscence buzená ultrafialovým zářením (dole)

## 6 Experimentální část

Cílem experimentální části bakalářské práce bylo porovnání fluorescence odlišných odstínů ABS plastů, tedy stanovení vlivu jednotlivých pigmentů a aditiv na fluorescenci těchto materiálů. Tyto a další typy průmyslově používaných plastů byly navíc dále testovány z hlediska možností detekce nečistot a olejových filmů prostřednictvím UV-VIS spektroskopie pomocí zařízení Recognoil. Dále bylo provedeno stanovení fluorescence šesti rozdílných polymerních materiálů (tři z nich čiré) určených pro tahovou zkoušku a čtyř typů průmyslových plastů. V rámci experimentu detekce mastného znečištění byly s cílem ověření detekčních schopností zařízení Recognoil a detekčních inkoustů nanášeny tenké vrstvy oleje na takové plasty, které vykazovaly malou nebo vysokou fluorescenci.

### 6.1 Fluorescence odlišných odstínů ABS

Pro experiment bylo zvoleno 14 různě barevných kostek LEGA® o rozměrech 5 x 5 mm, 5 x 10 mm a 10 x 10 mm, tl. 1,6 mm z materiálu ABS. Od každého odstínu byly použity 4 kostky, které byly důkladně odmaštěny v ultrazvukovém zařízení od firmy Kraintek s. r. o. Destilovaná voda a odmašťovací prostředek Simple Green byly smíseny v poměru 10:1. Teplota lázně byla 45 °C, odmašťovací proces probíhal po dobu 10 minut na maximální možnou intenzitu. Po odmaštění byly jednotlivé vzorky opláchnuty pomocí demineralizované vody a osušeny. Pro docílení snížení fluorescence pozadí a zaostření snímané plochy vzorku byl pomocí 3D tisku vyroben přípravek, který lze umístit na předsádku zařízení Recognoil. Veškeré snímky byly pořízeny při expozičním čase 50 ms, pokud není uvedeno jinak. Na obrázku 32 jsou kostky LEGA seřazeny vedle sebe vzestupně dle intenzity fluorescence. Pojmenování barevných odstínů odpovídá vzorníku RAL.

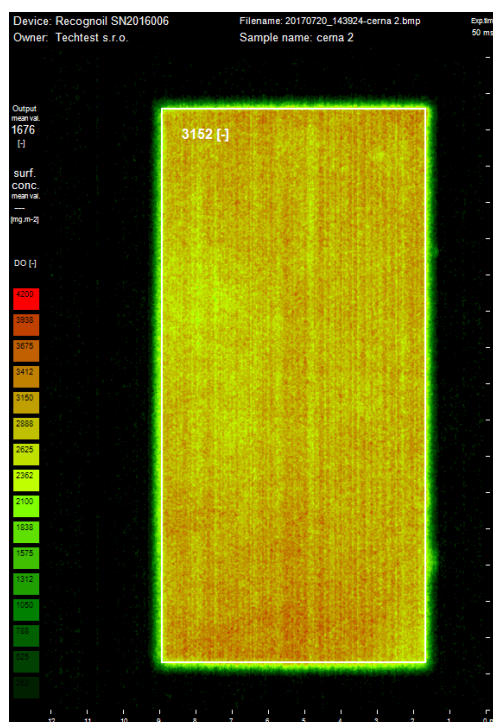


Obrázek 32 – Použité odstíny kostek

Tabulka 28: Fluorescence jednotlivých barev – seřazení podle průměrných hodnot

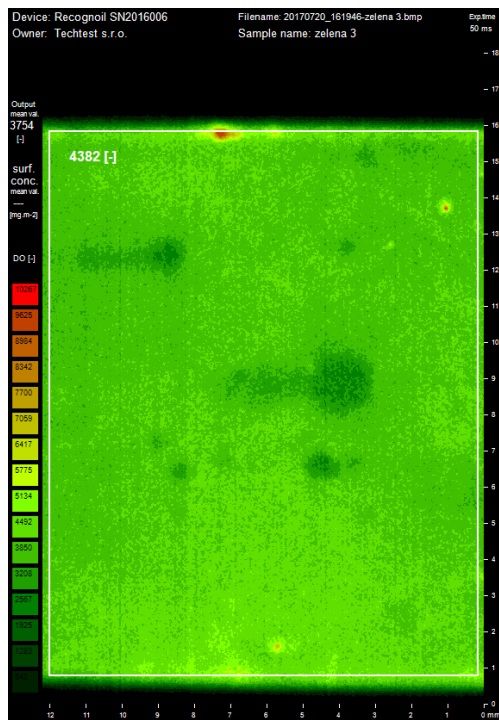
Barva	Průměrná hodnota fluorescence [-]
Černá	3 200
Listová zelená	4 000
Citronová žlutá	10 000
Zelenožlutá	12 000
Fialová vřesová	19 000
Nebeská modrá	25 000
Hedvábná šedá	25 000
Signální žlutá	27 000
Lišejníková šedá	30 000
Krémová	37 000
Žlutá hořčičná	42 000
Zářivá červená	47 000
Modrofialová	49 000
Oranžová pastelová	50 000

1) Černá



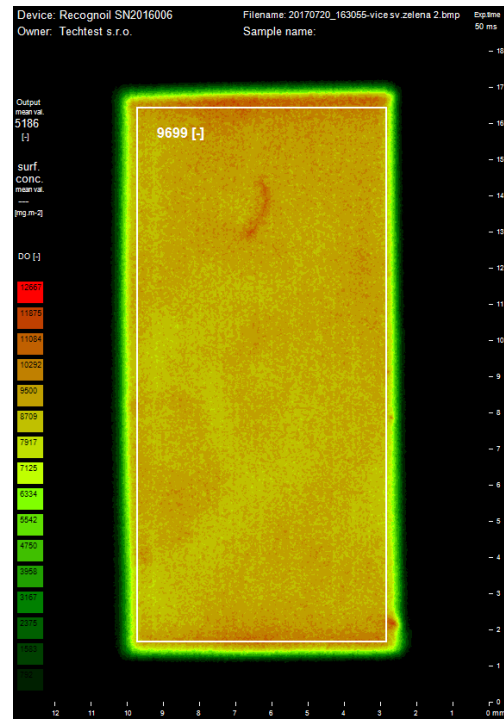
Obrázek 33 – Snímek černé kostky

2) Listová zelená



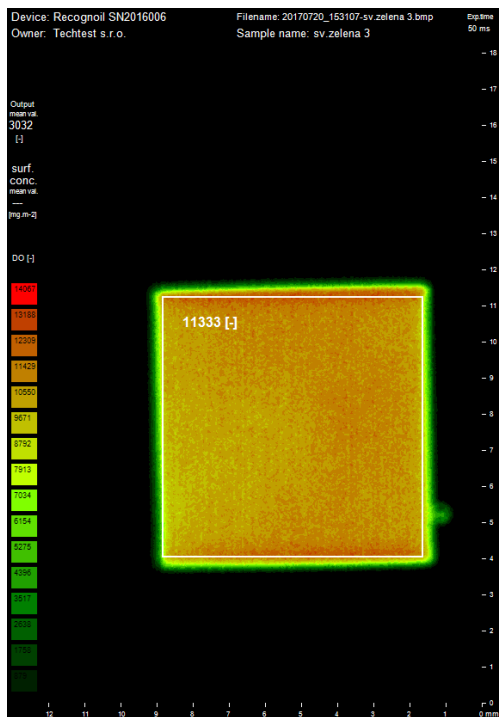
Obrázek 34 – Snímek listově zelené kostky

