

Testovanie ochranných prvkov z polykarbonátu

Bc. Lukáš Pollák

Diplomová práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav elektroniky a měření

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš Pollák**
Osobní číslo: **A16425**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Testování ochranných prvků z polykarbonátu**
Téma práce anglicky: **Testing Polycarbonate Security Elements**

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární rešerši týkající se přípravy, použití a testování součástí z polykarbonátu.
2. Připravte zkušební tělesa z polykarbonátu.
3. Realizujte klimatické testy.
4. Proveďte mechanické testování připravených zkušebních těles.
5. Zpracujte statistické vyhodnocení a diskutujte výsledky.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam doporučené literatury:

- [1] DOMININGHAUS, Hans. *Plastics for engineers: materials, properties, applications*. 3rd edition. Munich, Vienna, New York, Barcelona: Carl Hanser Verlag, 1993. ISBN 3-446-15723-9.
- [2] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-7080-617-6.
- [3] ZEMAN, Lubomír. *Vstříkování plastů: úvod do vstříkování termoplastů*. Praha: BEN – technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [4] ZEMAN, Lubomír. *Vstříkování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [5] SHAH, Vishu. *Handbook of Plastics Testing Technology*. 2nd ed. New York: John Wiley, 1998. ISBN 0-471-18202-8.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Aleš Mizera
Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání diplomové práce: 9. prosince 2019
Termín odevzdání diplomové práce: 29. května 2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Milan Adámek
Osobní číslo: A18425
Studijní program: K3002 Inženýrské informatiky
Studijní obor: Informatika, technologie, systémy a management
Forma studia: Kombinovaná
Jméno práce: Testování ochranných prvků z polykarbonátu
Jméno práce anglicky: Testing Polycarbonate Security Elements

Zásady pro vypracování

1. Vypracování diplomové práce musí být provedeno v souladu s ustanoveními zákona č. 172/2005 Sb., o vysokém školství a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokém školství).
2. Vypracování diplomové práce musí být provedeno v souladu s ustanoveními tohoto zadání.
3. Vypracování diplomové práce musí být provedeno v souladu s ustanoveními tohoto zadání.



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan

Ing. Milan Navrátil, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 9. prosince 2019

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 05.08. 2020

Lukáš Pollák, v. r.
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Cieľom diplomovej práce je testovanie ochranných prvkov z polykarbonátu. V teoretickej časti sú všeobecne popísané polyméry so zameraním na polykarbonát s jeho výrobou a spracovaním. Následne sú popísané ochranné a obranné prvky vyrobené z polykarbonátu. V praktickej časti sú testované mechanické vlastnosti polykarbonátov (statické i rázové) za bežných podmienok, ale aj po klimatických testoch. Sú skúmané vybrané druhy polykarbonátov vyrobené hlavne technológiou vstrekovanie. Získané výsledky sú graficky a štatisticky vyhodnotené.

Cieľ diplomovej práce je rozšírený o testovanie obranného prvku z polykarbonátu z teoretickej časti, ktorý je podrobený testu pevnosti proti vybraným predmetom. Následne sú skúmané jeho mechanické vlastnosti inštrumentovanou skúškou prierazom. Získané výsledky sú graficky a štatisticky vyhodnotené.

Kľúčové slová: polymér, polykarbonát, ochranné prvky, mechanické skúšky, klimatické skúšky

ABSTRACT

The aim of diploma Thesis is to test protective elements made of polycarbonate. The theoretical part generally describes polymers with a focus on polycarbonate with his production and processing. Subsequently, protective and defensive elements made of polycarbonate are described. The practical part contains mechanical properties testing of polycarbonates (static and impact) under normal conditions, but also after climatic tests. The main focus of examination is put on selected types of polycarbonates that were produced primarily through injection moulding technology. Obtained results are graphically and statistically evaluated.

The aim of the diploma Thesis is extended by testing of the defensive element made of polycarbonate described in the theoretical part, which is subjected to a strength test against selected objects. Subsequently, mechanical properties are examined by an instrumented impact test. Obtained results are graphically and statistically evaluated.

Keywords: polymer, polycarbonate, security elements, mechanical testing, climatic testing

Týmto by som sa chcel poďakovať môjmu vedúcemu práce Ing. Alešovi Mizerovi, Ph.D. za jeho odborné vedenie, čas a predovšetkým rady, ktoré mi pomohli pri vypracovaní mojej diplomovej práce. Ďalej sa chcem poďakovať Ing. Milanovi Žaludkovi, Ph.D. z ústavu výrobného inžinierstva fakulty technologickej, kde som mohol vykonať časť mechanických skúšok. Nakoniec sa chcem poďakovať rodine a hlavne mojej priateľke, ktorí ma podporovali počas môjho vysokoškolského štúdia.

Prehlasujem, že odovzdaná verzia diplomovej práce a verzia elektronická nahraná do IS/STAG sú totožné.

OBSAH

ÚVOD	12
I TEORETICKÁ ČASŤ	13
1 POLYMÉRY A ICH ZÁKLADNÉ ROZDELENIE	14
1.1 VÝROBNÉ PROCESY POLYMÉROV	14
1.1.1 Polymerizácia.....	15
1.1.2 Polykondenzácia	16
1.1.3 Polyadícia.....	17
1.2 ROZDELENIE POLYMÉROV	17
1.2.1 Primárne rozdelenie polymérov	18
1.2.2 Rozdelenie polymérov podľa štruktúry.....	18
1.2.3 Rozdelenie polymérov podľa použitia aplikácie.....	19
2 POLYKARBONÁT A JEHO VÝROBNÉ METÓDY	20
2.1 VLASTNOSTI POLYKARBONÁTU.....	20
2.1.1 Tepelné vlastnosti.....	21
2.1.2 Elektrické vlastnosti	21
2.1.3 Chemické vlastnosti	21
2.2 VÝROBA POLYKARBONÁTU	22
2.2.1 Priama fosgenácia	23
2.2.2 Reesterifikácia.....	24
2.3 VYUŽITIE POLYKARBONÁTU.....	24
3 SPRACOVANIE POLYKARBONÁTU	25
3.1 TECHNOLÓGIA VSTREKOVANIE	25
3.1.1 Vstrekovacia forma	26
3.1.2 Vstrekovací stroj	30
3.1.3 Vstrekovací cyklus	31
3.1.4 Popis fáz vstrekovacie cyklu.....	32
3.2 TECHNOLÓGIA VYTLAČOVANIE.....	34
3.3 TECHNOLÓGIA VALCOVANIE	34
3.4 TECHNOLÓGIA VYFUKOVANIE.....	35
4 OCHRANNÉ A OBRANNÉ PRVKY Z POLYKARBONÁTU	36
4.1 OCHRANNÉ OKULIARE.....	36
4.2 CHRÁNIČ OBOČIA SO ŠTÍTOM.....	37
4.3 OCHRANNÉ SKLO NA MOBILNÉ TELEFÓNY	38
4.4 OCHRANNÁ FÓLIA NA MOBILNÉ TELEFÓNY	38
4.5 OCHRANNÉ PUZDRO A KRYT NA MOBILNÉ TELEFÓNY	39
4.6 BEZPEČNOSTNÉ SKLO DO OBRÁBACÍCH STROJOV	40
4.6.1 Bezpečnostné sklo zo samotného tvrdeného polykarbonátu.....	40

4.6.2	Bezpečnostné sklo z tvrdeného polykarbonátu a kaleného skla	41
4.6.3	Bezpečnostné sklo z tvrdeného polykarbonátu a kaleného skla s dutinou.....	42
4.7	POLICAJNÁ TONFA.....	42
4.8	POLICAJNÝ PROTIÚDEROVÝ ŠTÍT	43
4.8.1	Klasický protiúderový štít.....	43
4.8.2	Zadržiavací štít	44
4.8.3	Oválny štít	45
4.8.4	Vzájomne spojitelný protiúderový štít	46
4.9	MOTORKÁRSKA HELMA.....	46
4.10	NÁSTENNÉ NÁRAZNÍKY, PODLAHOVÉ ZVODIDLÁ DO PREDAJNÍ A OBCHODNÝCH CENTIER	47
5	MECHANICKÉ SKÚŠKY POLYMÉROV	48
5.1.1	Stanovenie ťahových vlastností - Skúška v ťahu	49
5.1.2	Stanovenie ohybových vlastností - Skúška ohybom.....	50
5.2	DYNAMICKÉ MECHANICKÉ SKÚŠKY.....	51
5.2.1	Skúška rázom v ohybe – rázová a vrubová húževnatosť metódou Charpy	51
5.2.2	Rázová skúška pádom	52
6	STARNUTIE A SKÚŠKY STARNUTIA POLYMÉROV	54
6.1	VPLYV SVETELNÉHO ŽIARENIA.....	54
6.2	VPLYV KYSLÍKU	55
6.3	VPLYV OZÓNU	55
6.4	VPLYV VLHKOSTI	55
6.5	VPLYV TEPLoty	55
6.6	SKÚŠKY STARNUTIA	56
6.6.1	Skúšky prirodzeného starnutia	56
6.6.2	Skúšky zrýchleného starnutia.....	57
II	PRAKTICKÁ ČASŤ.....	58
7	CIEĽ DIPLOMOVEJ PRÁCE	59
8	POUŽITÉ STROJE A ZARIADENIA.....	60
8.1	VSTREKOVACÍ STROJ ARBURG ALLROUNDER 470C 1500 – 400 GE.....	60
8.2	SUŠIACA JEDNOTKA ARBURG THERMOLIFT 100-2.....	61
8.3	KLIMATICKÁ KOMORA ANGELANTONI DISCOVERY MY DM340	63
8.4	UNIVERZÁLNY STROJ ZWICK ROELL 1456	64
8.5	RÁZOVÉ KLADIVO ZWICK ROELL HIT50P	65
8.6	PÁDOSTROJ ZWICK ROELL HIT230F	66
8.7	VYSOKORÝCHLOSTNÁ KAMERA OLYMPUS I-SPEED FS.....	67

8.8	DIGITÁLNA ZRKADLOVKA CANON EOS 70D	68
9	POUŽITÉ MATERIÁLY	69
9.1	POLYKARBONÁT MAKROLON.....	69
9.2	POLYKARBONÁT LEXAN.....	70
9.3	POLYKARBONÁT SAMSUNG INFINO	71
10	VÝROBA A PRÍPRAVA SKÚŠOBNÝCH TELIES	72
10.1	PARAMETRE VSTREKOVANIA.....	72
10.2	PRÍPRAVA SKÚŠOBNÝCH TELIES	73
10.3	STARNUTIE SKÚŠOBNÝCH TELIES	75
11	POPIS VYKONANÝCH MECHANICKÝ SKÚŠOK	76
11.1	ČSN EN ISO 527 – STANOVENIE ŤAHOVÝCH VLASTNOSTÍ – SKÚŠKA V ŤAHU	76
11.2	ČSN EN ISO 178 – STANOVENIE OHYBOVÝCH VLASTNOSTÍ – SKÚŠKA V OHYBE.....	77
11.3	ČSN EN 179 – SKÚŠKA RÁZOM V OHYBE – MERANIE VRUBOVEJ HÚŽEVNATOSTI METÓDOU CHARPY	78
11.4	ČSN EN ISO 8256 – SKÚŠKA RÁZOVEJ HÚŽEVNATOSTI V ŤAHU	79
11.5	ČSN EN ISO 6603 – STANOVENIE CHOVANIA TUHÝCH PLASTOV PRI VIACOSOM RÁZOVOM NAMÁHANÍ – METÓDA PADAJÚCEHO TĹKU	80
12	VYHODNOTENIE DÁT Z VYKONANÝCH MECHANICKÝCH SKÚŠOK	81
12.1	VYHODNOTENIE DÁT ČSN EN ISO 527 – STANOVENIE ŤAHOVÝCH VLASTNOSTÍ – SKÚŠKA V ŤAHU	82
12.1.1	Vyhodnotenie dát základných skúšobných telies testovaných za normálnej teploty pri 23 °C.....	82
12.1.2	Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – zaťaženie s UV žiarením – testované pri 23 °C	83
12.1.3	Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – teplotne-vlhkostné zaťaženie – testované pri 23 °C.....	84
12.2	VYHODNOTENIE DÁT ČSN EN ISO 178 – STANOVENIE OHYBOVÝCH VLASTNOSTÍ – SKÚŠKA V OHYBE.....	85
12.2.1	Vyhodnotenie dát základných skúšobných telies testovaných za normálnej teploty pri 23 °C.....	85
12.2.2	Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – zaťaženie s UV žiarením – testované pri 23 °C	86
12.2.3	Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – teplotne-vlhkostné zaťaženie – testované pri 23 °C.....	87
12.3	VYHODNOTENIE DÁT ČSN ISO EN 179 – SKÚŠKA RÁZOM V OHYBE – MERANIE VRUBOVEJ HÚŽEVNATOSTI METÓDOU CHARPY.....	88
12.3.1	Vyhodnotenie dát základných skúšobných telies testovaných za normálnej teploty pri 23 °C.....	88

12.3.2	Vyhodnotenie dát základných skúšobných telies testovaných za zníženej teploty pri -20 °C	89
12.3.3	Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – zaťaženie s UV žiarením – testované pri 23 °C	90
12.3.4	Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – teplotne-vlhkostné zaťaženie s UV žiarením – testované pri -20 °C	91
12.3.5	Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – teplotne-vlhkostné zaťaženie – testované pri 23 °C.....	92
12.3.6	Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – teplotne-vlhkostné zaťaženie – testované pri -20 °C	93
12.4	VYHODNOTENIE DÁT ČSN EN ISO 8256 – SKÚŠKA RÁZOVEJ HÚŽEVNATOSTI V ŤAHU	94
12.4.1	Vyhodnotenie dát základných skúšobných telies testovaných za normálnej teploty pri 23 °C	94
12.4.2	Vyhodnotenie dát základných skúšobných telies testovaných za zníženej teploty pri -20 °C	95
12.4.3	Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – zaťaženie s UV žiarením – testované pri 23 °C	96
12.4.4	Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – zaťaženie s UV žiarením – testované pri -20 °C	97
12.4.5	Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – teplotne-vlhkostné zaťaženie – testované pri 23 °C.....	98
12.4.6	Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – teplotne-vlhkostné zaťaženie – testované pri -20 °C	99
12.5	VYHODNOTENIE DÁT ČSN EN ISO 6603 – STANOVENIE CHOVANIA TUHÝCH PLASTOV PRI VIACOSOM RÁZOVOM NAMÁHANÍ – METÓDA PADAJÚCEHO TĹKU	100
12.5.1	Vyhodnotenie dát základných skúšobných telies testovaných za normálnej teploty pri 23 °C	100
12.5.2	Vyhodnotenie dát základných skúšobných telies testovaných za zníženej teploty pri -20 °C	101
12.5.3	Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – zaťaženie s UV žiarením – testované pri 23 °C	102
12.5.4	Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – zaťaženie s UV žiarením – testované pri -20°C.....	103
12.5.5	Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – teplotne-vlhkostné zaťaženie – testované pri 23 °C.....	104
12.5.6	Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – teplotne-vlhkostné zaťaženie – testované pri -40 °C	105
13	DISKUSIA K DOSIAHNUTÝM VÝSLEDKOM	107
13.1	POROVNANIE MAXIMÁLNEJ SILY F_{MAX} V ŤAHU V ZÁVISLOSTI PO PÔSOBNÍ ZAŤAŽENIA S UV ŽIARENÍM A TEPLITNE-VLHKOSTNÉHO ZAŤAŽENIA	107
13.2	POROVNANIE MODULU PRUŽNOSTI E V ŤAHU V ZÁVISLOSTI PO PÔSOBNÍ ZAŤAŽENIA S UV ŽIARENÍM A TEPLITNE-VLHKOSTNÉHO ZAŤAŽENIA	108
13.3	POROVNANIE MAXIMÁLNEJ SILY F_{MAX} V OHYBE V ZÁVISLOSTI PO PÔSOBNÍ ZAŤAŽENIA S UV ŽIARENÍM A TEPLITNE-VLHKOSTNÉHO ZAŤAŽENIA	109

13.4	POROVNANIE MODULU PRUŽNOSTI E V OHYBE V ZÁVISLOSTI PO PÔSOBNÍ ZAŤAŽENIA S UV ŽIARENÍM A TEPLOTNE-VLHKOSTNÉHO ZAŤAŽENIA	110
13.5	POROVNANIE MAXIMÁLNE SILEY F_{MAX} CHARPY V ZÁVISLOSTI PO PÔSOBNÍ ZAŤAŽENIA S UV ŽIARENÍM A TEPLOTNE-VLHKOSTNÉHO ZAŤAŽENIA	111
13.6	POROVNANIE VRUBOVEJ HÚŽEVNATOSTI A_K CHARPY V ZÁVISLOSTI PO PÔSOBNÍ ZAŤAŽENIA S UV ŽIARENÍM A TEPLOTNE-VLHKOSTNÉHO ZAŤAŽENIA	112
13.7	POROVNANIE MAXIMÁLNE SILEY F_{MAX} RÁZ-ŤAH V ZÁVISLOSTI PO PÔSOBNÍ ZAŤAŽENIA S UV ŽIARENÍM A TEPLOTNE-VLHKOSTNÉHO ZAŤAŽENIA	113
13.8	POROVNANIE VRUBOVEJ HÚŽEVNATOSTI A_K RÁZ-ŤAH V ZÁVISLOSTI PO PÔSOBNÍ ZAŤAŽENIA S UV ŽIARENÍM A TEPLOTNE-VLHKOSTNÉHO ZAŤAŽENIA	114
13.9	POROVNANIE MAXIMÁLNEJ SILEY F_{MAX} PRI PRIERAZE V ZÁVISLOSTI PO PÔSOBNÍ ZAŤAŽENIA S UV ŽIARENÍM A TEPLOTNE-VLHKOSTNÉHO ZAŤAŽENIA	115
13.10	POROVNANIE RÁZOVEJ ENERGIE PRI PRIERAZE E_P V ZÁVISLOSTI PO PÔSOBNÍ ZAŤAŽENIA S UV ŽIARENÍM A TEPLOTNE-VLHKOSTNÉHO ZAŤAŽENIA	116
14	TESTOVANIE POLICAJNÉHO ŠTÍTU ESP AS-60-100/L.....	117
14.1	TEST PEVNOSTI ŠTÍTU PROTI VYBRANÝM PREDMETOM	118
14.1.1	Pád tehly	119
14.1.2	Pád betónovej kocky	119
14.1.3	Úder kladivom.....	120
14.1.4	Úder menšou jednoručnou sekerou	121
14.1.5	Úder väčšou obojručnou sekerou	122
14.2	DISKUSIA K VÝSLEDKU TESTU PEVNOSTI PROTI VYBRANÝM PREDMETOM.....	123
14.3	INŠTRUMENTOVANÁ SKÚŠKA PRIERAZOM – METÓDA PADAJÚCEHO TĹKU	124
14.3.1	Vyhodnotenie dát inštrumentovanej skúšky prierazom – metóda padajúceho tľku	124
14.4	DISKUSIA K DOSIAHNUTÝM VÝSLEDKOM INŠTRUMENTOVANEJ SKÚŠKY PRIERAZOM – METÓDA PADAJÚCEHO TĹKU.....	125
14.4.1	Porovnanie maximálnej sily F_{max} pri prieraze – polykarbonát štítu s vybranými druhmi polykarbonátu.....	125
14.4.2	Porovnanie rázovej energie pri prieraze E_p – polykarbonát štítu s vybranými druhmi polykarbonátu.....	126
	ZÁVER	127
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	128
	ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....	136
	ZOZNAM OBRÁZKOV	138
	ZOZNAM TABULIEK	141
	ZOZNAM PRÍLOH.....	144

ÚVOD

Ľudstvo vďaka objaveniu nových materiálov a technológií prešlo mnohými dobami. Poznáme ich z dejepisu predovšetkým podľa objaveného materiálu, typický pre dané obdobie, ako je napr. kameň, bronz, železo (doba kamenná, bronzová, železná,...). Ani dnešná doba sa nezaobišla označením a preto sa hovorí, že sa v súčasnosti nachádzame v tzv. dobe plastovej, pretože s nimi dochádzame do styku každý deň bez toho, aby sme si to uvedomovali.