3) Citronová žlutá



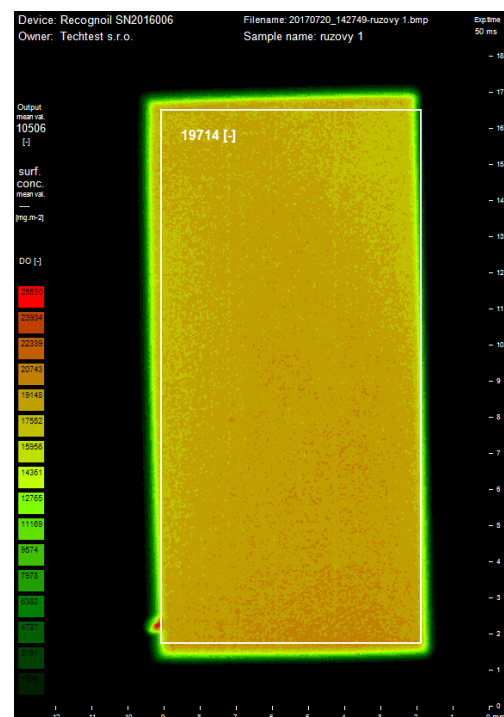
Obrázek 35 – Snímek citronově žluté kostky

4) Zelenožlutá



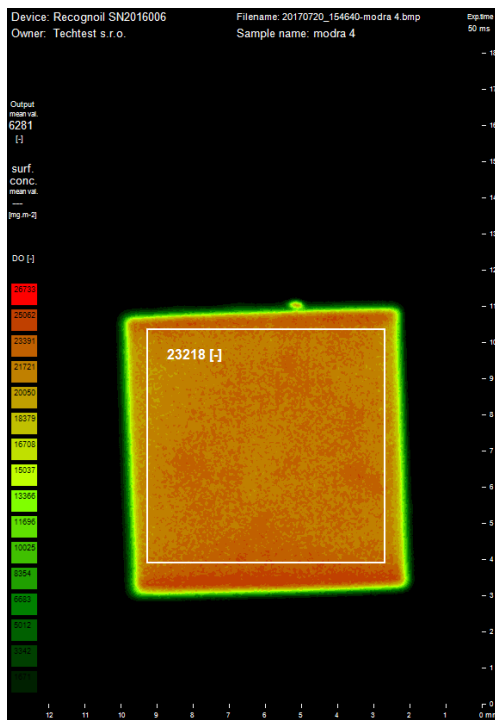
Obrázek 36 – Snímek zelenožluté kostky

5) Fialová vřesová



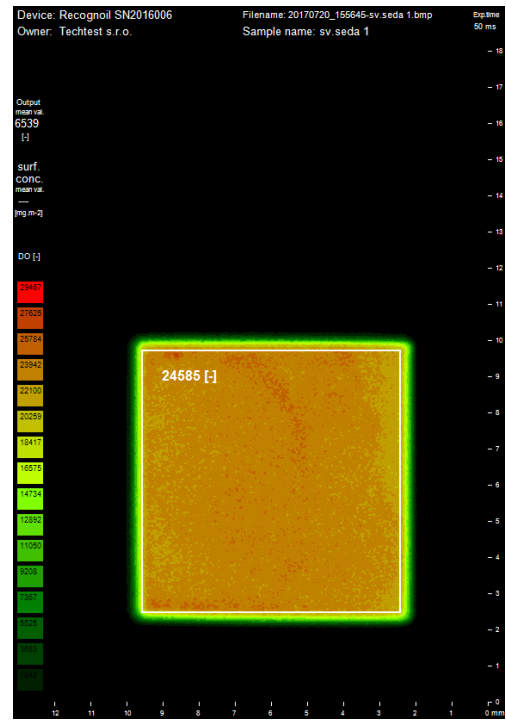
Obrázek 37 – Snímek vřesově fialové kostky

6) Nebeská modrá



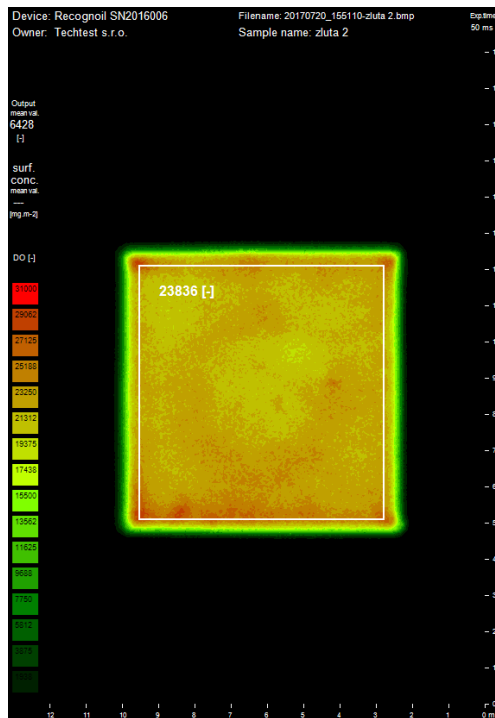
Obrázek 38 – Snímek nebesky modré kostky

7) Hedvábná šedá



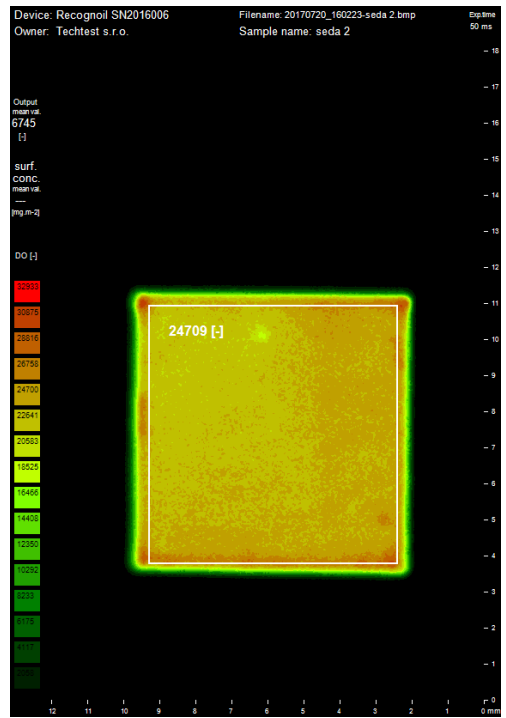
Obrázek 39 – Snímek hedvábně šedé kostky

8) Signální žlutá



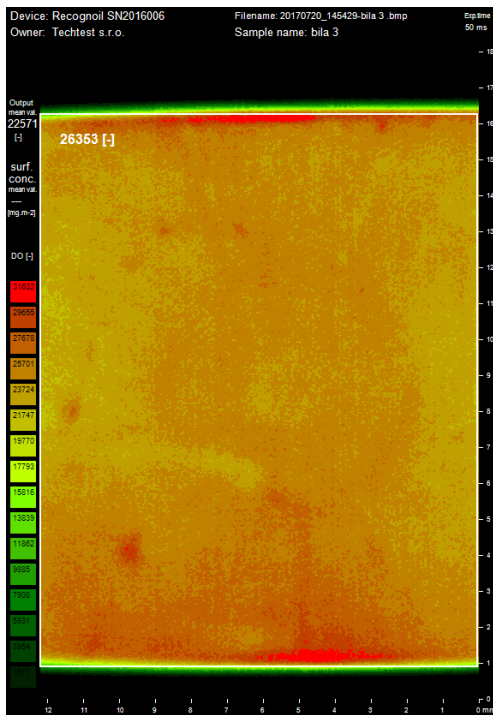
Obrázek 40 – Snímek signálně žluté kostky