Plasty nahradili mnohé nerasty, kovy alebo rôzne iné prírodné materiály (svojimi vlastnosťami, menej náročným spracovaním, cenou atď.) a našli uplatnenie ako v bežných tak aj v špeciálnych aplikáciách. Názov plasty pochádza z gréckeho slova plassein alebo plastikos, čo v preklade znamená tvarovať. Ich presné stanovenie začiatku používania sa podľa historikov nedá určiť, pretože koluje o nich zmienka už v Starom zákone v rámci prírodných materiálov vo forme lepidiel alebo náterov.

Najväčší rozmach polymérov (zaužívaný je pre nich názov plasty) nastal až rozvojom syntetických polymérov ako vynájdenie nového materiálu. Postupne sa vďaka vedcom a spoločnostiam vynašli všetky súčasne známe polyméry akými sú napr. bakelit, polyamid 66 (známy ako nylón), polymetylmakrylát (známejší pod pojmom organické sklo), epoxid, polypropylén, polystyrén, polykarbonát a mnohé iné.

Táto diplomová práca sa bude zaoberať problematikou polymérov so zameraním na posledný menovaný polymér – polykarbonát, ktorý našiel vďaka svojim vlastnostiam (prednostne svojej húževnatosti, ktorej sa vyrovná máloktorý polymér) uplatnenie i vo výrobe ochranných a obranných prvkov ako sú policajné štíty, ochranné okuliare, ochranné prilby a iné. Budú vykonané rôzne mechanické skúšky pre zistenie mechanických vlastností vybraných polykarbonátov (vyrobených hlavne technológiou vstrekovanie) za bežných i rôznych klimatických podmienok a následne budú zistené výsledky štatisticky a graficky vyhodnotené.

I. TEORETICKÁ ČASŤ

1 POLYMÉRY A ICH ZÁKLADNÉ ROZDELENIE

Polyméry sa definujú ako chemické látky, prírodného alebo syntetického pôvodu. Slovo polymér pochádza z gréckeho slova, čo v preklade znamená „veľa častí“. To, čo najmä odlišuje polyméry sú tzv. makromolekuly (veľké molekuly obsahujúce väčšinou atómy uhlíka, vodíka a kyslíka, často dusíka, chlóru i iných prvkov), v ktorých sa ako článok v reťazci veľa krát opakuje základná konštitučná jednotka „mer“ – diel (látka zložená z veľa dielov).

Polymér je teda akási chemická stavebnica, ktorá umožňuje neobyčajnú premeniteľnosť štruktúr i vlastností polymérov. Vo forme výrobku sú polyméry v tuhom stave, ale v procese spracovania, za zvýšenej teploty a tlaku, sa nachádzajú vo vysoko viskózne-kvapalnom skupenstve (tzv. visko-elastické chovanie polymérov), čo umožňuje nadobudnutie želaného tvaru pre dané použitie.

Medzi najväčšie výhody polymérov patrí ich nízka hmotnosť, tepelná i elektrická izolácia, odolnosť proti veterným a koróznym vplyvom, spracovateľské vlastnosti a iné. Rovnako i tu platí, že každá minca má dve strany a ich nevýhodami sú napr. horľavosť, všeobecne nízke mechanické vlastnosti, nízka odolnosť proti UV žiareniu a predovšetkým kvôli ich veľkej spotrebe vzniká zaťaženie prírodného prostredia. [1] [2] [3] [4]

1.1 Výrobné procesy polymérov

Prvotne sa polyméry vyrábali z prírodných materiálov, pretože to bola najkratšia a najlacnejšia cesta ako dosiahnuť požadovaný výsledok. V tej dobe sa chemický priemysel spoliehal na prírodné procesy. Zlom vo výrobe polymérov nastal nie len rozkladom obrovskej molekuly celulózy, ale aj objavením syntézy. Práve vďaka syntéze, pomocou chemických reakcií, sme schopní vyrábať predovšetkým syntetické polyméry. Počas tejto chemickej reakcie (nazývanej aj ako výstavbová reakcia) vznikajú z nízkomolekulových organických alebo anorganických látok (monomérov) makromolekuly (polyméry) zložené zo stoviek až miliónov atómov navzájom spojených chemickou väzbou. Aby mohla táto výstavbová reakcia prebehnúť, musí byť monomér reaktívny, čo v preklade znamená, že monomér musí mať násobnú väzbu, alebo najmenej dve reaktívne skupiny, aby sa mohol vytvoriť výsledný reťazec. Preto je najčastejšie základ polymérov tvorený uhlíkom, ktorý má vo valenčnej sfére 4 elektróny, schopné podieľať sa na tvorbe reťazca, ale môžu to byť aj viacväzbové prvky akým je napr. kremík. Okrem týchto látok sa na tvorbu polymérov

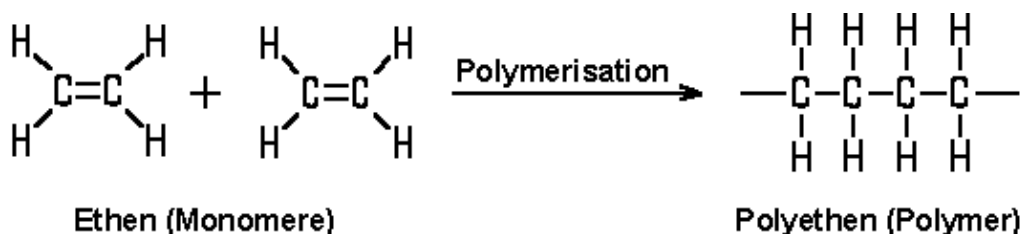
používajú aj nestabilné cyklické zlúčeniny alebo molekuly aspoň s dvoma aktívnymi skupinami ako sú dvojsýtny alkoholy, diamíny, aminokyseliny a iné.

Podľa mechanizmu, akým sa výstavbová (chemická) reakcia polyméru prebieha, delíme výstavbové reakcie na:

- polymerizačné reakcie,
- polykondenzačné reakcie,
- polyadičné reakcie. [1] [4] [5]

1.1.1 Polymerizácia

Polymerizácia je chemická reakcia, počas ktorej sa spájajú nízko-molekulové cyklické a alifatické zlúčeniny s násobnou väzbou do makromolekulového reťazca, ktorý narastá do svojej konečnej dĺžky vo veľmi krátkej dobe. Inými slovami pri tejto reťazovej chemickej reakcii veľkého počtu molekúl monomérov vznikajú dlhé makromolekuly polyméru. Nevznikajú vedľajšie produkty a zastúpenie prvkov v monomére a v polymére vzniknutom polymerizáciou je rovnaké. Príklad polymerizácie polyetylénu z etylénu môžeme vidieť na zobrazenom obrázku 1 nižšie. [1] [4] [5]



Obr. 1. Polymerizácia etylénu C₂H₄ na polyetylén. [9]

Pre uskutočnenie polymerizácie je potrebné dodať látkam určité množstvo energie (aktivačnej energie), ktorá podmieni častice reagujúcej látky do aktívnej formy, v ktorej dokážu prebehnúť chemické reakcie. Rýchlosť polymerizácie a veľkosť vznikajúcich makromolekúl sa odvíja od rýchlostí jednotlivých dejov, z ktorých je proces polymerizácie tvorený. Proces polymerizácie začína reakciou (iniciácia), pokračuje jej rastom (propagácia) a uzatvára sa jej ukončením (terminácia). [1] [4]

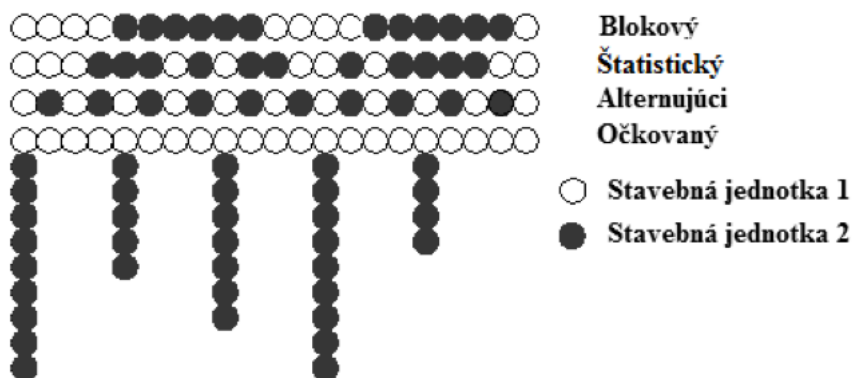
Iniciácia je začiatok polymerizačnej reakcie, ktorá sa spustí účinkom reaktívnych radikálov alebo iónov, ktoré sú produktom rozpadu iniciátora (látky, ktorých energia rozpadu je nízka, 120-170 kJ, v rozsahu teplôt 20-200 °C). Rozpad iniciátora dosiahneme

napr. účinkom tepelnej energie, UV žiarenia, gama žiarenia, ultrazvuku a pod. V mnohých prípadoch vyvolania iniciácie vysoko energickým žiarením nie je iniciátor potrebný. [4]

Propagácia je rastová reakcia, ktorá ovplyvňuje dĺžku a rovnomernosť dĺžky vznikajúcich polymérov (polymérnych reťazcov). Jej aktivačná energia je nízka, ale býva poväčšine silno exotermická a z tohto dôvodu musí byť reakčné zariadenie počas propagácie intenzívne chladené. Popri propagácii môžu vznikať prenosové reakcie (vyvolané nečistotou, rozpúšťadlom, ale aj zložkami polarizačného systému), ktoré konkurujú rastovej reakcii. Látky, ktoré prenosové reakcie spôsobujú sa dokážu využiť pri regulácii dĺžky reťazca. [4]

Terminácia je posledné štádium polymerizačného procesu, v ktorom zanikli rastové polymérne radikály a ióny vzniknutím neradikálového výsledného produktu. [4]

Polymerizáciou dokážeme vyrobiť polyméry z jedného typu monoméru, hovoríme o výrobe homopolymérov. Ak vykonáme polymeráciu dvoch alebo viacerých monomérov súčasne, hovoríme o výrobe kopolymérov. V kopolyméroch môže byť usporiadanie monomérov v tvare hlava-chvost, hlava-hlava, chvost-chvost. Rovnako môžeme rozdeliť kopolyméry podľa usporiadania monomérov do niekoľkých typov, napr. blokový, striedavý, štatistický a iné. [2] [3] [4]



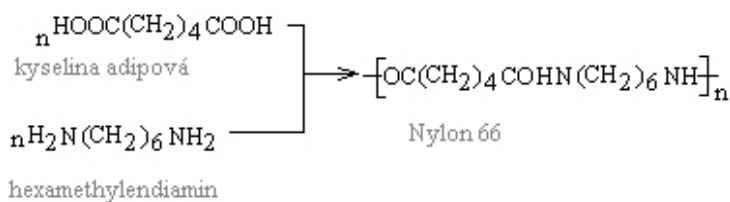
Obr. 2. Schéma usporiadania stavebných jednotiek v kopolymére. [4]

1.1.2 Polykondenzácia

Polykondenzácia je stupňovitá chemická reakcia dvoch rovnakých alebo rôznych monomérov, ktoré obsahujú dve alebo viac funkčných skupín, akými sú napr. hydroxylové, karboxylové, amino skupiny a pod. Počas tejto chemickej reakcii vzniká okrem polyméru (správny termín je polykondenzát) i nejaká iná nízkomolekulárna látka (voda, methanol, amoniak a iné). Rozdiel medzi polymeráciou a polykondenzáciou je v tom, že výsledný

produkt polykondenzácie, teda polykondenzát, má iné chemické zloženie ako nízkomolekulárne látky, z ktorej vznikol. [3] [4] [10]

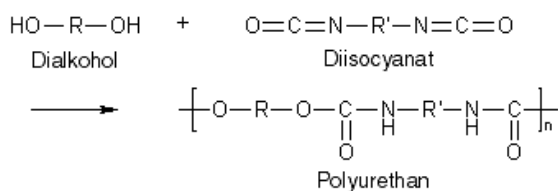
Prvý polykondenzát bol vyrobený bakelit, ktorý vzniká polykondenzáciou fenolu a formaldehydu. Medzi ďalšie typické polykondenzáty vyrobené polykondenzáciou sú polyamidy, polyestery, polykarbonáty a iné. Príklad polykondenzačného procesu výroby jedného z najznámejších polyamidov Nylonu 66 môžeme vidieť na obr. 3, ktorý vzniká kondenzáciou kyseliny adipovej a hexametylendiamínom. Vedľajším produktom počas tohto procesu je voda. [3] [4]



Obr. 3. Vznik nylonu 66 polykondenzáciou. [7]

1.1.3 Polyadícia

Zlúčeniny, ktorých molekuly obsahujú násobné väzby alebo sú tvorené kruhmi s malým počtom členov, môžu byť okrem vzájomného spojovania schopné adovaných reakcií so zlúčeninami, ktorých molekuly obsahujú vhodné funkčné skupiny. Ak majú tieto zlúčeniny vo svojich molekulách minimálne 2 funkčné skupiny, môže mnohonásobnou adováciou vzniknúť polymér, pričom tejto chemickej reakcii sa hovorí polyadícia. Podobne ako pri polykondenzácii sa jedná taktiež o stupňovitú chemickú reakciu, s tým rozdielom, že nevzniká žiadny ďalší vedľajší produkt a pomerné zastúpenie prvkov v polymére a monomére je rovnaké. Polyadícou vzniká napr. polyuretán z východiskových zlúčenín glykolov a diizokyanátov (viď obr. 4), polymočoviny alebo epoxidové živice. [3] [4] [8]



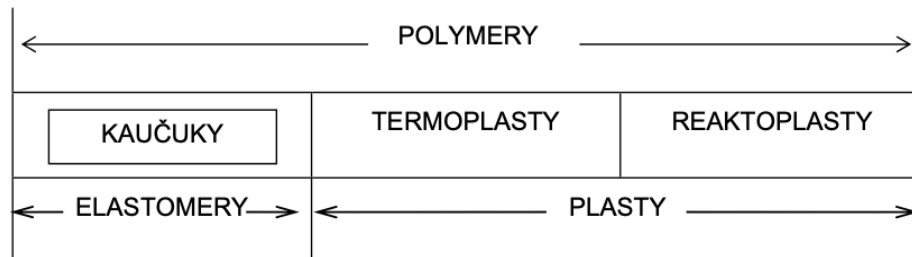
Obr. 4. Vznik polyuretánu polyadícou. [10]

1.2 Rozdelenie polymérov

Polyméry môžeme rozdeliť z viacerých hľadísk, ale najčastejšie sa rozdeľujú 3 spôsobmi a to na primárne, podľa štruktúry a podľa aplikácie.

1.2.1 Primárne rozdelenie polymérov

Polyméry sa podľa primárneho rozdelenia delia na elastoméry a plasty. Do elastomérov zaraďujeme kaučuky a do plastov termoplasty a reaktoplasty, ako je zobrazené na obr. 5.



Obr. 5. Primárne rozdelenie polymérov. [1]

Plasty sú polymérne materiály, u ktorých vonkajšie namáhanie spôsobuje poväčšine deformácie nevratného charakteru. Za bežných podmienok sú tvrdé, často i krehké a pri zvýšenej teplote sa stávajú plastickými a tvarovateľnými, podľa toho aké väzby vytvárajú makromolekuly. Podľa vytvorených makromolekulárnych väzieb ich delíme na **termoplasty** a **reaktoplasty**. Ak je zmena z plastického stavu do tuhého stavu opakovateľná, pri vytváraní makromolekulárnych fyzikálnych väzieb, jedná sa o termoplasty. V prípade, že sa jedná o neopakovateľnú (trvalú) zmenu, hovoríme o reaktoplastoch, pretože sa väzby tvoria chemickou reakciou (nazývaná vytvrdzovanie). Typické termoplasty sú polyetylén, polystyrén a iné. Reaktoplasty sú napr. polyesterová živica alebo epoxidové živice.

Elastoméry sú vysoko elastické polymérne materiály, ktoré dokážeme za bežných podmienok malou silou značne bez porušenia deformovať, pričom je táto deformácia vratná. Najtypickejším elastomérom sú kaučuky, z ktorých sa vyrába guma (latex). Kaučuk je prírodný uhl'ovodík, ktorý veľmi dobre reaguje s činidlami.[1] [3] [6] [11] [13]

1.2.2 Rozdelenie polymérov podľa štruktúry

Polymérové výrobky majú v pevnom stave množstvo odlišných vzhl'adov a vlastností. V praxi môžeme vidieť rovnaké výrobky z rôznych druhov polymérov, ktoré sú priesvitné, zakalené, krehké, pevné a pod. Tieto vlastnosti závisia od vnútornej stavby a vzájomnom usporiadaní makromolekúl polyméru. Spôsob usporiadania makromolekúl je závislý nie len na chemickej štruktúre (konštitúcia a konfigurácia), ale aj od vonkajších vplyvov, ktoré pôsobia na polymér. Na základe stupňa usporiadania makromolekúl

(nadmolekulárna štruktúra) sa delia polyméry na amorfné alebo kryštalické (semikryštalické). [6] [14]

Amorfné polyméry sa svojou molekulárnou štruktúrou podobajú na kľbko nite. Najväčšia usporiadaná oblasť sa rovná veľkosti uhlíkových väzieb, čo znamená, že je rozmerovo omnoho menšia než dĺžka viditeľného svetla a preto sú amorfné polyméry transparentné. Základom morfológického útvaru sú globuly, ktoré sú tvorené chaoticky stočenými mrakomolekulami o veľkosti 10-30 nm. Do tejto skupiny polymérov zaradíme napr. termoplasty PS, PMMA, PC a pod. Amorfné polyméry sú priehľadné až číre, majú vysokú pevnosť a modul pružnosti. Ich tepelné zmrštenie je oveľa menšie ako u kryštalických polymérov. [6] [14] [15]

Kryštalické polyméry na rozdiel od amorfných majú viac usporiadanejšiu štruktúru. Táto usporiadanosť sa nazýva kryštalinita, kedy sa makromolekúly nachádzajú tesne vedľa seba. Kryštalinita nevyplňuje celý objem polyméru, ale je obklopená neusporiadanými (amorfnými) makromolekulami, preto sa označujú ako semikryštalické polyméry, teda čiastočne-kryštalické. Patria sem PE, PP, PTFE a iné. Sú húževnaté a ich pevnosť a modul pružnosti závisí od stupňa kryštalinity. [6] [14]

1.2.3 Rozdelenie polymérov podľa použitia aplikácie

Podľa použitia aplikácie, ktorá vychádza z postavenia polymérov na trhu, sa polyméry rozdeľujú na komoditné, konštrukčné a špeciálne polyméry. [3]

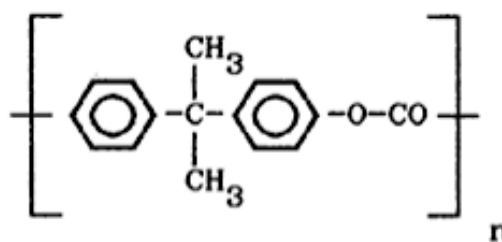
Komoditné polyméry predstavujú najväčší objem výroby a spotreby polymérov (pre veľmi široké spektrum výrobkov) a sú zo súčasných polymérov najlacnejšie. Do tejto skupiny sa zaradujú 4 základné skupiny polymérov, ktoré sú polyetylén, polypropylén, polystyrén spolu s jeho kopolymermi a polyvinylchlorid. [3]

Konštrukčné polyméry, ktoré sa nazývajú aj ako inžinierske polyméry, sú viac špecializované a využívajú sa v konštrukčných aplikáciách pre určité skupiny výrobkov, pretože ponúkajú omnoho lepšie úžitkové vlastnosti a vyššiu tepelnú odolnosť. Patria sem napr. polyamidy, polykarbonáty, polyuretán a iné. [3]

Špeciálne polyméry sú tzv. high-tech polyméry, ktoré sú svojimi unikátnymi vlastnosťami určené pre špičkové aplikácie so zameraním podľa požiadaviek zákazníka. Vyznačujú sa výbornými mechanickými vlastnosťami a vysokou tepelnou odolnosťou. Sú to napr. polyimidy, polyfenylénsulfid, polytetrafluoretylén atď. [3]

2 POLYKARBONÁT A JEHO VÝROBNÉ METÓDY

Polykarbonáty (skrátene PC) sa zaraďujú medzi amorfné, dokonalo priehľadné termoplasty spájajúce kombináciu takých vlastností, ktoré sa v súhrne nedosiahli v žiadnom inom type termoplastov. Podľa použitia aplikácie sa jedná o konštrukčné (inžinierske) polyméry. Z chemického hľadiska patria všeobecne do skupiny polyesterov odvodených od kyseliny uhličitej a dihydroxy zlúčenín. Pod týmto pojmom sa bližšie rozumejú polyestery kyseliny uhličitej a symetrických aromatických dihydroxy zlúčenín, ktoré obsahujú dve fenolové jadrá spojené mostom, odvodeným od alkyly alebo atómom kyslíka, či síry. Ďalšou skupinou polykarbonátov, ľahko prístupná a z hľadiska svojich vlastností výhodná, sú polykarbonáty na báze 2,2-bis(4-hydroxyylfenyl) propánu, známejší skôr ako dián alebo bisfenol A, podľa chemického vzorca zobrazeného na obr. 6. [1] [4] [16]



Obr. 6. Chemický vzorec polykarbonátu. [1]

2.1 Vlastnosti polykarbonátu

Polykarbonát všeobecne definujú rôzne fyzikálne a mechanické vlastnosti, ako je napríklad:

- priepustnosť svetla až do 90%;
- nízka absorpcia vody;
- mimoriadne vysoký index lomu $n_D^{20} = 1,587$;
- nízka hustota – 1,20 g/cm³ (nižšia ako sklo);
- vysoká pevnosť, tuhosť, tvrdosť a húževnatosť;
- vysoký povrchový lesk;
- odolnosť proti creepu (tečenie materiálu za studena);
- dokáže sa zafarbiť vo všetkých dôležitých odtieňoch podľa potreby;

- dobrá elektrická izolácia, ktorá nie je znížená vlhkosťou;
- vysoká odolnosť proti poveternostným vplyvom pri hrúbke steny nad 0.75 mm;
- vysoká odolnosť proti žiareniu s vysokou energiou;
- samohasiaca schopnosť po odstránení zdroja zapálenia.

Hlavnými nevýhodami polykarbonátov sú:

- vysoká spracovateľská starostlivosť;
- obmedzená chemická odolnosť;
- náchylnosť k praskaniu. [5] [16] [19]

2.1.1 Tepelné vlastnosti

Polykarbonát dosahuje vysoký modul pružnosti aj pri vysokých teplotách a to vďaka vysokej teplote skleného prechodu (okolo 149 °C). Pri nižšej teplote zostáva polymér tuhý s malou deformáciou pri zaťažení. Polykarbonát má ako jediný termoplast pri vysokých teplotách dobrú rozmerovú stálosť, pretože hodnota modulu pružnosti sa až do 135 °C nemení. Zahrievaním polykarbonátu na teplotu blízkej teplote skleného prechodu dochádza často k stuženiu, ktoré sa označuje ako fyzikálne zosietenie. Stuženie zlepšuje nie len niektoré mechanické vlastnosti (pevnosť v ťahu a tlaku), ale aj tvarovú odolnosť a to približne o 10%. Stuženie prebieha najrýchlejšie pri 130 °C, je čiastočne vratné, zmierni sa zahriatím na teplotu skleného prechodu a pri roztavení úplne zmizne. Zahrievaním polykarbonátu nad teplotu skleného prechodu sa polykarbonát dostane do stavu kaučukovitého (viskoelastického), ktorý sa do asi 220 °C nemení a kedy sa hmota topí. Tento teplotný interval, hlavne okolo 175 °C, je vhodný pre niektoré ďalšie spracovanie polykarbonátu. [17] [18]

2.1.2 Elektrické vlastnosti

Polykarbonát má vďaka svojej molekulárnej štruktúre, slabej absorpcii vody, vysokej teplote skleného prechodu veľmi dobré elektro-izolačné a dielektrické vlastnosti, ktoré sa do 140 °C nemenia. [17] [18]

2.1.3 Chemické vlastnosti

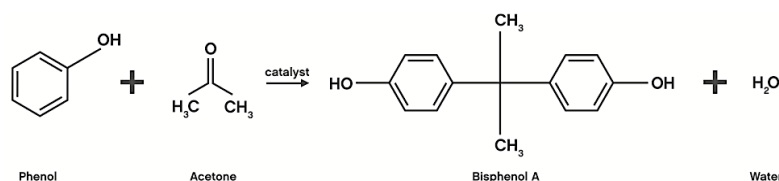
Z chemického hľadiska sú polykarbonáty fyziologicky nezávadné, bez chuti a zápachu. Okrem metylénchloridu sú dobre rozpustné v rade ďalších chlórovaných

uhl'ovodíkov a cyklohexanóne, ale ťažko sa rozpúšťajú v aromatických uhl'ovodíkoch, esteroch a ketónoch. Odolávajú dlhodobému pôsobeniu vody, pary, amoniaku, amínov, alifatických uhl'ovodíkov, alkoholom, zriedeným roztokom kyselín a solí. [1] [4]

2.2 Výroba polykarbonátu

Na svete sa vyrobí približne 4 milióny ton polykarbonátov ročne, z ktorých sú najdôležitejšie typy vyrábané dvoma spôsobmi: **priamou fosgenáciou** (medzifázová polymerácia) alebo **reesterifikáciou** (rozpúšťací esterifikačný proces) zo surovín bisfenolu A, fosgénu a difenylkarbonátu. [1] [16] [18]

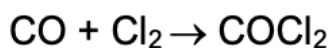
Bisfenol A (nazývaný skrátene BPA) je najznámejšia dihydroxy zlúčenina, ktorá je hlavnou stavebnou látkou pre výrobu polykarbonátov. Bisfenol A sa vyrába kondenzáciou fenolu s acetónom, pri ktorej bisfenol A vypadáva z reakčnej zmesi vo forme kryštalického aduktu s fenolom a následne sa čistí rekryštalizáciou alebo zrážaním. [18] [20]



Obr. 7. Príprava bisfenolu A. [21]

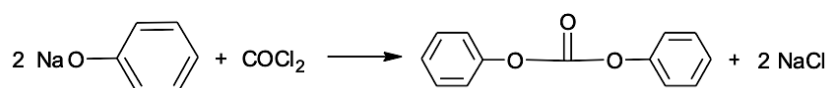
Bisfenol A je biela až hnedá látka, rozpustná vo vodných alkalických roztokoch, v etanole, v acetóne, málo rozpustná v tetrachlóre, prakticky nerozpustná vo vode. [22]

Fosgén je vysoko toxický bezfarebný plyn, známy z 1. svetovej vojny ako bojová látka, ktorý sa používa pri výrobe polykarbonátov fosgenáciou. Vzniká zlučovaním oxidu uhoľnatého s chlórrom cez katalyzátor aktívneho uhlia alebo hubovitej platiny. [18] [23]



Obr. 8. Príprava fosgénu. [23]

Difenylkarbonát je hlavnou surovinou pri výrobe polykarbonátov reesterifikáciou. Vyrába sa zvyčajne pridaním fosgénu do vodného roztoku fenolátu sodného. Vytvára obrazce v tvare ihličiek bez zafarbenia. [18]

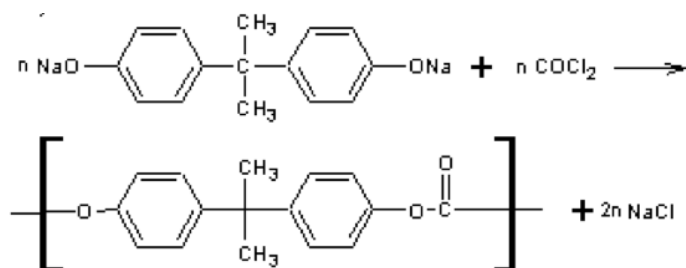


Obr. 9. Príprava difenylkarbonátu. [18]

Pri výrobe polykarbonátov môžu byť použité aj iné monoméry na báze Bisfenolu A. Modifikovaným Bisfenolom A môžeme upraviť vlastnosti polykarbonátov podľa špecifických požiadaviek. Takouto modifikáciou dokážeme zlepšiť napr. tepelnú odolnosť, tvárnosť a iné. Variácie funkčných skupín alebo mostov umožňujú pozmeniť štruktúru bisfenolu A a tým docieľiť rôzne odlišné vlastnosti výsledných polykarbonátových produktov. Ďalšia možnosť ako dosiahnuť iné výsledky polyméru je použitie iných komonomérov. Namiesto fosgénu a difenylkarbonátu sa ako náhrada kondenzačných reaktantov s bifenolom A najčastejšie používa ortotereftaloylchlorid alebo paratereftaloylchlorid. [24]

2.2.1 Priama fosgenácia

Fosgenácia sa vyvoláva rozpustením bisfenolu A v metylenchloridovom roztoku a následne sa uvedie do reaktora. Fosgén sa vstrekuje do reaktora ako skvapalnený plyn spolu s roztokom hydroxydu sodného. Vodný roztok s metylenchloridom sa nedokáže zmiešať a tým dôjde k polymerizácii medzi nimi na rozhraní. Následnou exotermickou reakciou vznikne najskôr oligomer. Tento oligomer sa katalyzátorom (amóniové báze alebo terciálne amíny) prevedie na vysokomolekulárny polyester. Molekulová hmotnosť sa dá regulovať prídavkom monofunkčného fenolu, ale taktiež sa odvíja od čistoty bisfenolu A, reakčnej teploty, rýchlosti pridávania fosgénu, nečistôt a dokonalosti miešania. Pri polymerizácii vzniká aj kyselina chlorovodíková, ktorá sa neutralizuje hydroxydom sodným a organická fáza slúži ako rozpúšťadlo pre polymér. Vzniknutý roztok polykarbonátu sa oddeľuje od soľného roztoku a vymýva sa vodou. Polyester sa izoluje odparením rozpúšťadla alebo zrážaním. Vzniknutá tavenina sa vytlačuje a granuluje. Ak sa zvlášť disperguje metylový roztok vo vode a za stáleho miešania a zahrievania oddestiluje rozpúšťadlo, dôjde k vzniku produktu, ktorý sa môže ďalej spracovať bez granulácie. Pri zahrievaní s vodou alebo preparovaním vodnou parou odstránime zostatky chlóru a na záver sa polykarbonát vysuší pri teplote 120 až 140 °C, väčšinou vákuovo. [16] [24] [25] [26] [27]

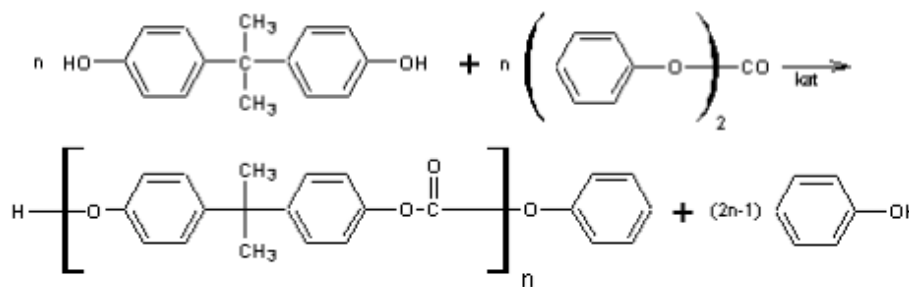


Obr. 10. Reakčné schéma priamej fosgenácie. [18]

2.2.2 Reesterifikácia

Reesterifikácia, známa tiež ako transesterifikácia, sa vykonáva za veľmi vysokých teplôt (od 180 do 300 °C), kedy nastane rozpúšťacia esterifikačná reakcia bisfenolu A a difenylkarbonátu. Reakcia sa uskutočňuje pomocou reesterifikačných katalyzátorov, ktoré sú napr. hydroxid sodný, fluorid, amíny alebo guanidín a prebieha vo vákuových reaktoroch. Počas procesu sa najskôr konštantne vysokým tlakom oddestiluje fenol, ktorý sa uvoľňuje. Ďalej sa zníži tlak, zvýši teplota, čím reakcia pokračuje. Zvyšuje sa nie len molekulová hmotnosť reťazcov, ale aj viskozita taveniny a na konci procesu sa výsledná tavenina vytlačuje dusíkom v tvare pásikov. Na začiatku reesterifikácie sa môže pridať viac difenylkarbonátu, aby nastalo rýchlejšie a lepšie zreagovanie bisfenolu A. Zvyšný bisfenol A sa pri veľmi vysokých teplotách rozloží a zvyšný difenylkarbonát sa odstráni destiláciou.