9) Lišejníková šedá



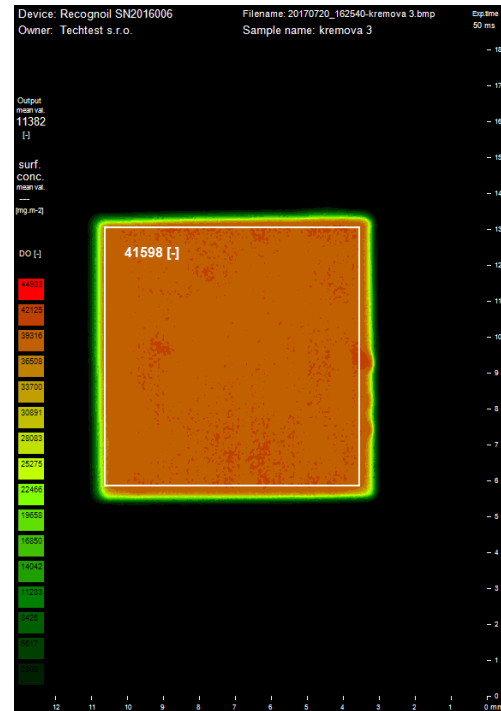
Obrázek 41 – Snímek lišejníkově šedé kostky

10) Krémová



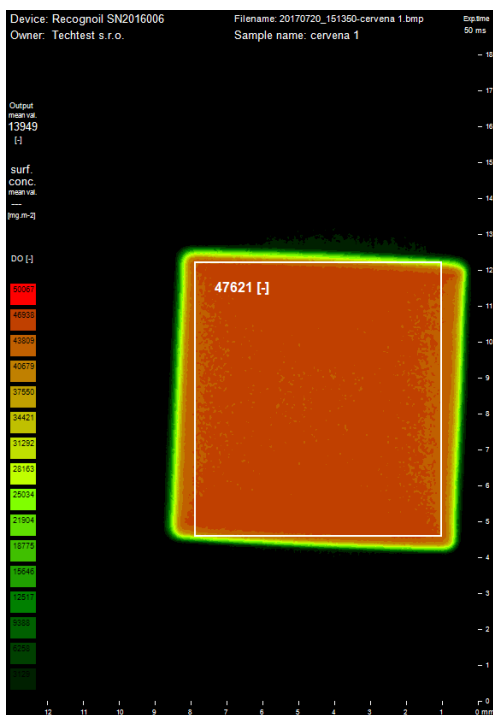
Obrázek 42 – Snímek krémové kostky

11) Žlutá hořčičná



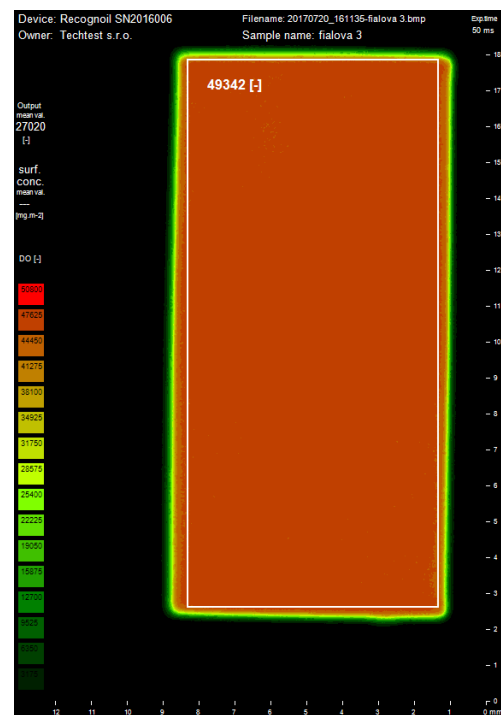
Obrázek 43 – Snímek hořčičně žluté kostky

12) Zářivá červená



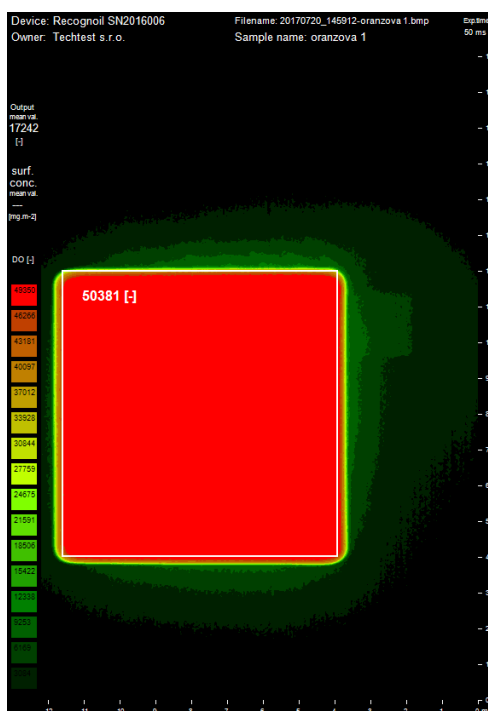
Obrázek 44 – Snímek zářivé červené kostky

13) Modrofialová



Obrázek 45 – Snímek modrofialové kostky

## 14) Oranžová pastelová



Obrázek 46 – Snímek pastelově oranžové barvy

Naměřené hodnoty fluorescence jednotlivých barevných odstínů ABS jsou uvedeny v tabulce 28. Z výsledků měření je patrný výrazný vliv barevných pigmentů a aditiv na hodnoty fluorescence materiálu. U černě zbarveného ABS činí průměrná hodnota fluorescence (stanovená ze 4 měření) 3 200 jednotek. Velmi vysoké hodnoty fluorescence (> 30 000 jednotek) vykazovaly odstíny krémová, žlutá hořčičná, zářivá červená, modrofialová. Odstín oranžová pastelová vykazoval nadlimitní hodnoty fluorescence (> 50 000 jednotek).

U měřených dílů jsou použita barviva Macrolex. Jak je uvedeno v kapitole 5.5.4, má použitý druh barviva a jeho složení vliv na fluorescenci plastu. Dále lze předpokládat, že díly obsahují příměs zabezpečující degradaci plastu.

Z výsledků je dále patrný výrazný rozdíl fluorescence ve srovnání s fluorescencí čistého Al a Fe, kdy tyto materiály při snímání pomocí zařízení Recognoil vykazují hodnoty fluorescence do 100 jednotek.

## 6.2 Detekce mastnoty

V této části experimentu byly použity vzorky, které jsou určeny pro zkoušky tahem. Jednalo se o vzorky PS, PS-HI, PP, PP-GF30, PMMA a PC. Pro měření byla použita pouze část vzorku sloužící k uchycení při tahové zkoušce, jak je patrné na obrázku 47. Dále byly použity čtyři průmyslové plasty – Liten MB 71, Mosten MA 230, Noryl a INSPIRE TF 1305SC. Naměřené hodnoty odmaštěných plastů (způsob a postup stejný jako v kapitole 6.1) jsou uvedeny v tabulce 29 a 31.