Oproti priamej fosgenácii má táto metóda veľa výhod, ako napr. možnosť výroby extrémne čistých polykarbonátov, nemusí sa použiť rozpúšťadlo, čím odpadá starosť s jeho odstraňovaním. Nevýhodou je možnosť výroby polymérov s relatívne nízkou molekulárnou hmotnosťou (maximálne 50 kg·mol⁻¹) a predovšetkým kvôli vyšším nákladom, v porovnaní s priamou fosgenáciou, je táto metóda menej využívaná. [16] [24] [25] [27]



Obr. 11. Reakčné schéma reesterifikácie. [18]

2.3 Využitie polykarbonátu

Vďaka svojim vlastnostiam našiel polykarbonát využitie v mnohých odvetviach ako je automobilový priemysel (napr. interiérové a exteriérové časti auta, svetlomety), zdravotníctvo (napr. chirurgické nástroje, krvné filtre, zásobníky), letecký priemysel (interiérové časti), stavebníctvo (napr. zastrešovacie aplikácie, kryty bazénov), ale aj v rôznej elektronike (napr. osvetľovacie aplikácie, obalový materiál pre batérie, relé). Svoje uplatnenie našiel aj vo výrobe rôznych ochranných a obranných prvkov, ktoré sú popísane v samostatnej kapitole 4 na str. 36. [28]

3 SPRACOVANIE POLYKARBONÁTU

Polykarbonáty je možné spracovať bežnými plastikárskymi technikami, ktoré sa používajú pri iných termoplastoch. Týmito technikami sú napr. spracovanie vstrekaním, vytlačovaním, valcovaním alebo aj vyfukovaním. Vstrekovanie, vytlačovanie a valcovanie sú tvárniace technológie, pri ktorých sa tvar východiskového polymérneho materiálu (granula, pasta, kvapalina, prášok, atď.) mení zásadným spôsobom na tvar, ktorý sa výrazne odlišuje. Pri týchto technológiách dochádza k značnému premiestňovaniu jednotlivých častíc materiálu. Prebieha buď pôsobením teploty alebo tlaku, alebo obidva parametre súčasne. Výsledkom je konečný finálny produkt alebo polotovar.

Vyfukovanie patrí do skupiny tvarovacích technológií, u ktorých sa väčšinou vychádza z polotovaru a polymér mení svoj tvar bez veľkého premiestňovania častíc. Polymér pri tvarovacom procese sa mení hlavne geometricky. Môže sa uplatňovať vplyv teploty i tlaku, ale aj nemusí. Pri spracovaní polykarbonátu môžu byť použité aj doplnkové (dodatočné) technológie, ktoré slúžia k príprave resp. úprave vlastností polymérnej hmoty pred technologickým spracovaním (napr. sušenie, granulácia) alebo naopak k technologickej úprave a dokončeniu finálnych výrobkov (napr. potlač).

Polykarbonát je pred spracovateľským procesom vo forme granúl, ktoré sa zahriatím nad teplotu topenia prevedú do taveniny, z ktorej sa formujú želané produkty. Do granúl polykarbonátu sa pridávajú aj rôzne prímеси na zlepšenie nie len spracovateľských, aj úžitkových vlastností. Najpoužívanejšou spracovateľskou technikou je tvárniaca technológia vstrekovanie, s ktorou sa vyrábajú napr. rôzne technické diely. Technikou vytlačovaním sa vyrábajú rôzne tyče alebo profily. Rúrky a fólie sa vyrábajú liatím z roztoku. [16] [29] [37]

3.1 Technológia vstrekovanie

V súčasnosti sa viac než tretina termoplastov vyrába technológiou vstrekaním a v obmedzenej miere sa taktiež vstrekujú niektoré reaktoplasty a kaučuky. Vstrekovanie je diskontinuálny, cyklický proces, pri ktorom sa polymér vo forme granúl roztaví (zohreje nad teplotu skleného prechodu v prípade amorfných polymérov - PC) a následne sa vstrekuje do dutiny uzatvorenej formy, ktorá mu dáva po vychladnutí výsledný tvar. Doba každého cyklu môže trvať len pár sekúnd, ale aj desiatky minút, v závislosti od hrúbky stien výrobku a následného chladenia. Výhodou vstrekovania je krátky čas cyklu, schopnosť vyrábať zložité súčasti s dobrými toleranciami rozmerov a veľmi dobrou povrchovou úpravou, konštrukčná

flexibilita, ktorá umožňuje odstránenie konečných úprav povrchu a montážnych operácií. Vstrekovanie je tým pádom, vďaka schopnosti dosiahnuť vysokú produktivitu s vysokou presnosťou výrobkov, ideálny proces pre masovú výrobu avšak s nutnosťou vysokých investičných nákladov spojených s použitím strojného zariadenia, ktoré je neúmerne veľké v porovnaní s vyrábaním dielom.

Hlavnými súčasťami vstrekovania, ktoré môžu mať vplyv na kvalitu výsledného produktu sú:

- vstrekovací stroj,
- vstrekovacia forma. [6] [15] [30]

3.1.1 Vstrekovacia forma

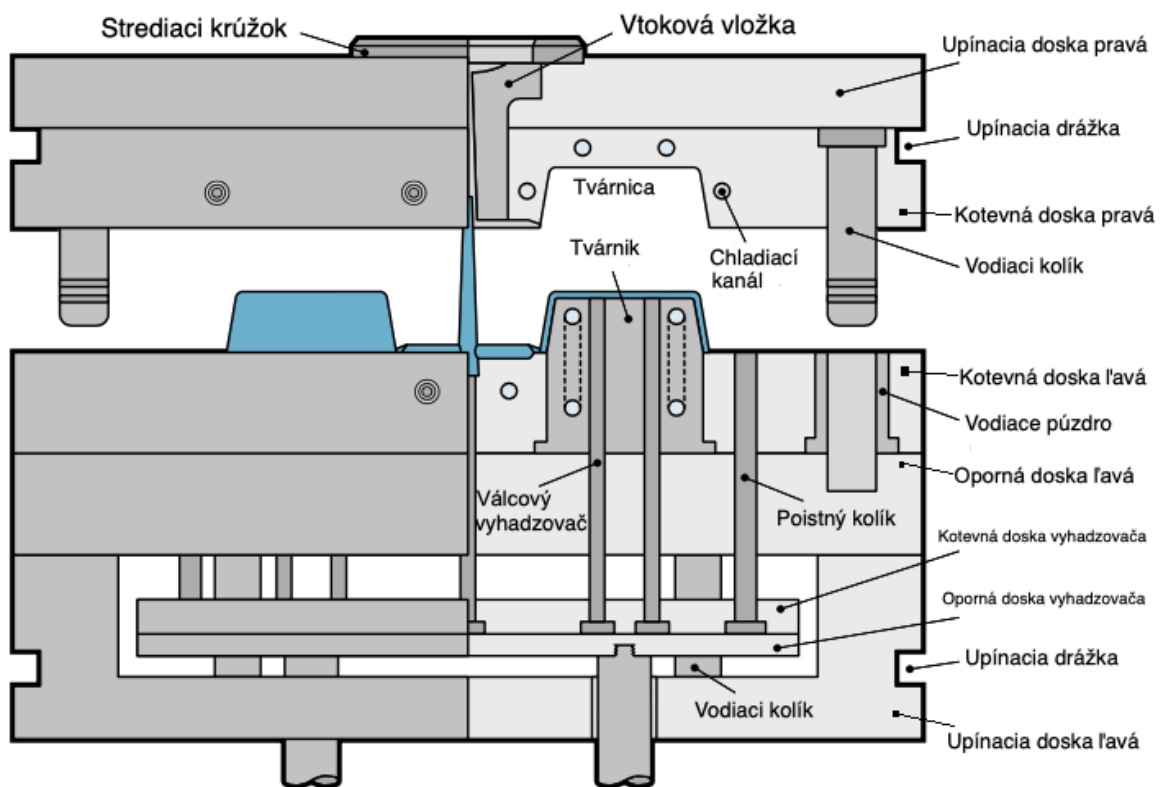
Vstrekovacia forma musí po celú dobu svojej životnosti odolávať vysokým tlakom, vyrábať výrobky o presných rozmeroch, umožniť ľahké vybratie výrobku a preto je jej konštrukcia náročná nie len na finančné náklady, ale aj odborné znalosti. Voľba výrobného materiálu formy závisí od druhu spracovaného plastu, na použitej technológii, na veľkosti a zložitosti výrobku, na tepelnej odolnosti, na odolnosti proti opotrebeniu a korózií, na cene a pod. Dôležitou úlohou pri konštrukcii foriem je stanovenie rozmerov a výrobných tolerancií tvarových častí. Pre určenie a výpočet týchto rozmerov sú rozhodujúce zmrštenia, tolerancie jednotlivých rozmerov vstrekú a opotrebenie činných častí nástroja.

Štruktúra formy

Forma sa skladá z dvoch polovic, ktoré po spojení (uzamknutí) vytvoria priestor (dutinu), ktorá vyformuje výsledný tvar produktu ešte predtým, než je z nej vyhodенý. Rám tvoria dosky, ktoré sú spojené dokopy a dopĺňajú ho vodiace a strediacie prvky. Prvky, ktoré majú tvarovú funkciu poznáme pod pojmom tvárnik (tvaruje vnútornú geometriu výrobku) a tvárnica (tvaruje hlavné vonkajšie tvary výrobku). Väčšinou sú to samostatné časti, ktoré sú pripevnené o rám formy alebo pri lacnejších variantoch sú vytvorené priamo v doskách formy.

Tvárnik býva najčastejšie upevnený v pohyblivej časti formy (ľavá časť formy), v ktorej je upevnený aj vyhadzovací systém. Vyhadzovací systém je väčšinou tvorený sústavou dosiek, v ktorých sú upnuté vyhadzovacie kolíky prechádzajúce doskami formy až do samotnej tvarovej zložky. Na konci vstrekovacieho cyklu je systém, po otvorení formy, aktivovaný cez spojovaciu tyč, najčastejšie vstrekovacím strojom alebo samým systémom.

Tvárnica sa nachádza upevnená v pravej časti formy (pevná časť formy) z pohľadu obsluhy vstrekovacieho stroja. V tejto časti sa nachádza aj najdôležitejšia časť rozvodného systému taveniny, akou je vtoková vložka, ktorá sa používa v studenom vtokom systéme. Pri použití vyhrievaného vtokového systému sa jedná o vyhrievanú vložku alebo rozvádzač. Cez vtokovú vložku sa pripája vstrekovacia jednotka vstrekovacieho stroja. Následná vstreknutá tavenina vyplní cez vtokovú vložku a rozvodné kanály dutinu formy. Celý systém jednoduchej formy môžeme vidieť na obr. 12. [6] [31] [32]



Obr. 12. Popis jednoduchej vstrekovacej formy. [34]

Konštrukcie vstrekovacích foriem sú veľmi rozmanité a preto sa dajú rozdeliť do viacerých skupín:

- podľa násobnosti na jednonásobné a viacnásobné,
- podľa spôsobu zaformovania a konštrukčného riešenia na dvojdoskové, trojdoskové, etážové, čeľuťové, vytáčacie,
- podľa spôsobu vyhadzovania vstrekov na formy s mechanickým vyhadzovaním, s pneumatickým vyhadzovaním, so stieranou doskou, s kombinovaným vyhadzovaním,

- podľa použitého vtokového systému na formy so studeným vtokovým systémom a s vyhrievaným vtokovým systémom. [6] [33]

Vtokový systém

Vtokový systém slúži na dopravu taveniny z trysky do dutiny formy a preto ovplyvňuje najviac kvalitu a akosť vstreku spolu s produktivitou výroby. Skladá sa z vtokovej vložky, rozvodných kanálov a vtokového ústia, ktoré musí zaisťovať správne naplnenie dutiny formy, ľahké odtrhnutie a oddelenie vstreku a taktiež ľahké vyhodenie vtokového zostatku. Vtok má byť riešený tak, aby tavenina naplnila formu najkratšou cestou, bez veľkých teplotných a tlakových strát, čo najrýchlejšie a pokiaľ možno všade v rovnakom čase. Podľa návrhu formy môže byť studený vtokový systém alebo vyhrievaný vtokový systém.

U **studených vtokových systémoch** sa tavenina vstrekuje v podstate do studenej formy, čím polymér vytvorí na stenách tepelnú izoláciu. To má za následok prúdenie taveniny stredom kanálu (tzv. fontánový tok polymérnej taveniny) až kým sa naplní celá forma, následne klesne prietok a odvodom tepla do stien formy nastane tuhnutie taveniny.

Pri technológii **vyhrievaných vtokových systémoch** je tavenina, po naplnení dutiny formy, v celej oblasti vtoku až do ústia formy stále v plastickom stave, čo zabezpečuje vstrekovanie bez vtokového zbytku. Táto výhoda znižuje spotrebu materiálu a okrem toho sa dá sústava jednoducho demontovať, vyčistiť a späť namontovať. [6] [35] [36]

Temperačný systém

Vstrekovacie formy obsahujú temperačný systém, pretože tavenina v dutine formy musí z technického a ekonomického hľadiska čo najrýchlejšie chladnúť. Temperačným systémom sa rozumie systém kanálov a dutín, ktoré umožňujú prechod tepla z taveniny do formy a temperovacieho média. Teplota formy sa udržiava na požadovanej úrovni pomocou chladiaceho média (olej alebo voda), ktoré preteká sústavou chladiacich kanálov. Tavenina sa musí s ohľadom na vlastnosti výrobku chladieť vo všetkých miestach konštantnou teplotou. V inom prípade by dochádzalo k deformáciám alebo vzniku trhlín vo výrobku. Temperačný systém býva rozdelený do dvoch okruhov, a to na okruh pre pevnú (vtokovú) časť a na okruh pre pohyblivú časť. Rozmiestnenie a rozmery temperačných kanálov sa navrhujú podľa celkového riešenia formy. Vzdialenosť kanálov od líca forma sa navrhuje tak, aby nedošlo k porušeniu povrchu tvarovej dutiny a aby v tvarovej dutine nevznikali podchladené miesta. Výhodnejšie je použiť väčší počet malých kanálov ako naopak. Okolo

dutiny formy sa kanály rozmiestňujú rovnomerne, najideálnejšie je ich vzdialenosť od líca formy všade rovnaká. Ich prierez je z pravidla kruhový a býva 6 až 20 mm. Celková dĺžka by mala byť taká, aby rozdiel teplôt temperačnej kvapaliny na vstupe a na výstupe bol max. 3 až 5 °C. [6]

Mechanizmus vyhadzovania

Okrem vyššie popísaných častí obsahujú vstrekovacie formy aj mechanizmus pre vyhadzovanie vstrekov. Ten je nečastejšie riešený mechanickým spôsobom a to buď pomocou vyhadzovacích kolíkov alebo stieracích dosiek, stieracích krúžkov a pod. V niektorých prípadoch sa jednotlivé spôsoby kombinujú. Vyhadzovacie sily a ich výpočet sa odvodzujú od merných tlakov medzi formou a vstrekom, kedy sila na vyhodenie bude závisieť na pružnosti tvárnika a tvárnice, na priebehu tlakov a teplôt počas vstrekovania a iné. [6]

Odvzdušnenie tvarovej dutiny

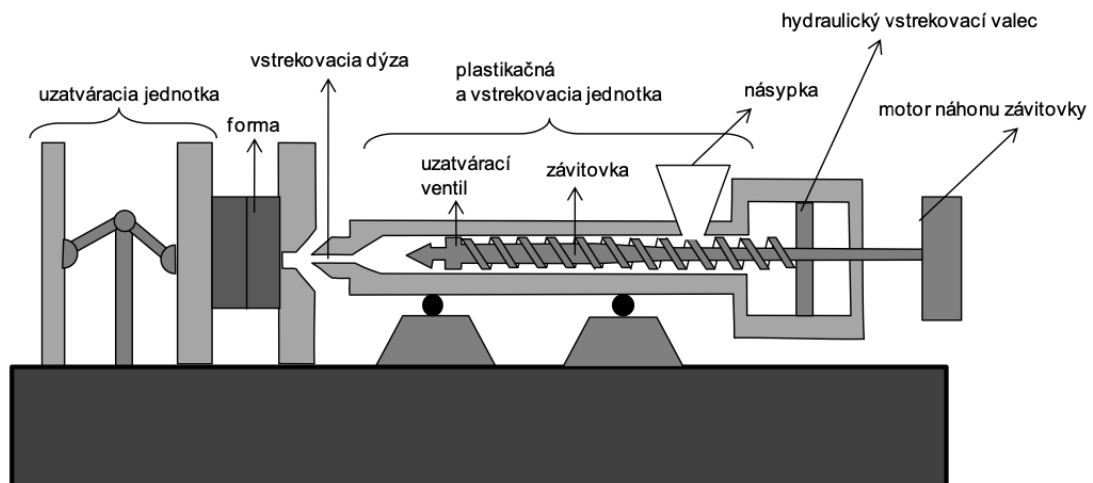
Doba vstrekú do tvarovej dutiny formy je veľmi krátka a musí za každých okolností dôjsť k jej dokonalému vyplneniu. Aby k tomu došlo, musí byť dokonalo odvzdušnená, inak by mohlo okrem k nedokonalého vyplnenia tvarovej dutiny vzniknúť nebezpečné zvýšenie tlaku alebo pokles pevnosti v miestach studených spojov. Ďalej môže v zle odvzdušnenej vstrekovacej forme dôjsť k tzv. diesel efektu, kedy môže dôjsť k spáleniu výrobku. Preto je dôležité zaistiť intenzívny odvod vzduchu z tvarovej dutiny formy a to nie len netesnosťami v deliacej rovine, ale aj konštrukciou odvzdušňovacích kanálikov, ktoré však nemôžu byť príčinou vzniku otrepov (ostré hroty) vo výrobku. Odvzdušnenie sa musí vykonávať v deliacej rovine na protiľahlom mieste vtoku. Dostatočné odvzdušnenie formy ovplyvňuje umiestnenie vtoku, spôsob zaformovania vstrekú, umiestnenie vyhadzovačov a pod. [6]

Materiál vstrekovacej formy

Materiály, z ktorých je forma vyrobená musia svojim vlastnosťami spĺňať množstvo podmienok, aby boli splnené nie len vysoké nároky na kvalitnú výrobu výrobkov, ale tiež zaručovali čo najdlhšiu životnosť a to za najnižšie možnú cenu. Preto sa na výrobu foriem používajú materiály ako je napr. oceľ, meď, hliník a rôzne izolačné materiály, ktoré tieto podmienky spĺňajú. Materiál taktiež podlieha rôznemu druhu tepelnému alebo chemicko-tepelnému spracovaniu, povrchovým úpravám pre zvýšenie životnosti formy. Avšak životnosť môže ovplyvniť aj samotné zaobchádzanie formou. [6] [38]

3.1.2 Vstrekovací stroj

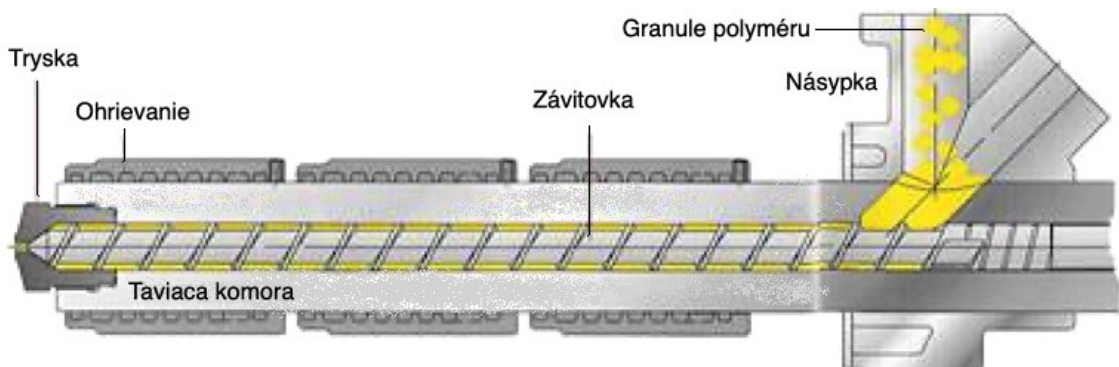
Proces vstrekovania prebieha vo vstrekovacom stroji, väčšinou plno automaticky, čím sa docieli vysoká produktivita práce. Ten môže byť z hľadiska typu pohonu poháňaný hydraulicky, elektricky alebo hybridne. Hlavnými časťami sú vstrekovacia jednotka a uzatváracia jednotka. Ďalšie časti stroja tvorí riadenie a regulácia. Príklad vstrekovacieho stroja so závitovou (šnekovou) plastikáciou je zobrazený na obr. 13. [6]



Obr. 13. Schéma vstrekovacieho stroja. [4]

Vstrekovacia jednotka

Vstrekovacia jednotka má za úlohu roztaviť dávkované granule polyméru na taveninu o danej viskozite a vstreknúť taveninu vysokou rýchlosťou a veľkým tlakom do dutiny vstrekovacej formy. Prvé vstrekovacie jednotky boli piestové a postupne boli nahradené závitovkami, ktoré vyriešili všetky hlavné nedostatky piestových strojov. Najdôležitejšie časti vstrekovacej jednotky je taviaca komora, závitovka (šnek), tryska (dýza), ohrievanie spolu s ďalším príslušenstvom.

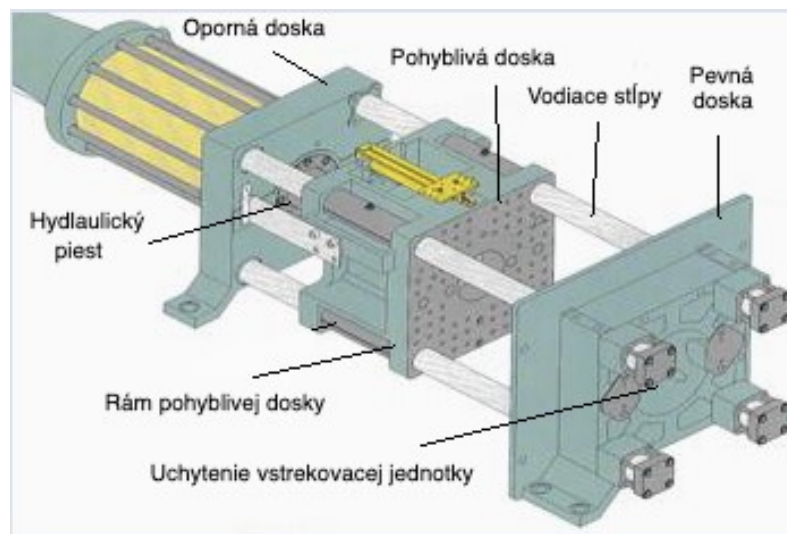


Obr. 14. Rez vstrekovacou jednotkou. [6]

Závitovka v taviacej komore posúva z násypky polymérny materiál vo forme granúl smerom k tryske, ktorý je trením a ohrievacími telesami roztavený na taveninu. Tá sa nahromaďuje pri špičke závitovky až kým je jej dostatok a následne sa cez trysku vstrekuje do formy. Tavenina má pri vstrekovani tendenciu tiecť smerom späť k násypke a preto je zakončenie závitnice skonštruované tak, aby sa tomuto javu zabránilo. Existujú rôzne riešenia, z ktorých najspoľahlivejšie zakončenie je so spätným uzáverom (ventilom). [6]

Uzatváracia jednotka

Uzatváracia jednotka má za úlohu otvárať a zatvárať vstrekovaciu formu podľa procesu vstrekovania a zaistiť uzatvorenie formy takou silou, aby pri vstreknutí tlakom taveniny nedošlo k jej otvoreniu. Skladá sa z hlavných častí: opornej dosky pevne spojená s ložnou stroja (pozdĺžnym rámom), pohyblivej dosky, na ktorú je upnutá pohyblivá časť formy, upínacej dosky s otvorom pre trysku stroja, na ktorú sa pripevní nepohyblivá časť vstrekovacej formy, atď. Vstrekovacie stroje používajú rôzne konštruované uzatváracie systémy akými sú hydraulické (obr. 15), mechanické, ich kombinácia alebo elektrické. [6]

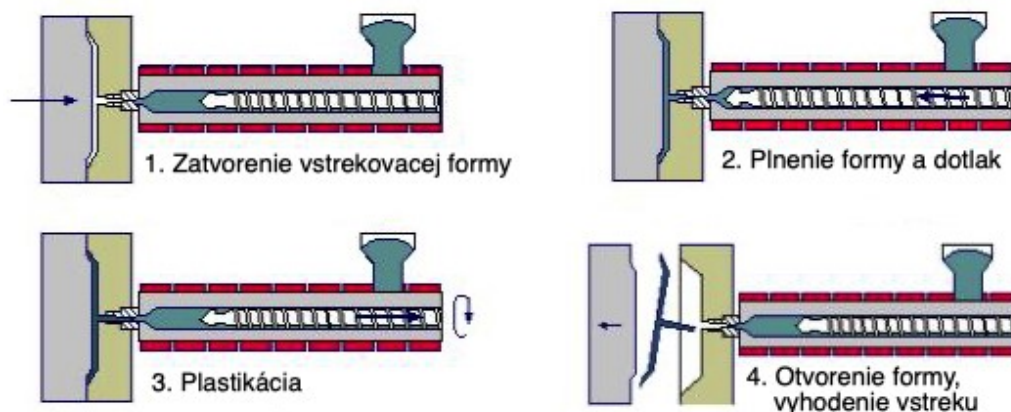


Obr. 15. Hydraulická uzatváracia jednotka. [6]

3.1.3 Vstrekovací cyklus

Vstrekovací cyklus tvoria postupne vykonané úlohy vstrekovacieho stroja, ktorého výsledkom sú hotové výrobky. Celý proces začína prázdnu otvorenou formou, ktorá sa po zahájení vstrekovacieho cyklu, prisunutím pohyblivej časti k pevnej, zatvorí a uzamkne - strojné doby. Následne sa vstrekovacia jednotka prisunie k vstrekovacej forme a vstreknutím sa forma naplní taveninou. Už v momente, kedy tavenina vstúpi do dutiny formy chladne, pretože tavenina začne predávať teplo forme. Počas chladnutia sa hmota zmršťuje, znižuje

svoj objem a preto je nutné toto zmršťovanie a zmeňšovanie objemu kompenzovať dodatočným dotlačením taveniny – dotlakom. Po dotlaku začína plastikácia novej dávky vo vstrekovacej jednotke. Po plastikácii novej dávky sa vstrekovacia jednotka oddelí (odchádza) od formy (so samozatvárateľnou tryskou nemusí) a po dokonalom zachladnutí vstreku sa forma otvorí a vytvorený výrobok sa vyhodí pomocou vyhadzovačov. [6] [15]



Obr. 16. Cyklus vstrekovania. [6]

3.1.4 Popis fáz vstrekovacie cyklu

Jednotlivé úseky vstrekovacie cyklu trvajú rôzne dlho a sú ovplyvnené viacerými podmienkami a to napr. materiálom (polymérom), konštrukciou vstreku, typom stroja, konštrukciou vstrekovacej formy atď. [6]

Strojné doby

Strojné doby na zatvorenie a otvorenie formy závisia na rýchlosti pohybujúcej sa formy a na dráhe, ktorú musia ubehnúť. Snahou je skrátiť strojné časy na minimum, čo sa dá dosiahnuť zvýšením rýchlosti formy. U moderných strojoch nie je táto rýchlosť po celej dráhe rovnaká, pretože pri zatváraní sa forma pohybuje veľkou rýchlosťou a presne pred dosadnutím sa rýchlosť zníži, aby obidve časti formy na sebe jemne dosadli a forma sa nárazom nepoškodila. Podobne je to aj pri otváraní formy. Najskôr je rýchlosť vysoká a pred dojazdom formy na doraz sa rýchlosť zníži, aby vyhodenie výrobku z formy prebiehalo pomaly. Celková doba strojných časov nepresahuje niekoľko málo sekúnd (stredne veľké stroje). [6] [39]

Doba vstrekovania

Doba vstrekovania (plnenia dutiny formy) sa odvíja od rýchlosti pohybu závitovky vpred, ktorá závisí na technologických podmienkach, hlavne na teplote taveniny a na

vstrekovacím tlaku. Okrem nich má vplyv aj teplota formy, objem vstrekovej sústavy a druh polyméru. Doba plnenia musí byť čo najkratšia, pretože vieme, že sa tavenina dotýkaním formy ochladzuje, čím stráca tekutosť, takže by príliš dlhým plnením nezaplnila celú dutinu formy a vznikol by nedostreknutý nepodarok. [6] [39]

Doba dotlaku

Doba dotlaku predstavuje nutnú časovú fázu medzi fázou plnenia dutiny vstrekovacej formy a začiatkom plastikácie, ktorá má za úlohu kompenzovať znižovanie objemu výrobku počas chladnutia polyméru vo forme. Dotlak je možné vykonávať iba do tej doby, pokiaľ je možné taveninu polyméru do dutiny vstrekovacej formy stále dodávať, napr. do doby, kým dôjde k zatuhnutiu taveniny polyméru vo vtokovom systéme (najčastejšie, najrýchlejšie stuhne vtokové ústie, kde je najmenší prierez). Z hľadiska procesu je však výhodné skončiť s dotlakovou fázou skôr, než dôjde k zatuhnutiu vtoku, pretože inak dochádza k „pretlačeniu“ taveniny polyméru v blízkosti toku a teda k veľkému pnutiu v oblasti vtoku. Ďalšou úlohou dotlaku je znížiť tlak vnútri dutiny vstrekovacej formy, pretože po naplnení tvarovej dutiny nasleduje stlačovanie formy, kedy tlak rýchlo vzrastie a rýchlo náhle klesne. Ak by tlak zostal na pôvodnej hodnote vstrekovacieho tlaku alebo by zostala rovnaká rýchlosť vstrekovania, došlo by napr. k vzniku tlakovej špičky, k zväčšeniu hmotnosti a rozmerov vstrekovej formy, k tzv. „dýchnutiu“ (krátko a čiastočné otvorenie formy v deliacej rovine) alebo k prasknutiu niektorej časti formy. Táto fáza procesu má teda nie len veľký vplyv na výsledný produkt, ale aj zdravie formy. [6] [39]

Doba plastikácie

Doba plastikácie je čas, ktorý je potrebný k tomu, aby došlo k roztaveniu dávky polymérnej taveniny a k jej rovnomernému zhomogenizovaniu a umiestneniu pred čelo závitovky, tzv. podušky. Veľkosť roztavenej dávky musí zabezpečiť naplnenie tvarovej dutiny formy a vtokového systému, ale aj kompenzovať zmenu objemu, vyvolanú zmrštením. Treba si uvedomiť, že posuvom závitnice dozadu sa znižuje účinná dĺžka závitovky, a preto musí byť spätný tlak zvyšovaný. Potrebné teplo k roztaveniu jednej dávky je tvorené asi z jednej tretiny výhrevnými telesami a asi z dvoch tretín trením hmoty pri hnetení. Doba plastikácie nemá na celkovú dobu výrobného cyklu žiadny vplyv, pretože fáza plastikácie prebieha počas fázy chladnutia vstrekovacieho cyklu. [6] [39]

Doba chladnutia

Doba chladnutia predstavuje najdlhšiu dobu cyklu, ktorá závisí na hrúbke steny vstreku, druhu polyméru, teplote taveniny, teplote formy a na teplote vstreku v okamžiku vyberania z formy. Z ekonomického hľadiska je snaha skrátiť dobu chladenia na minimum a to pomocou účinného chladenia formy, hlavne v miestach, kde hmota chladne najpomalšie. Vhodným spôsobom je možné ušetriť až 40 % nákladov, avšak môže to mať i negatívne dôsledky nie len z technologického hľadiska procesu, ale aj z hľadiska konečných a užitočných vlastností výrobkov, pretože fáza chladnutia ovplyvňuje nadmolekulárnu štruktúru polyméru, deformáciu výrobku, kvalitu povrchu atď. [6] [39]

Doba vyhodenia vstreku

Po vychladnutí výrobku (vstreku) v tvarovej dutine vstrekovacej formy nasleduje vyhodenie. Jeho doba je úzko spojená so strojovou dobou na otvorenie formy, ktorá sa odvíja od rýchlosti práce a pohybov vstrekovacieho stroja vo vzťahu k dráhe otvorenia formy. Avšak vyhodenie výrobku by malo byť čo najrýchlejšie z dôvodu čo najkratšieho výrobného (vstrekovacieho) cyklu. [6] [39]

3.2 Technológia vytlačovanie

Technológia vytlačovanie prebieha na vytlačovacích strojoch, ktorý sa skladá z veľmi pevného rámu, v ktorom je uložený pohonný elektromotor s plynulo ovládateľným počtom otáčok a prevodovka na pracovnú závitovku. Na začiatku komory je násypka pre spracovaný granulat polymérneho materiálu a na opačnom konci je príruha pre osadenie vytlačovacej hlavy. Závitovka posúva granulat z násypky cez taviacu komoru. Taviaca komora sa môže rozdeliť na 3 pásma – plniace, plastikačné, vytlačovacie. Priechodom cez taviacu komoru sa polymérny materiál premiešava, mení na taveninu, zhutňuje (zbavuje sa vzduchu), zohrieva na potrebnú teplotu a pod tlakom sa vytlačuje cez tzv. lamač, ktorý vykonáva ďalšiu homogenizáciu do hubice. Lamač väčšinou podopiera sito, ktoré zachytáva prípadne neroztavený granulat a náhodné pevné nečistoty. Tieto zariadenia, v ktorých prebiehajú tieto pochody sa nazývajú plastifikačná jednotka. Táto technológia je vhodná na výrobu polykarbonátových dosiek alebo plátov. [6] [29]

3.3 Technológia valcovanie

Technológia valcovanie, iným názvom kalandrovanie, sa vykonáva na strojoch (kalandroch), ktoré majú najčastejšie 4 otáčajúce sa valce. Do štrbiny medzi prvými dvoma

sa dávkuje materiál väčšinou z plastikačného stroja (extrudéru). Valce rotujú proti sebe s nepatrným sklzom, na ďalších valcoch sa docieľuje hladkého povrchu (prípadne sa vlisuje vzorkovanie – tzv. dezén) a predpísané rovnomerné hrúbky. Výsledkom je vyformovaná hmota polyméru v tvare fólie a pásov. [6] [29]

3.4 Technológia vyfukovanie

Technológia vyfukovanie je výrobný postup, kedy vhodný polotovár väčšinou v tvare výlisku je tvarovaný vo vyfukovacej forme pomocou tlaku vzduchu do tvaru otvoreného alebo zatvoreného telesa. Plast musí byť zahriaty na teplotu plastického stavu, v ktorom polymérna hmota vykazuje značnú tvarovateľnosť, ale pri tom udržuje potrebnú súdržnosť. Vyfukovanie sa rozdeľuje podľa technológie výroby polotovaru na vytlačovanie vyfukovanie a vstrekovacie vyfukovanie. Touto technológiou sú vyrábané trvácne polykarbonátové fľašky alebo nádrže na vodu, pretože nezanechávajú v nej ani po dlhom skladovaní žiadne stopy (nemenia chuť). [6] [29]

4 OCHRANNÉ A OBRANNÉ PRVKY Z POLYKARBONÁTU

Polykarbonát našiel vďaka svojim vlastnostiam uplatnenie, ako sme sa dozvedeli vyššie, vo veľa rôznych oblastiach priemyslu. Medzi nimi patria taktiež rôzne ochranné a obranné prvky, kde ako použitý polykarbonát, svojimi vlastnosťami, nahradil iné, nevyhovujúce materiály akými sú napr. sklo (príliš krehké), či kov (príliš ťažký, nepriehľadný).