1) *Vzorky pro tahovou zkoušku PS, PS-HI, PP, PP-GF30, PMMA a PC:*



Obrázek 47 – Použité vzorky



Obrázek 48 – Plasty na tahovou zkoušku



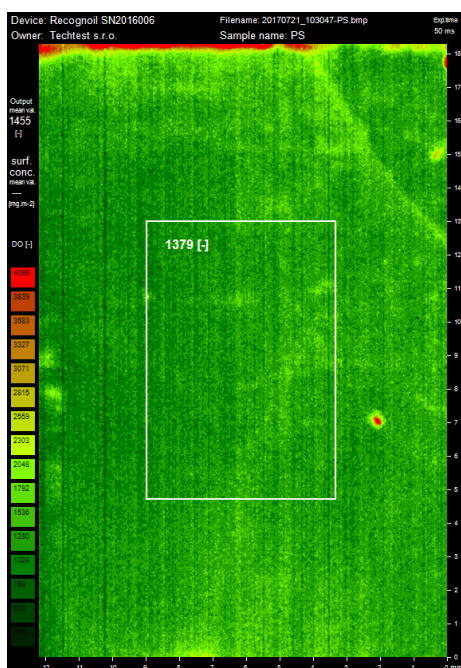
*Tabulka 29: Hodnoty fluorescence odmaštěných vzorků plastů*

Materiál	Fluorescence [-]
Polykarbonát	24 140
Polymethylmetakrylát	5 648
Polypropylen	50 605 (limit)
Polystyren	50 604 (limit)
Polypropylen + 30 % skelných vláken	50 605 (limit)
Polystyren houževnatý	1 379

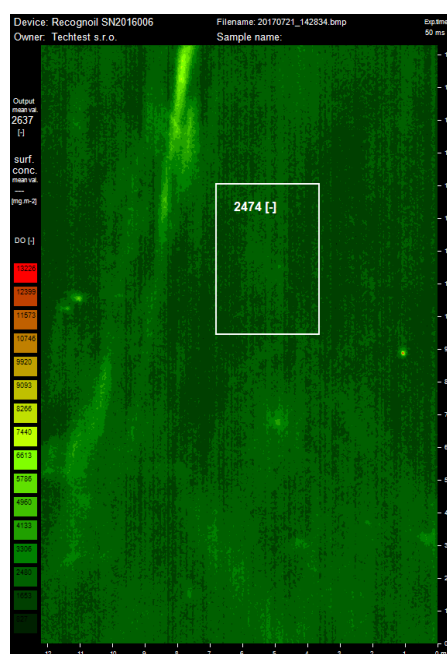
Pro další experiment byl zvolen vzorky vykazující nejmenší a nejvyšší hodnotu fluorescence, tedy polystyren houževnatý (PS-HI) a polypropylen + 30 % skelných vláken (PP-GF30). Na tyto vzorky byla nanášena tenká a silná vrstva oleje MOGUL Diesel DT 15W-40. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulkách 30 a 31.

*Tabulka 30: Hodnoty fluorescence polystyrenu houževnatého*

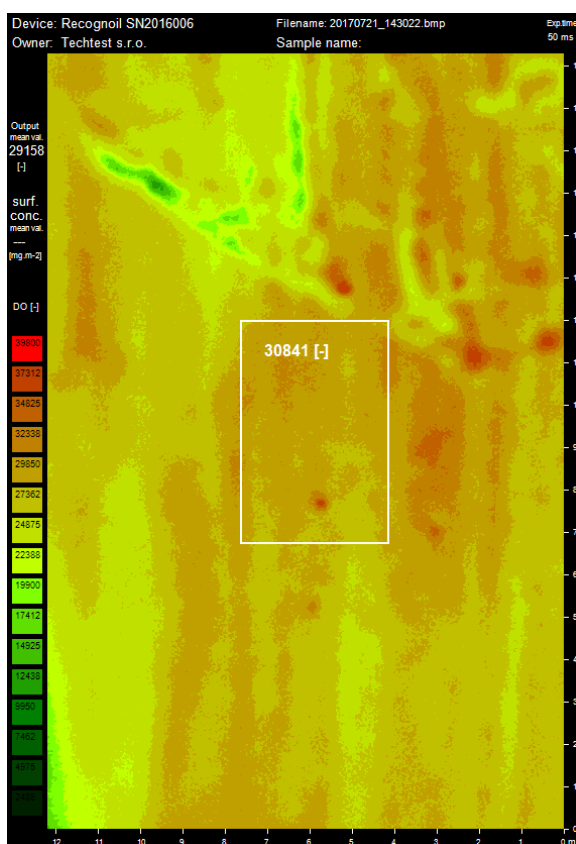
Vrstva oleje	Fluorescence [-]
Žádná	1 379
Tenká vrstva	2 474
Silná vrstva	30 841



Obrázek 49 – Polystyren houževnatý bez vrstvy oleje



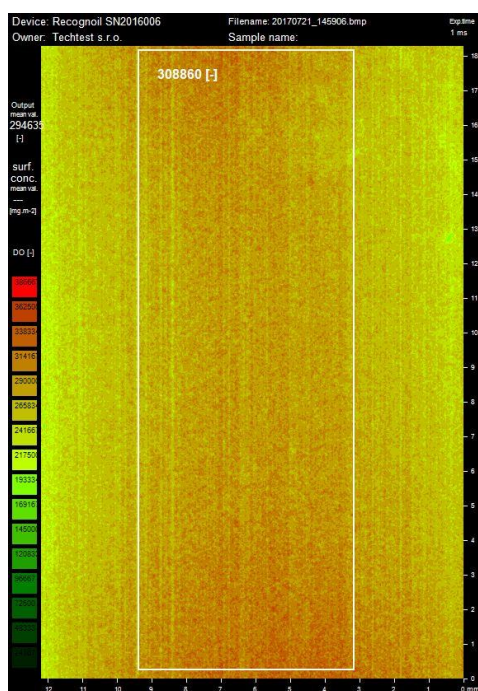
Obrázek 50 – Polystyren houževnatý s tenkou vrstvou oleje



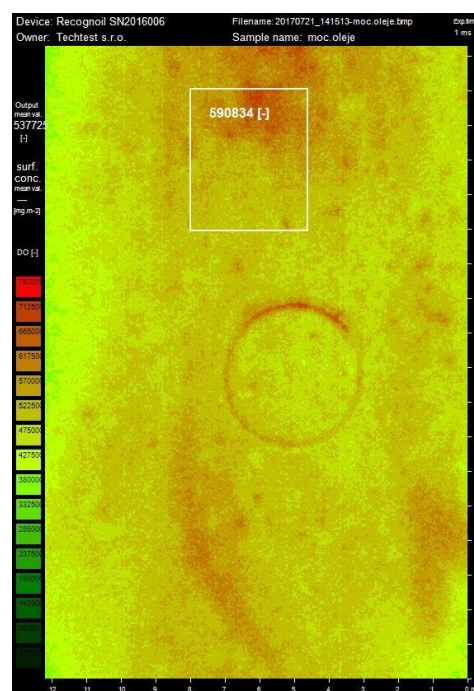
Obrázek 51 – Polystyren houževnatý se silnou vrstvou oleje

Tabulka 31: Fluorescence PP-GF30 před nanášením a po nanášení vrstvy oleje

Vrstva oleje	Hodnota fluorescence [-]
50 ms	
Žádná	50 605
Silná vrstva	50 586
1 ms	
Žádná	308 860
Tenká vrstva	334 007
Středně tenká vrstva	392 003
Silná vrstva	590 834



Obrázek 52 – Fluorescence PP-GF30 bez vrstvy oleje



Obrázek 53 – Fluorescence PP-GF30 se silnou vrstvou oleje

Z experimentu je patrné, že pokud plast vykazuje nízké hodnoty fluorescence v čistém stavu, lze pomocí zařízení Recognoil s uspokojivými výsledky detekovat mastnotu – viz vzorek PS-HI. Bohužel v případě vzorku PP-GF30, který vykazuje v čistém stavu vysoké hodnoty fluorescence > 50 000 jednotek (doba expozice 50 ms), > 300 000 jednotek (doba expozice 1 ms), je obtížné detekovat znečištění olejem Mogul 15W-40. Jak je patrné z tabulky 31, lze snížením expozičního času detekovat změnu fluorescence vlivem oleje přítomného na povrchu součásti. Ovšem toto vede ke zvýšení rozptylu měřených hodnot.