Ochrannými prvkami rozumieme prvky, ktoré majú za úlohu ochrániť majetok alebo zdravie osôb pred negatívnymi vplyvmi okolia ako je napr. úder alebo náraz. Bežnými ochrannými prvkami z polykarbonátu na ochranu zdravia osôb sú ochranné okuliare, motorkárske prilby, chránič obočia so štítom atď. Na ochranu majetku môžu byť z polykarbonátu vyrobené ochranné kryty, puzdra, tvrdené sklá alebo fólie pre mobilné telefóny, prípadne nástenné nárazníky, zvodidlá do obchodných centier alebo predajní a iné.

Obrannými prvkami rozumieme prvky, ktoré sa používajú primárne pre ochranu zdravia pri sebaobrane proti hroziacim alebo trvajúcim útokom osôb (nutná obrana), príp. zvierat (krajná núdza). Polykarbonát našiel využitie aj vo výrobe takýchto obranných prostriedkov akými sú rôzne druhy protiúderových policajných štítov alebo obuškov s rukoväťou, známe tiež ako tonfy.

Vlády v niektorých krajinách (akou je napr. Veľká Británia) taktiež prispievajú zmenou legislatívy k ochrane zdravia a majetku osôb obmedzovaním používania skla v baroch a kluboch z dôvodu výskytu útokov rozbitým sklom. Preto je polykarbonátové „sklo“ stále viac populárnejšie počas podávania alkoholu, pretože je odolné a nie je vyrobené z pravého skla. [40]

4.1 Ochranné okuliare

Ochrana zraku, napr. pri práci, je veľmi dôležitá a od toho slúžia ochranné (bezpečnostné) okuliare. Trh ponúka množstvo bezpečnostných okuliarov z polykarbonátu s rôznym prevedením (viď. príklad na obr. 17 vľavo). Podľa označenia tried sú konštruované tak, aby ochránili zrak pred možnými rýchlo lietajúcimi časticami materiálu o rôznych rozmeroch, napr. pri vŕtaní, sekaní atď. Ďalej môžu poskytovať ochranu proti prachu, prístupu kvapalín, odolnosť voči chemickým látkam, UV ochranu zraku, vetranie a iné. Okuliare môžu byť konštrukčne riešené s nastaviteľným upínaním na gumičku alebo s rámom klasických okuliarov. Spolu s okuliarmi je vhodné použiť polykarbonátovú štítovú

masku (vid'. obr. 17 vpravo), čím sa zvýši ochrana celej tváre nie len proti nárazu ale aj vysokým teplotám.



Obr. 17. Ochranné okuliare s priamym vetraním a štítová maska z PC. [41]

Počas zvárania, pre ochranu očí, sa používajú ochranné okuliare s bezpečnostnými sklami (vid. obr. 18), ktoré môžu byť vyrobené z polykarbonátu. Tieto sú ideálne na použitie pri zváraní s oxyacetylénom a môžu mať možnosť vyklopenia okuliarov pre lepší pohľad pri činnosti mimo zvárania. [41]



Obr. 18. Zváračské okuliare s bezpečnostnými sklami z polykarbonátu. [41]

4.2 Chránič obočia so štítom

Chrániče obočia so štítom z polykarbonátu je vhodný na ochranu zraku a tváre tam, kde nie je potrebná prilba. Tento ochranný prvok sa dá zakúpiť samostatne alebo ako sada s ochranou sluchu, ktorá je ideálna na použitie v spracovateľskom priemysle, poľnohospodárstve alebo pri domácich prácach. V prípade poškodenia štítu sa zakúpi nový a jednoduchou inštaláciou sa vymení.[41]



Obr. 19. Chránič obočia so štítom a ochranou sluchu. [4]

4.3 Ochranné sklo na mobilné telefóny

Jedná sa o ochranu displeja v štýle tvrdeného skla, vyrobeného z polykarbonátu. Skladá sa z dvoch vrstiev, z čoho prvá tvorí tenký, odolný polykarbonát, druhú vrstvu tvorí veľmi tenká vrstva priehľadného silikónu, ktorá zaisťuje perfektné priľnutie k displeju telefónu. Tvrdené sklo z polykarbonátu svojou pevnou tvrdosťou chráni displej telefónu pri bežnom používaní, pred drobnými nárazmi škrabancami, masťou a inými nečistotami. Rovnako môže poskytovať ochranu očí pred modrým svetlom (Anti-blue). Vďaka svojej tenkej hrúbke vôbec neznižuje dotykové schopnosti displeja. Pri rozbití sa rozbieha na malé kúsky, ktoré nie sú ostré a nepoškodí tak chránený displej. Aplikácia je jednoduchá a rýchla. [42]



Obr. 20. Tvrdené sklo na mobilný telefón z polykarbonátu. [42]

V závislosti na type telefónu sa vyrábajú ochranné tvrdené sklá, ktoré chránia celú plochu displeja (vid. obr. 20) alebo sú ochranné sklá, ktoré po aplikácii zanechávajú okraje telefónu nechránené. S nechránenými okrajmi hrozí poškodenie displeja v okrajových miestach napr. nečistotami a z tohto dôvodu, rovnako aj z vlastných skúseností, sa odporúčajú s ochranou celej plochy displeja. Taktiež ich farebné prevedenia splyývajú s celým telefónom.

4.4 Ochranná fólia na mobilné telefóny

Ďalšou možnou ochranou displeja z polykarbonátu je ochranná fólia. Fólia chráni mobilný telefón rovnako ako u tvrdeného skla pred škrabancami, prachom, masťou, ďalej

môže znižovať UV žiarenie spôsobené odrazom svetla od displeja. Na rozdiel od tvrdeného skla poskytuje kvôli veľmi tenkej hrúbke minimálnu ochranu pred drobnými pádmi. Rovnako jej aplikácia môže byť oproti tvrdeným sklám (pre neskúseného používateľa) komplikovanejšia.[43]



Obr. 21. Ochranná fólia na mobilný telefón. [43]

4.5 Ochranné puzdro a kryt na mobilné telefóny

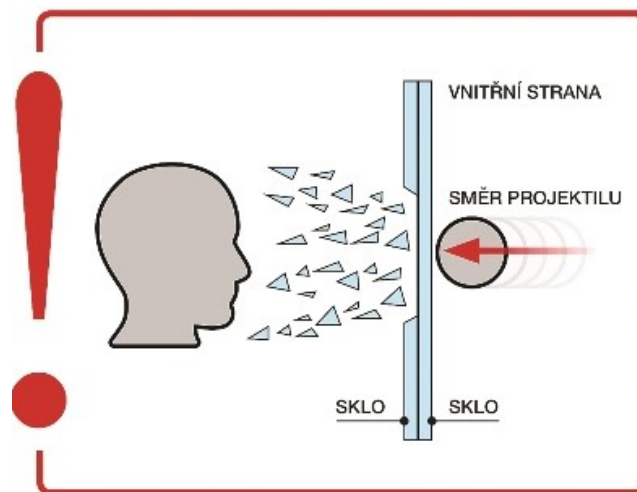
Polykarbonát sa používa s kombináciou iných materiálov pri výrobe ochranných puzdier alebo krytov pre mobilné telefóny. Kryt chráni zadnú časť, boky, rohy telefónu a puzdro zaručuje nie len ochranu zadnej časti, bokov a rohov telefónu, ale aj displej telefónu (flipové prevedenie, vid. obr. 22) pred škrabancami, nárazmi a iným mechanickým poškodeniam. Praktickou funkciou puzdra je, že umožňuje prístup k funkciám telefónu bez otvorenia krytu.[44]



Obr. 22. Ochranné puzdro z polykarbonátu – flipové prevedenie. [44]

4.6 Bezpečnostné sklo do obrábacích strojov

Pracovníci pracující s obrábacími stroji sú vystavený riziku zásahu kúskami opracovaného materiálu alebo môže uletieť aj samotný nástroj. Preto sa na ochranu pracovníkov proti takýmto situáciám montujú do priehľadov obrábacích strojov bezpečnostné sklá vyrobené z polykarbonátu. Oproti obyčajným sklám alebo bezpečnostným sklám (ako je napr. connex) má polykarbonát vysokú schopnosť absorbovať energiu. To znamená, že dostatočne silný polykarbonát (hrúbka sa určuje podľa potrebnej bezpečnostnej triedy) dokáže zastaviť „projektil“, ktorý sa uvoľní v pracovnom priestore. Pokiaľ by sa použilo iba bezpečnostné sklo (v najhoršom prípade obyčajné sklo), letiaci projektil ním pravdepodobne preletí a vážne zraní pracovníka.



Obr. 23. Prerazenie nevhodného bezpečnostného skla letiacim projektilom. [45]

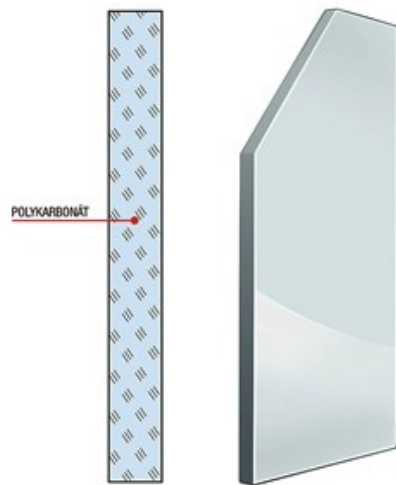
Štandardne sú tri typy bezpečnostných skiel z polykarbonátu, ktoré môže výrobca obrábacích strojov s ohľadom na potrebnú bezpečnosť zvoliť:

- bezpečnostné sklo zo samotného tvrdeného polykarbonátu;
- bezpečnostné sklo z tvrdeného polykarbonátu a kaleného skla;
- bezpečnostné sklo z tvrdeného polykarbonátu a kalného skla s dutinu.

4.6.1 Bezpečnostné sklo zo samotného tvrdeného polykarbonátu

U niektorých obrábacích strojov sa do priehľadu montuje iba samostatný polykarbonát s tvrdenou vrstvou. To však nesie niekoľko rizík. Podstatným problémom je, že polykarbonát je veľmi citlivý materiál. Svoje vlastnosti stráca i časom a pôsobením

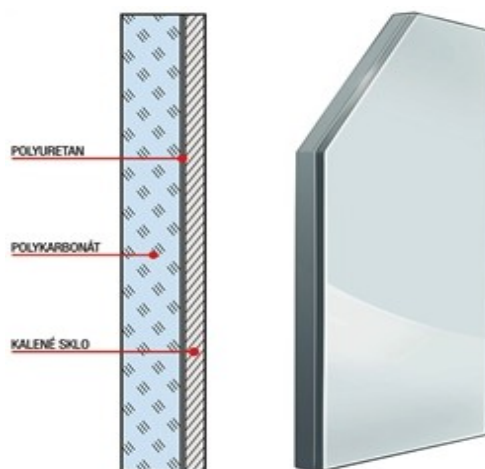
kvapalín dochádza ešte k rýchlejšej degradácii. Z týchto dôvodov je stále vhodnejšie používať do strojov kombináciu polykarbonátu a kaleného skla.



Obr. 24. Bezpečnostné sklo zo samotného tvrdeného polykarbonátu. [45]

4.6.2 Bezpečnostné sklo z tvrdeného polykarbonátu a kaleného skla

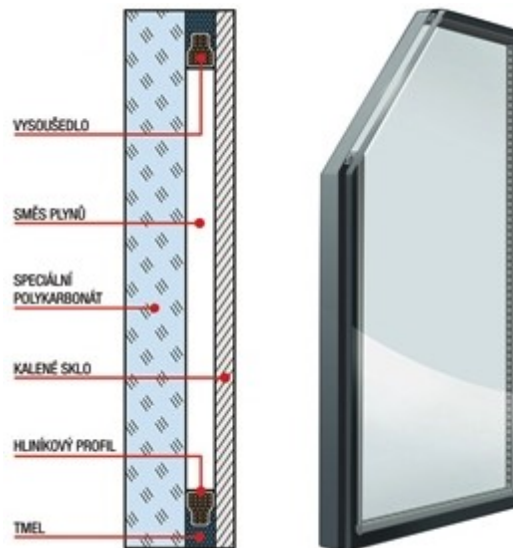
Tento typ bezpečnostného skla, nazývaný aj ako „sendvič“ z tvrdeného polykarbonátu a kaleného skla, sa vyrába pomocou špeciálnej polyuretánovej fólie. K laminácii sa používa tvrdený polykarbonát požadovanej sily (hrúbky) a tvrdené sklo, ktoré chráni polykarbonát proti poškodeniu z vnútornej strany stroja. Špeciálna páska po celej hrane chráni pohľad proti pôsobeniu tekutín. Výhodou je, že polykarbonát nie je vystavený pôsobením pracovných kvapalín (pomalšia degradácia).



Obr. 25. Bezpečnostné sklo z tvrdeného polykarbonátu a kaleného skla. [45]

4.6.3 Bezpečnostné sklo z tvrdeného polykarbonátu a kaleného skla s dutinou

Nazýva sa tiež „sendvič“ a vyrába sa ako klasické izolačné sklo. Polykarbonát a sklo spája hliníková lišta alebo tmeliaca páska. Výhodou je, že dva materiály s rozdielnou rozťažnosťou (sklo a polykarbonát) sú bezpečne oddelení a nebudú na seba vzájomne pôsobiť. V prípade tohto typu priehľadu musí byť dobre zaistené, aby nedochádzalo k vlhnutiu dutiny. [45]



Obr. 26. Bezpečnostné sklo z tvrdeného polykarbonátu a kaleného skla s dutinou. [45]

4.7 Policajná tonfa

Policajná tonfa (obušok s kolmou rukoväťou) patrí do skupiny obranných prostriedkov a je štandardná súčasť výbavy policajných zložiek, príp. vojenských, avšak svoje široké uplatnenie nachádza tiež v bezpečnostných agentúrach. Oproti klasickým obuškom ponúka klasická tonfa oveľa väčšiu variabilitu pri používaní. Hlavnou výhodou je možnosť kryť sa s ňou pri sebaobrane. Pôvodne boli tonfy vyrábané z dreva, ktoré bolo nahradené polykarbonátom alebo húževnatým polypropylénom. Z obidvoch materiálov ponúka firma ESP (Euro Security Products) tonfy, ktoré boli vyvinuté v spolupráci so špecialistami na výcvik boja s tonfou. Majú označenie TR-24/59 (húževnatý polypropylén) alebo TR-24/59-PC (kvalitný polykarbonát). Obidva typy sú klasického guľatého tvaru. Z húževnatého polypropylénu sa vyrába tiež tonfa, pod značením TF-24/59, ktorá je opatrená v mieste kolmej rukoväti „srdiečkom“ chrániace pri obrane kĺbu ruky proti zraneniu a zároveň pomáha rozložiť silu úderu na celú ruku. Napriek tomu je typ z polykarbonátu stále vhodný

k profesionálnemu nasadeniu u policajných jednotkách, u bezpečnostných agentúrach alebo u iných bezpečnostných jednotkách. [46]



Obr. 27. Policajná tonfa TF-24-59 a TR-24/59-PC. [46]

4.8 Policajný protiúderový štít

Ochranné protiúderové štíty sa zaraďujú taktiež k obranným prostriedkom a používajú ich predovšetkým policajné zásahové jednotky pri zvládaní nepokojov alebo demonštráciách, prípadne ich využívajú aj niektoré špeciálne vojenské zložky alebo strážnici vo väzniciach. Ich účelom je ochrana člena bezpečnostných zložiek proti letiacim predmetom, príp. úderom pri boji zblízka.