**2) Průmyslové plasty Liten MB 71, Mosten MA 230, Noryl a INSPIRE TF 1305SC:**

Následující měření bylo provedeno stejným způsobem jako v případě vzorků určených pro tahovou zkoušku. Pro experiment byly použity plasty fi. Chemoplast, v případě nanášení olejových vrstev byla navíc měřena změna hmotnosti vzorku.

Naměřené hodnoty čistých a zamaštěných vzorků jsou uvedeny v tabulkách 32 a 33.

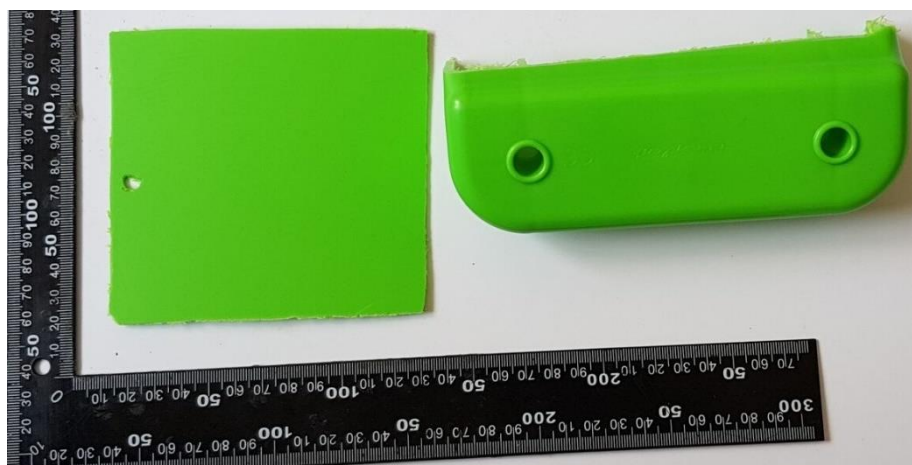
Polymery Liten a Mosten jsou popsány v teoretické části, níže jsou uvedeny chemické povahy plastů INSPIRE a Noryl.

\**INSPIRE TF 1305SC Natur – Modifikovaný polypropylen*

\**Noryl – Je kombinací polyfenyléteru a polystyrenu*



Obrázek 54 – *INSPIRE TF 1305SC\* Natur a Noryl\**



Obrázek 55 – *Mosten MA 230 a Liten MB 71*

Tabulka 32: Naměřené hodnoty plastů *fi.* Chemoplast

Materiál	Vrstva oleje	Hodnota fluorescence [-]
INSPIRE TF 1305SC	Žádná	58,4
INSPIRE TF 1305SC	Tenká vrstva	3 502
Noryl	Žádná	4 048
Noryl	Tenká vrstva	5 785
Mosten MA 230	Žádná	7 605
Mosten MA 230	Tenká vrstva	13 450
Liten MB 71	Žádná	9 707
Liten MB 71	Tenká vrstva	21 663

Tabulka 33: Hmotnosti vzorků před nanesením a po nanesení vrstvy oleje

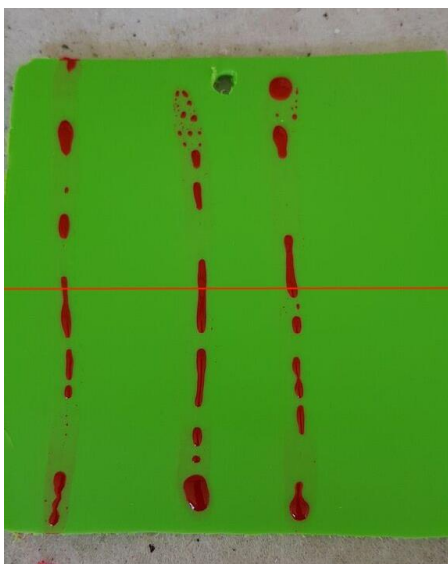
Materiál	Bez oleje [g]	S olejem [g]
INSPIRE TF 1305SC	37,8200	38,1500
Noryl	13,6165	13,6270
Mosten MA 230	24,8078	24,83
Liten MB 71	42,9302	43,3490

Z naměřených hodnot je patrné, že nejnižších hodnot fluorescence dosahuje plast INSPIRE TF 1305SC, průměrně 58 jednotek fluorescence. Díky této vlastnosti lze spolehlivě provádět kontrolu znečištění povrchu pomocí zařízení Recognoil. Obdobně jako v případě ABS mají černě zbarvené plasty výrazně nižší fluorescenci oproti světle zelenému odstínu plastů Mosten MA 230 a Liten MB71. Avšak i u těchto polymerů byla zaznamenána změna intenzity fluorescence přítomností oleje na povrchu.

### 6.3 Detekce mastnoty za pomoci inkoustu

Pro ověření detekční schopnosti a vlivu povrchového napětí plastů na interpretaci výsledků zkoušek pomocí inkoustů, byl proveden experiment pomocí testovací sady fi. EverStar, s.r.o.

Sada obsahuje 3 inkousty, schopné detekovat mastnotu v následujících koncentracích: A –  $0,1 \text{ g.m}^{-2}$ , B –  $0,01 \text{ g.m}^{-2}$  a C –  $0,001 \text{ g.m}^{-2}$ .



Obrázek 56 – Detekce nečistot inkoustem na Mostenu MA 230



Obrázek 57 – Detekce nečistot inkoustem na Norylu

Z obrázků je patrné, že v případě Mostenu nelze z důvodu nesmáčivosti povrchu použít pro ověření stupně zamaštění detekční inkoust, v tomto případě lze doporučit pro stanovení stupně znečištění zařízení Recognoil. U vzorku Norylu došlo k roztrhání souvislého inkoustového filmu, lze tedy konstatovat, že je možné použít uvedený způsob kontroly znečištění.

## 7 Technicko-ekonomické zhodnocení

Technicko-ekonomické zhodnocení bylo provedeno na základě pořizovacích nákladů a schopností detekce jednotlivých zařízení na površích plastů.

### Detekční fixy a inkousty

Tento druh metody není zcela spolehlivý z důvodů povrchového napětí plastových výrobků. Detekční schopnost je navíc ovlivněna drsností.

Cena testovacích sad se pohybuje okolo 6 000 Kč a životnost je omezená kvůli znečištění inkoustů či hrotů fixů. V případě fixů může docházet k opotřebení hrotů vlivem drsnosti.

Zásadní nevýhodou je, že po dokonalém odmaštění se povrch testovaného předmětu znovu zamastí inkoustem či fixy.

### Recognoil

Pomocí tohoto zařízení lze bezkontaktně snímat povrch a detekovat nečistoty. Se zařízením se pracuje velice jednoduše, je mobilní a velmi praktické. Vytvoří se snímek na povrchu a můžeme jednoduše provést analýzu. Pokud povrch vykazuje vysokou luminiscenci, jsou metody, které nám pomůžou detekovat mastnotu, například přidávání fluoresceinu do oleje. Tím bude olej vykazovat mnohonásobně vyšší hodnoty fluorescence oproti základnímu materiálu.

Toto zařízení stojí okolo 100 000 Kč v nejvyšší softwarové výbavě a jeho životnost je prakticky neomezená.

### SITA – CleanoSpector

Zařízení umožňuje detekovat kontaminaci obdobným principem jako zařízení Recognoil, ale pouze v jednom bodě. Výstupem je pouze hodnota intenzity fluorescence uvedená v jednotkách fi. SITA, kdy se jedná o relativní hodnotu fluorescence od 0 do 2 000 jednotek RFU. Výhodou toho zařízení je možnost detekovat znečištění na obtížně přístupných plochách tj. na různých složitých tvarovaných součástech, v zaobleních apod.

Cena zařízení > 100 000 Kč.

## 8 Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo popsání a ověření možných způsobů detekce mastných nečistot na odlišných typech plastů. V rámci experimentální části byla provedena celá řada měření pomocí zařízení Recognoil a detekčních inkoustů. Cílem provedených experimentů, bylo ověření detekčních schopností uvedeného zařízení a popsání vlivu povahy a složení jednotlivých plastů na základní hodnotu fluorescence čistých povrchů použitých plastů.

U experimentu se čtrnácti různými odstíny ABS plastu byl prokázán předpokládaný vliv použitého pigmentu a dalších aditiv na fluorescenci jednotlivých vzorků. Z realizovaného experimentu je patrné, že v případě použití zařízení Recognoil na konkrétní typ plastu (např. ABS, PP, PUR aj.) nelze bez předchozího ověření fluorescenčních vlastností barevného odstínu či modifikovaných typů daného plastu (použití retardérů hoření, UV stabilizátorů apod.) konstatovat použitelnost toho zařízení pro detekci mastného znečištění.

Dále byla experimentem prokázána rozdílná fluorescence různých typů průmyslových plastových materiálů běžně používaných v chemickém, potravinářském a automobilovém průmyslu. Velice nízká hodnota fluorescence odmaštěného plastu INSPIRE TF 1305SC (58 jednotek), která je blízká hodnotám důkladně odmaštěných kovových materiálů (< 100 jednotek) je s největší pravděpodobností způsobena černým pigmentem (např. saze) a aditivami zabraňujícími UV degradaci tohoto plastu, který je používán jako pohledový díl palubní desky automobilu.

V rámci provedeného měření pomocí detekčních inkoustů byla v případě materiálu Mosten MA 230 ověřena limitující přirozená vlastnost pro použití tohoto způsobu detekce – nízká hodnota povrchového napětí, znemožňující použití uvedeného způsobu detekce mastnoty. Pomocí přístroje Recognoil se naopak u tohoto plastu znečištění povrchu podařilo zaznamenat. V případě lakování uvedeného vzorku by při provedení detekce pouze pomocí detekčních inkoustů byl výsledný povlak nanesen na nevhodně a nedostatečně předupravený povrch a tím by mohlo dojít k jeho selhání vlivem nedostatečné adheze či k projevu estetických vad.

Získané poznatky v rámci experimentální části bakalářské práce mohou být použity například pro vytvoření sady kalibračních vzorků pro zařízení Recognoil. Díky polymerním materiálům lze sestavit kalibrační řadu v celém měřicím rozsahu zařízení například použitím materiálu INSPIRE TF 1305SC (pro hodnoty blízké vysoce čistým kovům – 58 jednotek), ABS odstínu nebeská modrá (25 000 jednotek) a ABS pastelově oranžové barvy pro hodnoty > 50 000 jednotek.



## Seznam zkratek

rPE – Bralen (polymerace za nízkého tlaku)

lPE – Liten (polymerace za vysokého tlaku)

$t_g$  – Teplota skelného přechodu

$t_t$  – Teplota tečení

$C_p$  – Měrná tepelná kapacita při stálém tlaku

$\rho$  – Hustota

$\varepsilon$  – Měrné prodloužení (poměrná deformace)

$\phi$  – Úhel zkroucení

A – Tažnost

E – Modul pružnosti v tahu

$R_m$  – Mez pevnosti v tahu

$R_e$  – Mez kluzu v tahu

PP-GF30 – Polypropylen + 30 % skelných vláken

**Seznam jednotek:**

°C – Stupeň Celsia

MPa – Síla jednoho newtonu působícího na plochu jednoho čtverečního milimetru

$\text{g.cm}^{-3}$  – Hustota

$\text{kJ.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  – Měrná tepelná kapacita za konstantního tlaku

$\text{g}/10 \text{ min}$  – Index toku taveniny

$\text{kJ.m}^{-2}$  – Vrubová houževnatost

$\text{mN.m}^{-1}$  – Povrchové napětí

mg – Hmotnost

nm – Délka

ms – Čas

## Seznam literatury

- [1] ŠTĚPEK, Jiří, Antonín KUTA a Jiří ZELINGER. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů: celostátní vysokoškolská příručka pro vysoké školy chemickotechnologické, studijní obor 28-10-8 Technologie výroby a zpracování polymerů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989.
- [2] SVOBODA, Rostislav. Historie plastů od prvního celuloidu po dnešní vstřikování. *Factory Automation* [online]. 2016 [cit. 2017-07-07]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/historie-plastu-od-prvniho-celuloidu-po-dnesni-vstrikovani/>
- [3] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-7204-248-3.
- [4] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [5] Unipetrol. Mosten MA 230. *Unipetrol.cz* [online]. 2005 [cit. 2017-07-07]. Dostupné z: [http://www.unipetrol.cz/cs/NabidkaProduktu/PetrochemickeProdukty/Polyolefiny/Stranky//product\\_details\\_M.aspx?product=Mosten%20MA%20230](http://www.unipetrol.cz/cs/NabidkaProduktu/PetrochemickeProdukty/Polyolefiny/Stranky//product_details_M.aspx?product=Mosten%20MA%20230)
- [6] Unipetrol. LITEN MB 71. *Unipetrol.cz* [online]. 2005 [cit. 2017-07-07]. Dostupné z: [http://www.unipetrol.cz/cs/NabidkaProduktu/PetrochemickeProdukty/Polyolefiny/Stranky//product-details\\_L.aspx?product=LITEN%20MB%2071](http://www.unipetrol.cz/cs/NabidkaProduktu/PetrochemickeProdukty/Polyolefiny/Stranky//product-details_L.aspx?product=LITEN%20MB%2071)
- [7] DAŘOUREK, Karel. *Kompozitní materiály: Definice a rozdělení*. Liberec: TU v Liberci, 2008 [cit. 2017-07-15]. Dostupné také z: [http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady\\_kmt\\_magistri/KM/Kompozity%20Dad/02defroz.pdf](http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/KM/Kompozity%20Dad/02defroz.pdf)
- [8] Základní vazby plastů. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-07-15]. Dostupné z: <https://www.wikipedia.org/konkrétní>
- [9] LA composite s.r.o. Přínosy kompozitních materiálů. *Lacomposite.sweb.cz* [online]. 1999 [cit. 2017-07-15]. Dostupné z: <http://lacomposite.sweb.cz/teorie.htm>
- [10] TU Liberec. Technologie na úpravu povrchu plastů. *Tul.cz* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec, 1979 [cit. 2017-07-21]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/12.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/12.htm)