Firma ESP (Euro Security Products) má v ponuke pomerne ľahké priesvitné policajné štíty, vyrobené z polykarbonátu, rôznej hrúbky a veľkosti akým je:

- klasický protiúderový štít,
- zadržiací štít,
- oválny štít,
- vzájomne spojitelný protiúderový štít. [47]

4.8.1 Klasický protiúderový štít

Štít je vyrábaný, pod označením AS-rozmer štítu/spôsob uchopenia, z extrémne kvalitného a odolného polykarbonátu s hrúbkou 3 mm, s rozmermi 57 x 100 cm, 57 x 130 cm alebo 57 x 160 cm. Hmotnosť sa pohybuje v rozmedzí 3 až 5 kg. Na želanie však môže byť štít vyrobený s hrúbkou polykarbonátu až 5 mm. Vnútoraná ergonomická výstužná doska účinne tlmí údery a prenos vibrácií na úchopovú ruku. Predná doska môže mať zaoblený

šípový tvar so zvislými zlomami, ktorý účinne odvádza údery do strany zlomami (označenie AS bez písmena R) alebo bez zvislých zlomov (označenie AS s písmenom R). Dvojitý držadlo štítu (gumová rukoväť) s výrazným vrúbkovaním umožňuje spoľahlivé uchopenie obidvoma rukami súčasne a môže byť riešené pre úchop ľavej (napr. AS-rozmer/L) alebo pravej ruky (napr. AS-rozmer/P), príp. univerzálne (napr. ASU-rozmer). Štíty s univerzálnym úchopom sa dajú zakúpiť taktiež s ďalšou rukoväťou (pre ďalší úchop rukami), ktoré sú označované ASUD. Protiúderové štíty vysoké 130 cm a 160 cm je možné doplniť o ergonomicky tvarovanú kolennú oporu, ktorá poskytuje lepšiu oporu a komfort pri držaní štítu. Zároveň tlmí nárazy a vibrácie na nohu užívateľa a tiež spevňuje jeho dolnú časť. [47]



Obr. 28. Klasický protiúderový štít s rôznym prevedením úchopu a tvaru. [47]

4.8.2 Zadržiací štít

Zadržiací štít je vyrábaný, pod označením ACS, z extrémne odolného polykarbonátu, so zaobleným tvarom, s hrúbkou 4 mm a s rozmermi 57 x 120 cm o hmotnosti 4,5 kg. Štít, okrem ochrany, umožňuje zasahujúcim policajným či väzenským službám pohotové znehybnenie nespolupracujúcej alebo agresívnej osoby (jej pritlačením o stenu, fixáciou na zemi a pod.). Preto je určený pre použitie v stiesnených priestoroch ako je napr. väznica. Štít má dve gumové rukoväte s výrazným vrúbkovaním pre spoľahlivý

úchop a sú dostatočné dlhé, aby bolo možné obidvoma rukami držať štítom až dve osoby. [47]



Obr. 29. Zadrživací štít ACS-60-120. [47]

4.8.3 Oválny štít

Oválny štít je v podstate obdoba klasického (obdĺžnikového) protiúderového štítu, ktorý je vyrábaný, pod označením ASC, z extrémne odolného polykarbonátu s hrúbkou 3 mm. Oproti klasickému protiúderovému štítu má predná doska namiesto obdĺžnika tvar oválneho kruhu s rozmermi 57 x 60 cm a hmotnosťou 2 kg. [47]



Obr. 30. Oválny štít a jeho rôzne prevedenia úchopu. [47]

4.8.4 Vzájomne spojitelný protiúderový štít

Tento typ štítu, pod označením AS-W, má na svojich bokoch spojovacie prvky, ktoré umožňujú vzájomné prepojenie viacej štítov do jednej rady, čím sa dá vytvoriť doslova štítová „hradba“. Štíty sa vyrábajú z polykarbonátu v rozmeroch 68,5 cm x 100 cm a 68,5 cm x 168,5 cm s hmotnosťou od 4 do 6,5 kg. Na štít vysoký 168 cm sa dá tiež kolmo položiť ďalší štít, vďaka čomu vznikne ochrana i zhora. Vďaka špeciálnemu tvaru hornej strany k sebe obidva štíty tesne priliehajú, čo zvyšuje bezpečnosť chránených osôb za ním. V prípade potreby sa dajú spojené štíty rozpojiť a používať samostatne. Štíty vysoké 168 cm sú automaticky vybavené kolennou operou pre lepšiu oporu, komfort pri držaní štítu, zosilnenie dolnej časti štítu a účinnejšie tmenie nárazov. Spojovacie prvky na bokoch tejto opory zaisťujú u takto vysokých štítov oveľa pevnejšie spojenie (štíty sú spojené hore pri rukoväti a dole pri kolene). [47]



Obr. 31. Vzájomne spojitelné protiúderové štíty. [47]

4.9 Motorkárska helma

Polykarbonát našiel uplatnenie i vo výrobe ochranných prvkov hlavy, akým je motorkárska helma. Vyrábajú sa formou vstrekovania zmesi polykarbonátu do pripravenej formy pod určitým tlakom a nastavenej teploty. Takto vyrobená polykarbonátová helma je jednoliata a preto poskytuje oproti iným termoplastovým helmám (vyrobeným splením dvoch vylisovaných polovic helmy) väčšiu odolnosť pri páde alebo náraze proti prekážke akou je napr. cesta. [48]



Obr. 32. Motorkárska helma z polykarbonátu.
[48]

4.10 Nástenné nárazníky, podlahové zvodidlá do predajní a obchodných centier

Nástenné nárazníky a podlahové zvodidlá vytvárajú komplexný systém povrchovej ochrany v predajniach a obchodných centier, ktoré tlmia nárazy nákupných manipulačných vozíkov pred nárazmi do vybavenia predajní (obslužných pultov a vitrín) a stavebných konštrukcií (steny budovy). Vďaka týmto ochranným prvkom sa dokáže znížiť potrebu opráv povrchu stien, príp. opravy vybavenia predajní na minimum. Nástenné nárazníky sú vyrábané z odolného recyklovateľného polykarbonátu a podlahové zvodidlá sú tvorené hliníkovým jadrom, na ktorom je kryt z recyklovaného polykarbonátu. Táto kombinácia dodáva podlahovým zvodidlám potrebnú odolnosť pre ochranu vybavenia predajní (vid. obr. 33). [49]



Obr. 33. Podlahové zvodidlá z polykarbonátu s hliníkovým jadrom chrániace vybavenie predajne. [49]

5 MECHANICKÉ SKÚŠKY POLYMÉROV

Každý materiál, ako aj polymér, má rôzne vlastnosti na základe, ktorých dokážeme stanoviť vhodnosť materiálu do určitej aplikácie. Medzi tieto vlastnosti patria i mechanické, ktoré sú pružnosť, tvárnosť, pevnosť, húževnatosť a krehkosť. Mechanické vlastnosti definujeme ako schopnosť odolávať materiálu vplyvu vonkajších pôsobiacich síl (odolnosť proti deformácii). Odolnosť materiálu taktiež výrazne závisí od mikroštruktúrnej stavby telesa, rozmerov, tvaru ako aj výskytom chýb v telese.

Mechanické vlastnosti materiálu zisťujeme mechanickými skúškami, pri ktorých sa skúšobné teleso zo skúmaného materiálu vystaví účinkom mechanických síl. Z hľadiska pôsobenia týchto síl rozdeľujeme mechanické skúšky na:

- statické – sila pôsobí konštantne alebo sa zaťaženie zvyšuje pomerne zvolna, pôsobia obvykle minúty, pri dlhodobých skúškach dni až roky;
- dynamické – skúšky rázové a cyklické, pri ktorých pôsobí sila nárazovo po zlomok sekundy alebo pri cyklických skúškach (únavové skúšky) sa premenné zaťaženie opakuje i mnoho cyklami za sekundu až do niekoľko miliónov ich celkového počtu.

V závislosti na teplote:

- skúšky za normálnych teplôt,
- skúšky za zvýšených teplôt,
- skúšky za znížených teplôt.

K týmto skúškam patria taktiež mimoriadne skúšky - skúšky tvrdosti – overenie tvrdosti materiálu.

Technologické skúšky – stanovujú vhodnosť a nevhodnosť materiálu, resp. hotových výrobkov pre dané použitie. [50] [51]

Mechanické skúšky sa väčšinou nevykonávajú na výrobkoch, ale na skúšobných telesách zhotovených buď priamo z výrobkov alebo z rovnakého materiálu. Tieto telesá sú rozmerovo a tvarovo definované normou. Pre polyméry je to norma ČSN EN ISO 20753. [52]

5.1 Statické mechanické skúšky

Statické mechanické skúšky patria k najzakladanejším mechanickým skúškam, základom ktorých sú skúšky pevnosti. Materiálová pevnosť stanovuje koľko napätia dokáže

materiál zniest' až kým dôjde k jeho porušeniu, príp. roztrhnutiu. Podľa pôsobenia sily ich rozdeľujeme v ťahu, tlaku, ohybom, krútením a strihom. [50] [51]

5.1.1 Stanovenie ťahových vlastností - Skúška v ťahu

Skúška v ťahu je najrozšírenejšia statická skúška, ktorá je nutná takmer u všetkých technických materiálov, pretože pomocou tejto skúšky získame základné hodnoty potrebné pre výpočet konštrukčných prvkov a voľbu vhodného materiálu. Problematiku ťahových vlastností polymérov definuje norma ČSN EN ISO 527. Pri skúške je skúšobné teleso uchytené v čeľustiach univerzálneho stroja a následne je preťahované vo smere svojej pozdĺžnej osi konštantnou rýchlosťou až do jeho porušenia alebo do okamžiku, kedy je napätie v ťahu alebo pomerné predĺženie dosiahnu predom zvolené hodnoty. Skúškou v ťahu teda zisťujeme hodnoty (vlastnosti) ako je napr. pevnosť v ťahu (medza pevnosti), pomerné predĺženie, celkové predĺženie:

Medza pevnosti v ťahu σ_{Pt} - je zmluvná hodnota napätia daného podielom najväčšej zaťažujúcej sily F , ktorú znesie skúšobné teleso, a pôvodného prierezu S_0 :

$$\sigma_{Pt} = \frac{F_{max}}{S_0}, (MPa) \quad (1)$$

Celkové predĺženie - ak by bola pôvodná dĺžka skúšobného telesa l_0 a dĺžka zistená po pretrhnutí l , je celkové predĺženie (zmena dĺžky) Δl :

$$\Delta l = l - l_0 \quad (2)$$

Pomerné predĺženie ε - je dané pomerom zmeny dĺžky Δl k pôvodnej dĺžke skúšobného telesa l_0 :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}, (mm) \quad (3)$$

Ťažnosť δ - je pomerné predĺženie vyjadrené v percentách pôvodnej dĺžky pomocou vzorca:

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100, (\%) \quad (4)$$

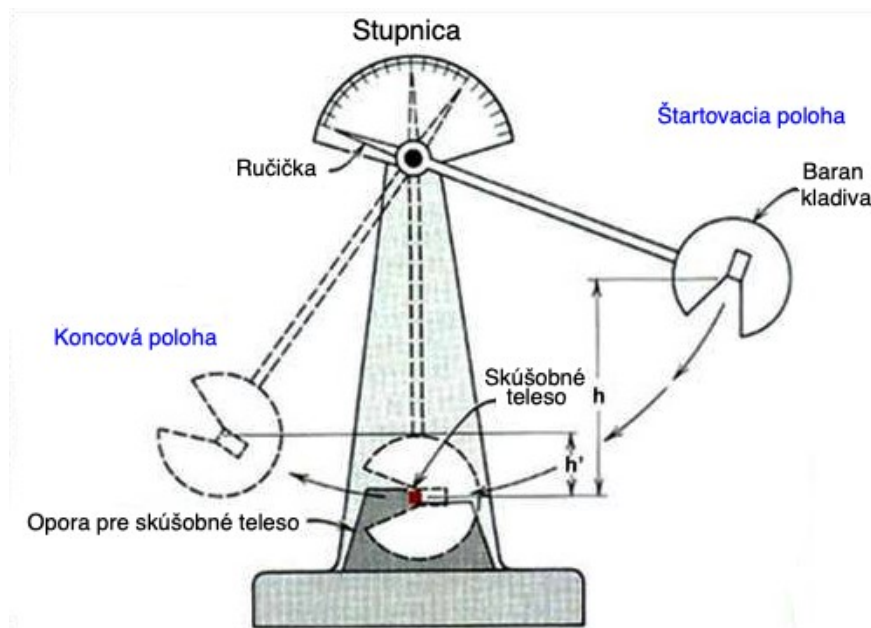
Počas skúšky univerzálny stroj vykonávajúci skúšku v ťahu zapisuje pracovný diagram zmluvných napätí (vid. obr. 34), udávajúce závislosť pomerného predĺženia ε a napätia σ (zmeny dĺžky Δl na zaťažujúcej sile F). Jeho tvar sa mení podľa druhu materiálu. [51] [52] [55]

5.2 Dynamické mechanické skúšky

Dynamické mechanické skúšky slúžia na zistenie chovania materiálu, ktorý je namáhaný prudko meniacim sa zaťažením, prípadne, ktoré sa opakovane mení. Pri takomto druhu namáhania dochádza k poškodeniu materiálu, i keď zaťažujúca sila ešte nedosiahla statickej pevnosti materiálu. Účelom dynamických skúšok je preto určenie vlastností materiálu pôsobením dynamických síl. [52] [57]

5.2.1 Skúška rázom v ohybe – rázová a vrubová húževnatosť metódou Charpy

Skúška rázom ohybu je najpoužívanejšia skúška na zistenie húževnatosti materiálu (schopnosť materiálu pohlcovať mechanickú energiu) a vykonáva sa pomocou Charpyho kyvadlovým kladivom zobrazeným na obr. 36. Pre polymérne materiály je normovaná podľa ČSN EN ISO 179-1.



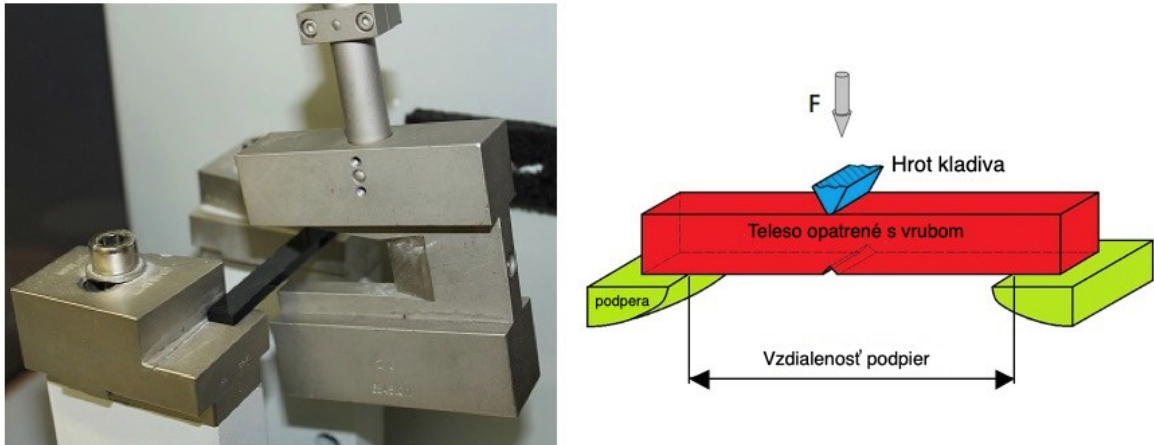
Obr. 36. Charpyho kladivo. [53]

Rázová húževnatosť Charpy (a_k) je definovaná ako kinetická energia (E_c) spotrebovaná k prerazeniu skúšobného telesa vztiahnutá na jeho pôvodný prierez -hrúbkou (h) a šírkou (b) podľa rovnice:

$$a_k = \frac{E_c}{h \times b}, \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}^2} \right] \quad (6)$$

Pri Charpyho metóde je skúšobné teleso umiestnené vodorovne na podperách a prerazené úderom rázového kladiva (vid. obr. 37 vľavo), pričom smer rázu je vedený stredom vzdialenosti medzi podperami na užšiu a širšiu stranu. Behom skúšky sa

zaznamenáva energia spotrebovaná k prerazeniu skúšobného telesa a typ prerazenia: C (úplne, vrátane klbového – neúplného prerazenia, kedy obidve časti skúšobného telesa držia spolu len tenkou obvodovou vrstvou v podobe klbu bez zvyšnej tuhosti), P (čiastočné) alebo N (neprerazené).



Obr. 37. Priebeh rázovej skúšky Charpy. [3]

V prípade použitia skúšobného telesa opatreného vrubom (u veľmi húževnatých polymérov) je smer rázu vedený na opačnú stranu než, na ktorej je v umiestený vrub (obr. 37 vpravo). Smer rázu je vedený na užšiu stranu. **Vrubová húževnatosť Charpy (a_k)** je potom definovaná ako kinetická energia (E_c) spotrebovaná k prerazeniu skúšobného telesa opatreného vrubom (používa sa polkruhový, U a V vrub) vzťahnutá na jeho pôvodný prierez vrubom – hrúbkou (h) a šírkou pod vrubom (b_N) podľa rovnice: [3] [51] [53]

$$a_k = \frac{E_c}{h \times b_N}, \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}^2} \right] \text{ kde } N = A, B, C \quad (7)$$

Okrem rázovej alebo vrubovej húževnatosti sa môže hodnotiť i vzhľad lomovej plochy. Z tohto hľadiska sa rozlišuje krehký (nevykazuje deformáciu, na lomovej ploche sú znateľné väčšie kryštáliky), húževnatý (má okolie lomu deformované) a zmiešaný lom (kombinácia predošlých dvoch lomov). [54]

5.2.2 Rázová skúška pádom

Rázová skúška pádom je alternatívny spôsob merania rázovej húževnatosti polymérnych materiálov, pri ktorom sa eliminujú nedostatky kyvadlových strojov (voľba energie, rýchlosť prevedenej deformácie). Vykonáva sa na pádostrojoch (vid. obr. 38), ktoré pracujú na princípe padajúceho telesa na skúšobné teleso ľubovoľne voliteľnou kinetickou energiou a rýchlosťou a je normovaná podľa ČSN EN ISO 6603-1, 2. [58] [59]



Obr. 38. Komerčne dostupný pádstroj. [59]

Stanovenie skúšky sa vykonáva tak, že sa na skúšobné teleso nechá voľne padať oceľová guľička, príp. padajúci tlk, ktorých hmotnosť sa dá dostatočne navýšiť závažím. Hľadá sa pri tom, taká záťaž, pri ktorej dôjde k prelomeniu aspoň 50% všetkých vzoriek (séria 10 vzoriek). Energia (E_p) k tomu vynaložená sa počíta pomocou vzťahu, kde G je váha závažia a h je výška pádu: [58]

$$E_p = G \times h, [J] \quad (8)$$

6 STARNUTIE A SKÚŠKY STARNUTIA POLYMÉROV

Nevratné zmeny polymérnych materiálov, ktoré sú vyvolané dlhodobým pôsobením fyzikálnymi, chemickým či biologickým vplyvmi sa označujú ako starnutie polymérov. Chemickým či fyzikálne-chemickým pôsobením okolitého prostredia na polymér, a tým jeho znehodnocovanie, sa definuje ako korózia. Pokiaľ dochádza k rozkladovým reakciám, pri ktorých sa polymér chemicky mení, tak sa jedná o degradáciu.