- [11] PETŘÍK, Tomáš. Historie plastu. *Muni.cz* [online]. Praha: Technická a informační výchova, PdF MU, 2006 [cit. 2017-07-21]. Dostupné z: <http://www.ped.muni.cz/wtech/petrik/pracestechnickymimaterialy/plasty/historieplastu.html>
- [12] Město Jihlava. Historie plastu. *Jihlava.cz* [online]. 2008 [cit. 2017-07-21]. Dostupné z: <https://www.jihlava.cz/plasty/d-490914>
- [13] Dupont. Kompozity. *Dupont.com* [online]. USA: DuPont, 2010 [cit. 2017-07-21]. Dostupné z: <http://www.dupont.com/products-and-services/fabrics-fibers-nonwovens/fibers/brands/kevlar/products/dupont-kevlar-fiber.html>
- [14] Dupont. Aramid: Teijin. *Dupont.com* [online]. Nizozemsko: Teijin, 1990 [cit. 2017-07-21]. Dostupné z: <http://www.dupont.com/products-and-services/fabrics-fibers-nonwovens/fibers/brands/kevlar/products/dupont-kevlar-fiber.html>
- [15] Česká společnost pro větrnou energii. Materiály pro laminování rotorových listů: D-Skló [online]. Praha: CSVE, 2013 [cit. 2017-07-21]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/en/clanky/materialy-pro-laminovani-rotorovych-listu/316><http://www.csve.cz/en/clanky/materialy-pro-laminovani-rotorovych-listu/316>
- [16] Kořínek Z. Vlákna. Kompozity [online]. Praha: MujWeb, 2016 [cit. 2017-07-22]. Dostupné z: [https://drive.google.com/file/d/0B8vQSuH1vI\\_vV1I5RHg1SIFPNW8/view](https://drive.google.com/file/d/0B8vQSuH1vI_vV1I5RHg1SIFPNW8/view)
- [17] TITAN – MULTIPLAST s.r.o. Moderní výroba plastů. *Titan-multiplast.cz* [online]. Smržovka: Titan multiplast, 2017 [cit. 2017-07-22]. Dostupné z: <https://www.titan-multiplast.cz/?item=technicke-porovnani-plastu>
- [18] KRULIŠ, Z. *Aplikace a nejvhodnější materiálové a technologické řešení. Termoplasty v praxi*. CD-ROM. Verlag-Dashofer, s. r. o. Praha, 2003.
- [19] TechTest, s.r.o. Recognoil. *Techtest.eu* [online]. Praha: TechTest, c2015 [cit. 2017-07-22]. Dostupné z: <http://www.techtest.eu/indexCS.html>
- [20] *Technický Týdeník*. 2006, č. 6. Praha: Springer Media CZ. Dostupné také z: <http://www.techtydenik.cz/>
- [21] NOVÁK J. a kol. *Fyzikální chemie – bakalářský a magisterský kurz*. 1. vyd. Praha: VŠCHT, 2008. ISBN 978-80-7080-675-3.
- [22] ATOZ Studio spol. s r. o. Povrchové napětí. *Svetbaleni.cz* [online]. Praha: Svět balení, 2015 [cit. 2017-07-22]. Dostupné z: <http://www.svetbaleni.cz/2015/06/17/nepodcenujte-povrchove-napeti/>

- [23] Proinex Instruments, s.r.o. Arcotest - Fixy a inkousty. *Proinex.cz* [online]. Praha: Proinex, 2017 [cit. 2017-07-22]. Dostupné z: <http://www.proinex.cz/cs/61-arcotest-fixy-a-inkousty.html>
- [24] JIRÁSEK, J. a M. VAVRO. *Nerostné suroviny a jejich využití*. Ostrava: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR & Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1378-3.
- [25] UV záření. In: *Optika-safarikova.cz* [online]. Praha: Optika safarikova, 2010 [cit. 2017-07-22]. Dostupné z: <http://www.optika-safarikova.cz/images/content/zareni.jpg>
- [26] Fluorescenční HPLC detektory. Fluorescenční HPLC detektory. *Hplc.cz* [online]. Praha: HPLC, 1999-2016 [cit. 2017-07-22]. Dostupné z: [http://www.hplc.cz/teorie/fl\\_detector.html](http://www.hplc.cz/teorie/fl_detector.html)
- [27] SITA Messtechnik GmbH. *Sitta Process Solutions* [online]. Dresden: SITA, c2017 [cit. 2017-08-04]. Dostupné z: <https://www.sita-process.com/products/fluorescence-measuring-and-testing-devices/sita-cleanospector/>
- [28] PELANT, Ivan a Jan VALENTA. *Luminiscence doma, v přírodě a v laboratoři*. Praha: Academia, 2014. Průhledy (Academia). ISBN 978-80-200-2394-0.

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Vlastnosti jednosměrných kompozitů [9].....	12
Tabulka 2: Volba vlákna [9].....	13
Tabulka 3: Volba pojiva [9].....	13
Tabulka 4: Mechanické a fyzikální vlastnosti polystyrénu [4].....	15
Tabulka 5: Mechanické a fyzikální vlastnosti rPE [4] .....	16
Tabulka 6: Mechanické a fyzikální vlastnosti IPE [4].....	16
Tabulka 7: Mechanické a fyzikální vlastnosti Litenu MB 71 [5] .....	17
Tabulka 8: Mechanické a fyzikální vlastnosti polyvinylchloridu [4] .....	18
Tabulka 9: Mechanické a fyzikální vlastnosti polypropylenu [4] .....	19
Tabulka 10: Mechanické a fyzikální vlastnosti mostenu MA 230 [5].....	20
Tabulka 11: Mechanické a fyzikální vlastnosti ABS [4].....	21
Tabulka 12: Mechanické a fyzikální vlastnosti acetátu celulózy [4].....	22
Tabulka 13: Mechanické a fyzikální vlastnosti polytetrafluoretylenu [4] .....	23
Tabulka 14: Mechanické a fyzikální vlastnosti PA 66 [4].....	24
Tabulka 15: Mechanické a fyzikální vlastnosti PA 6 [4].....	24
Tabulka 16: Mechanické a fyzikální vlastnosti polyoxymetylenu [4].....	25
Tabulka 17: Mechanické a fyzikální vlastnosti polykarbonátu [4] .....	26
Tabulka 18: Mechanické a fyzikální vlastnosti polyetylenereftalátu [4] .....	26
Tabulka 19: Mechanické a fyzikální vlastnosti polymetylmetakrylátu [4] .....	27
Tabulka 20: Mechanické a fyzikální vlastnosti fenolformaldehydové pryskyřice [4].....	28
Tabulka 21: Mechanické a fyzikální vlastnosti močovinoformaldehydové pryskyřice [4] .....	29
Tabulka 22: Mechanické a fyzikální vlastnosti melaminformaldehydové pryskyřice [4].....	30
Tabulka 23: Mechanické a fyzikální vlastnosti nenasyceného polyesteru [4] .....	31
Tabulka 24: Mechanické a fyzikální vlastnosti epoxidové pryskyřice [4].....	32
Tabulka 25: Povrchové napětí některých druhů plastů [22].....	35
Tabulka 26: Nejznámější luminiscenční látky [28] .....	42
Tabulka 27: Rozdělení UV záření [8] .....	43
Tabulka 28: Fluorescence jednotlivých barev – seřazení podle průměrných hodnot .....	50
Tabulka 29: Hodnoty fluorescence odmaštěných vzorků plastů .....	56
Tabulka 30: Hodnoty fluorescence polystyrenu houževnatého .....	56
Tabulka 31: Fluorescence PP-GF30 před nanášením a po nanášení vrstvy oleje .....	58
Tabulka 32: Naměřené hodnoty plastů fi. Chemoplast .....	60

Tabulka 33: Hmotnosti vzorků před nanesením a po nanesení vrstvy oleje .....	60
Tabulka 34: Naměřené hodnoty všech použitých vzorků LEGA© .....	76

## Seznam obrázků

Obrázek 1 – Pevnost a tuhost kompozitů (platí pro jednosměrné výztuže) [9] .....	12
Obrázek 2 – Základní vazba polystyrénu [8] .....	15
Obrázek 3 – Základní vazba polyethylenu [8] .....	16
Obrázek 4 – Základní vazba polyvinylchloridu [8] .....	18
Obrázek 5 – Základní vazba polypropylenu [8] .....	19
Obrázek 6 – Základní vazba ABS [8] .....	21
Obrázek 7 – Základní vazba acetátu celulózy [8] .....	22
Obrázek 8 – Základní vazba polytetrafluoretylenu [8] .....	23
Obrázek 9 – Základní vazba polyamidu [8] .....	24
Obrázek 10 – Základní vazba polyoxymetylenu [8] .....	25
Obrázek 11 – Základní vazba polykarbonátu [8] .....	26
Obrázek 12 – Základní vazba polyethylentereftalátu [8] .....	27
Obrázek 13 – Základní vazba polymetylmetakrylátu [8] .....	27
Obrázek 14 – Základní vazba fenolformaldehydové pryskyřice [8] .....	28
Obrázek 15 – Základní vazba močovinoformaldehydové pryskyřice [8] .....	29
Obrázek 16 – Základní vazba melaminformaldehydové pryskyřice [8] .....	30
Obrázek 17 – Základní vazba nenasyceného polyesteru [8] .....	31
Obrázek 18 – Základní vazba epoxidové pryskyřice [8] .....	32
Obrázek 19 – Plastové díly na automobilu [18] .....	34
Obrázek 20 – Podíl jednotlivých materiálů na celkové hmotnosti automobilu [18] .....	34
Obrázek 21 – Arcotest – Fixy a inkousty .....	37
Obrázek 22 – Vznik barvy odrážením specifických vlnových délek světla [24] .....	38
Obrázek 23 – Schéma fluorescenčního detektoru [26] .....	38
Obrázek 24 – Zařízení Recognoil a fluorescenční mapa .....	39
Obrázek 25 – Zařízení CleanoSpector (vlevo), schéma principu (vpravo) [27] .....	40
Obrázek 26- Luminiscenční spektra různých látek .....	41
Obrázek 27 – Záření slunečního paprsku [25] .....	43
Obrázek 28 – Typičtí představitelé organických barviv [28] .....	44
Obrázek 29 – Absorpční spektrum a emisní fotoluminiscenční spektrum roztoku fluoresceinu v etanolu za pokojové teploty [28] .....	45
Obrázek 30 – Stopa fluoresceinu ve vodě [28] .....	46



Obrázek 31 – Sada roztoků nanokrystalu CdSe v denním světle (nahore) a jejich fotoluminiscence buzená ultrafialovým zářením (dole) .....	48
Obrázek 32 – Použité odstíny kostek .....	49
Obrázek 33 – Snímek černé kostky .....	50
Obrázek 34 – Snímek listově zelené kostky .....	51
Obrázek 35 – Snímek citronově žluté kostky .....	51
Obrázek 36 – Snímek zelenožluté kostky .....	51
Obrázek 37 – Snímek vřesově fialové kostky .....	51
Obrázek 38 – Snímek nebesky modré kostky .....	52
Obrázek 39 – Snímek hedvábně šedé kostky .....	52
Obrázek 40 – Snímek signálně žluté kostky .....	52
Obrázek 41 – Snímek lišejníkově šedé kostky .....	52
Obrázek 42 – Snímek krémové kostky .....	53
Obrázek 43 – Snímek hořčičně žluté kostky .....	53
Obrázek 44 – Snímek zářivě červené kostky .....	53
Obrázek 45 – Snímek modrofialové kostky .....	53
Obrázek 46 – Snímek pastelově oranžové barvy .....	54
Obrázek 47 – Použité vzorky .....	55
Obrázek 48 – Plasty na tahovou zkoušku .....	55
Obrázek 49 – Polystyren houževnatý bez vrstvy oleje .....	57
Obrázek 50 – Polystyren houževnatý s tenkou vrstvou oleje .....	57
Obrázek 51 – Polystyren houževnatý se silnou vrstvou oleje .....	57
Obrázek 52 – Fluorescence PP-GF30 bez vrstvy oleje .....	58
Obrázek 53 – Fluorescence PP-GF30 se silnou vrstvou oleje .....	58
Obrázek 54 – INSPIRE TF 1305SC Natur a Noryl .....	59
Obrázek 55 – Mosten MA 230 a Liten MB 71 .....	59
Obrázek 56 – Detekce nečistot inkoustem na Mostenu MA 230 .....	61
Obrázek 57 – Detekce nečistot inkoustem na Norylu .....	61
Obrázek 58 – Olej Mogul .....	73
Obrázek 59 – Inkousty na detekci nečistot od firmy EverStar, s.r.o .....	73
Obrázek 60 – Odmašťovací prostředek simple green .....	74
Obrázek 61 – Vana na odmaštění od firmy Kraintek s. r. o .....	74
Obrázek 62 – Váhy Mettler H64 (vlevo) a Explorer Pro (vpravo) .....	75

## Přílohy



Obrázek 58 – Olej Mogul



Obrázek 59 – Inkousty na detekci nečistot od firmy EverStar, s.r.o



Obrázek 60 – Odmašťovací prostředek simple green



Obrázek 61 – Vana na odmaštění od firmy Kraintek s. r. o.



Obrázek 62 – Váhy Mettler H64 (vlevo)  
a Explorer Pro (vpravo)

Tabulka 34: Naměřené hodnoty všech použitých vzorků LEGA®

Barva	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Vzorek 4
Černá	3093	3152	2763	3899
Listová zelená	2021	5881	4382	1577
Citronová žlutá	12365	8993	9699	11587
Zelenožlutá	13468	11301	11333	12937
Fialová vřesová	19714	19653	19546	17775
Nebeská modrá	22545	29828	23218	26061
Hedvábná šedá	24585	25503	22155	40390
Signální žlutá	33059	23836	50328	24484
Lišejníková šedá	24709	39165	20458	32749
Krémová	33588	40397	26353	41271
Žlutá hořčičná	40232	44293	41598	40789
Zářivá červená	47621	32894	48986	48927
Modrofialová	49206	49914	49342	49915
Oranžová pastelová	50032	50381	49989	50366