Medzi najdôležitejšie vonkajšie vplyvy, ktoré spôsobujú starnutie a degradáciu polymérov sú: svetlo, UV žiarenie, vzdušný kyslík, voda, teplota a jej zmeny, ozón, atmosférické nečistoty ale aj mikroorganizmy. Súbor týchto faktorov vonkajšieho okolia pôsobiaceho na polymér sa nazýva klimatické podmienky. Ich pôsobenie má za následok zhoršenie vlastností polymérov a tým sa skracuje ich životnosť. Životnosť materiálu sa definuje ako doba jeho použiteľnosti s ohľadom na jeho funkčnosť a je teda daná odolnosťou proti starnutiu. [3] [61]

Tab. 1. Odolnosť vybraných nestabilizovaných polymérov podľa pôsobenia vonkajších vplyvov (1- excelentná, 2 – dobrá, 3 – nízka, 4 – zlá). [62]

Polymér	foto-oxidácia	termo-oxidácia	ozón	vlhkosť
Fluoroplasty	1	1	1	1
Polystyrén	4	2	1	1
ABS	4	4	1	2
Polykarbonáty	3	2	1	2
Polyamídy	3	3	1	3
Guma z prírodného kaučuku	4	4	4	2

6.1 Vplyv svetelného žiarenia

Najväčší vplyv na starnutie polymérov má slnečné žiarenie, konkrétne ultrafialové žiarenie, ktoré je súčasťou slnečného svetla. Lúče ultrafialového žiarenia spôsobujú fotooxidáciu. V preklade to znamená, že ultrafialové žiarenie zvyčajne poruší väzbu medzi dvoma atómami v reťazci makromolekuly a makromolekula sa rozpadá na menšie celky, ktoré ľahko reagujú so vzdušným kyslíkom. Oxidačné reakcie začínajú vždy na povrchu a postupne sa dostávajú do väčšej hĺbky, čím spôsobujú značné zmeny v štruktúre polymérov, dochádza k vetveniu, prípadne sieťovaniu makromolekúl a tým sa stáva materiál krehkejším a menej pružným. Pri mechanickom a tepelnom namáhaní sa na takto oslabeného materiálu

tvoria trhlínky, ktoré časom spôsobia deštrukciu polyméru. Na zvýšenie odolnosti proti UV žiareniu sa používajú rôzne prípravky zlúčenín, ktoré majú schopnosť meniť UV žiarenie na teplo alebo menej energetické žiarenie, ktoré pevnosť makromolekúl neohrozí. Ich účinnosť je však nižšia. [3]

6.2 Vplyv kyslíku

Vzdušný kyslík spôsobuje degradáciu polymérov, ale v kombinácii so svetlom, teplom, prípadne mechanickým zaťažením môže dochádzať k oxidačným procesom. Pri bežnej teplote a bez pôsobenia svetelného žiarenia sa degradácia, tzv. oxidačné starnutie prejavuje až po veľmi dlhej dobe (rádovo desiatich a viac rokov). Avšak zvýšená teplota oxidačné starnutie významne urýchľuje pričom dochádza k tzv. termoxidácii. Odolnosť proti oxidačnému a tepelno-oxidačnému starnutiu sa dá zvýšiť napr. pridaním vhodných antioxidantov, ktoré znižujú napádanie materiálu kyslíkom. [61] [62] [63]

6.3 Vplyv ozónu

Ozón v koncentráciách zvyčajných na zemskom povrchu len bezvýznamne napadá polyméry. Nebezpečný je však pre kaučuky, predovšetkým nenasýtené kaučuky, ako je prírodný kaučuk, kde je príčinou trhlín na povrchu. [3]

6.4 Vplyv vlhkosti

Voda, v kvapalnej či vo forme vzdušnej vlhkosti, ovplyvňuje vlastnosti a proces starnutia polymérov. Vlhkosť môže pôsobiť priamo na nich alebo na prísady, ktoré sú v nich obsiahnuté. U navlhavých polymérov môže spôsobovať hlavne za vysokej teploty, prípadne kyselín či zásad, hydrolyzu. Absorbovaná voda v polyméry sa prejavuje fyzikálno-chemický účinkom ako je bobtnanie, zmena kryštalinity a pod. Môže pôsobiť ako zmäkčovadlo a tým významne ovplyvniť jeho mechanické vlastnosti a taktiež mení jeho objem. [63]

6.5 Vplyv teploty

V polyméroch, v ktorých nastávajú zmeny vplyvom zvýšeného tepla závisia nie len na druhu polyméru, ale aj na podmienkach pôsobiaceho prostredia. Účinok zvýšenej teploty u polymérov sa môže prejavovať dvoma spôsobmi:

- polymér mäkne, prípadne sa zvýši kinetická energia makromolekulárneho reťazca až do momentu prekonania príťažlivých síl a začne tiecť,

- zmena štruktúry – niektoré makromolekulárne látky sa štiepia na nízko molekulárne produkty, príp. až na monomér bez zmeny chemického zloženia – depolymerujú. Iné odštiepajú nízko molekulárne splodiny, pričom dochádza k zmene chemického zloženia – deštrukcia. Deštrukcia sa môže prejaviť vznikom priečných väzieb medzi reťazcami, čím sa sieťujú. V týchto spomenutých prípadoch hovoríme o degradácii polyméru. [1] [56] [62] [63]

6.6 Skúšky starnutia

Pôsobením vyššie popísaných klimatických podmienok dochádza po určitej dobe k zmenám vlastnosti i vzhľadu polymérnych materiálov. Na zistenie týchto zmien materiálu spôsobených vplyvom klimatických podmienok sa vykonávajú tzv. skúšky starnutia. Tie sú dôležité predovšetkým z pohľadu reálnych aplikácií. Skúšobné teleso je najskôr vystavené klimatickým podmienkam a následne sa porovnávajú s výsledkami neexponovaných skúšobných telies. Vzhľadom k časovej náročnosti sa skúšky starnutia prakticky nerealizujú prirodzenou cestou, ale používa sa hlavne zrýchlené starnutie. [1] [60]

6.6.1 Skúšky prirodzeného starnutia

Skúšky prirodzeného starnutia sú z časového hľadiska veľmi náročné, ale poskytujú skutočné informácie o tom, ako sa bude materiál chovať v určitých klimatických podmienkach. Obmedzujú ich však výsledky platné pre danú geografickú oblasť a majú význam, ak sa vykonajú dlhodobo (minimálne po dobe 3 rokov). Skúšobné teleso sa po odobratí z skúšobného stojanu podrobí vizuálnej kontrole, vyhodnotia sa povrchové a vzhľadové zmeny a ďalšie kritéria pre hodnotenie starnutia (tab. 2). [56] [61]

Tab. 2. Základné kritéria pre hodnotenie starnutia. [56] [61]

Vonkajší vzhľad exponovanej časti	Strata lesku, zmena farby, vznik trhlín, vznik prepادلín čo nerovností, erózia vodou, prachom, prasknutie skúšobného telesa
Hmota	Zmena hmotnosti, úbytok zmäkčovadiel
Rozmery	Zmena dĺžky, šírky, hrúbky, priemeru...
Mechanické vlastnosti	Rázová húževnatosť, pretiahnutie pri pretrhnutí, medza pevnosti v ťahu, medza pevnosti v ohybe
Dielektrické vlastnosti	Povrchový izolačný odpor, objemový elektrický odpor, elektrická priernazná pevnosť
Mechanické vlastnosti exponovaného povrchu	Krehkosť povrchovej vrstvy (vznik trhlín pri ohybe telesa), tvrdosť povrchovej vrstvy

6.6.2 Skúšky zrýchleného starnutia

Úlohou skúšok zrýchleného starnutia je skrátiť skúšku prirodzeného starnutia použitím umelého zosilnenia vybraného faktoru starnutia. Podľa povahy sa dajú tieto skúšky rozdeliť na chemické (napr. stanovenie absorpcie kyslíku) a fyzikálne (napr. zvýšená teplota, vyššia koncentrácia ozónu, zosilnenie svetla). Na prevedenie skúšok zrýchleného starnutia sa používajú klimatické a tepelne šokové komory s možnosťou nastavenia a udržania pracovných faktorov aplikovaných na skúšobné vzorky materiálu po dobu trvania skúšky. Zmeny vlastností skúšobných telies sa hodnotia rovnako ako u skúšok prirodzeného starnutia a porovnajú sa s vlastnosťami neexponovaných skúšobných telies.[61] [63] [64]

II. PRAKTICKÁ ČASŤ

7 CIEĽ DIPLOMOVEJ PRÁCE

Cieľom diplomovej práce je zistenie mechanických vlastností ochranných prvkov z polykarbonátu za bežných ako aj rôznych klimatických podmienok. Materiál bol podrobený statickým (ťah, ohyb) i rázovým skúškam (prieraz, Charpy) podľa príslušných noriem. Boli skúmané rôzne druhy polykarbonátov vyrobených hlavne technológiou vstrekovanie. Získané výsledky boli graficky a štatisticky vyhodnotené.

Vybrané boli 4 druhy polykarbonátu (Makrolon 1260, Makrolon 2207, Samsung Infino SC-1280UR a Lexan Resin ML3729), z ktorých boli vyrobené skúšobné telesá (v tvare lopatiek, obdĺžnikových tyčíniek a štvorcových dosičiek) pomocou vstrekovacieho stroja. Z každého druhu materiálu bola určená sada skúšobných telies na testovanie za klimatických podmienok (zaťaženie s UV žiarením, teplotne-vlhkostné zaťaženie). Na tieto účely boli využité klimatické komory. Mechanické skúšky prebiehali za bežných ako aj znížených teplôt.

Stanovený cieľ diplomovej práce bol rozšírený o testovanie odolnosti zakúpeného obranného prvku z polykarbonátu, ktorý používajú bezpečnostné jednotky napr. pri pouličných nepokojoch – klasický policajný štít od firmy Euro Security Products. Ďalej boli zo štítu vyrobené skúšobné telesá v tvare štvorca, s ktorými bola vykonaná rázová skúška prierazom (pádom) za bežných i klimatických podmienok. Celý priebeh testovania ako aj vyhodnotenie je spracované v samostatnej kapitole 14.

8 POUŽITÉ STROJE A ZARIADENIA

Pri tvorbe diplomovej práce boli použité rôzne stroje a zariadenia, ktoré slúžili na výrobu, prípravu a testovanie skúšobných telies za bežných ako aj klimatických podmienok. Pre prípravu telies za klimatických podmienok bola použitá klimatická komora. Pre vykonanie mechanických skúšok za znížených teplôt bol použitý mraziaci box a klimatická komora. Pre tvorbu snímok a videí bola použitá vysokorýchlostná kamera a digitálna zrkadlovka.

8.1 Vstrekovací stroj ARBURG Allrounder 470C 1500 – 400 GE

Vstrekovací stroj ARBURG Allrounder 470 C Golden Edition od firmy ARBURG je hydraulický stroj, ktorý je vhodný pre výrobu polymérnych dielov z bežných i konštrukčných polymérov. Vstrekovací stroj riadi 32-bitový multiprocessor SELOGICA, s ktorým je umožnené jednoduché programovanie a ovládanie stroja. [66] [67]



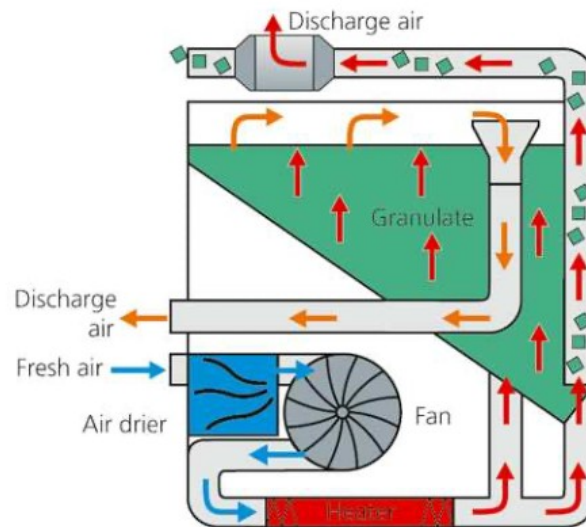
Obr. 39. Vstrekovací stroj ARBURG Allrounder 470C 1500 – 400 GE. [66]

Tab. 3. Technické údaje vstrekovacieho stroja ARBURG Allrounder 470C 1500 – 400 GE [65]

Typ stroja	Allrounder 470C 1500 – 400 GE	
Uzatvárajúca jednotka		
Uzatvárajúca sila	1500	max. kN
Otvárajúca sila / zvýšená otvárajúca sila	35 / 200	max. kN
Otvorenie	500	max. mm
Vzdialenosť medzi vodiacimi stĺpmi	470 x 470	mm
Veľkosť upínajúcej dosky (šírka x výška)	650 x 650	mm
Vyhadzovacia sila	40	max kN
Zdvih vyhadzovača	175	max. mm
Hydraulika, pohon		
Výkon čerpadla	18,5	kW
Celkový príkon stroja	30	kW
Vstrekovacia jednotka		
Priemer závitnice	40	mm
Pomer závitnice	20	L/D
Zdvih závitnice	160	max. mm
Objem dávky	201	max. cm ³
Vstrekovací tlak	2000	max. bar
Vstrekovacia rýchlosť (objemová)	168	max cm ³ s ⁻¹
Krútiaci moment závitnice	550	max. Nm
Prítlačná sila trysky	60	max. kN
Objem násypky	50	l
Olejová náplň a hmotnosť		
Množstvo oleja	235	l
Hmotnosť stroja, bez oleja	4850	kg

8.2 Sušiacia jednotka ARBURG THERMOLIFT 100-2

Vlhkosť v granuláte môže spôsobiť zníženie kvality nie len samotného granulátu, ale aj výsledného produktu. Preto sa na odstránenie prebytočnej vlhkosti používajú sušiacie jednotky, akou je ARBURG THERMOLIFT 100-2.



Obr. 40. Cirkulácia sušiaceho média v sušiacej jednotke ARBURG THERMOLIFT 100-2. [67]

Odstraňovanie prebytočnej vlhkosti prebieha pomocou sušiaceho média, ktorým je čerstvý vzduch alebo znovu cirkulujúci vzduch v uzatvorenom obvode podľa zvoleného módu. Ovláda sa jednoducho pomocou kontrolného panelu, kde sa navolí pomocou tabuľky doba sušenia pre daný polymér. Zariadenie je mobilné, čo umožňuje zásobovanie viac vstrekovacích strojov, avšak maximálne 2 stroje súčasne. Základná verzia ponúka objem 100 litrov granulátu s možnosťou zväčšenia na 200 litrov. [67]



Obr. 41. Sušiaca jednotka ARBURG THERMOLIFT 100-2. [67]

Tab. 4. Technické údaje sušiackej jednotky ARBURG THERMOLIFT 100-2. [67]

Typ stroja	Thermolift 100-2	
Objem zariadenia	100	l
Objem zariadenia s pripojeným kontajnerom	200	l
Prevádzkové napätie	220/240	V
Vyhrievací element	4,5	kW
Ventilátor	0.95	kW
Dopravná výška	3	m
Dopravný tlak	0,055	bar
Zdroj sušiaceho vzduchu	0,74	kW
Celková spotreba energie	5,5	kW
Celková spotreba energie zahŕňajúca zdroj sušiaceho vzduchu	6,2	kW
Množstvo sušiaceho vzduchu	90	m ³ .h ⁻¹
Množstvo obnoveného sušiaceho vzduchu	20	m ³ .h ⁻¹
Prípojka stlačeného vzduchu pro vákuové dopravné riadenie	4–6	bar
Vzduchový filter / menovitý maximálny prietok	180	m ³ .h ⁻¹

8.3 Klimatická komora ANGELANTONI Discovery My DM340

Klimatická komora Discovery My DM340 od Firmy ANGELANTONI je špeciálne navrhnutá pre aplikácie, v ktorých je požadovaná rýchla teplotná zmena. Rovnako je vhodná na vykonanie klimatických skúšok pri ustálených parametroch pri rôznych vlhkosťných a teplotných podmienkach. [68]



Obr. 42. Klimatická komora Discovery My DM340. [68]

Tab. 5. Technické údaje klimatickej komory Discovery My DM340. [68]

Typ stroja	Discovery My DM340	
Vonkajšie rozmery (V x Š x H)	1765 x 875 x 1786	mm
Vnútorne rozmery (V x Š x H)	694 x 601 x 810	mm
Objem	337	l
Teplotný rozsah	-40 - +180	°C
Teplotná fluktuácia	± 0,5 - ±1	K
Teplotná zmena - Ohrievanie	8	K/min
Teplotná zmena - Chladenie	5	K/min
Rozsah vlhkosti	10–98	%
Vlhkostná fluktuácia	± 1 - ± 3	%
Menovitý výkon	9,9	kW
Hmotnosť	820	kg

8.4 Univerzálny stroj ZWICK Roell 1456

ZWICK Roell 1456 od firmy ZWICK je univerzálne zariadenie, na ktorom môžeme vykonať skúšku ťahom, ohybom a tlakom. Toto testovacie zariadenie je navyše vybavené temperačnou komorou, vďaka ktorej je možné vykonať mechanické skúšky za zvýšených alebo znížených teplôt v rozmedzí od -80 °C do +250 °C. Zariadenie je prepojené s počítačom, vďaka ktorému môžeme pomocou testovacieho softwaru TestXpert II jednoducho nastaviť parametre skúšok, získané dáta uložiť a ďalej spracovávať.



Obr. 43. Univerzálny stroj ZWICK Roell 1456. [69]

Tab. 6. Technické údaje univerzálneho stroja ZWICK Roell 1456. [70]

Typ stroja	ZWICK Roell 1456	
Strojová výška	1284	mm
Celková výška	2012	mm
Celková šírka	630	mm
Šírka pracovného priestoru	420	mm
Hmotnosť	150	kg
Maximálna skúšobná sila	20	kN
Maximálna rýchlosť posúvania prierečníku	750	mm.mm ⁻¹

8.5 Rázové kladivo ZWICK Roell HIT50P

Rázovým kladivom ZWICK Roell HIT50P od firmy ZWICK môžeme vďaka výmennému príslušenstvu merať rázové vlastnosti polymérnych materiálov, ako napr. meranie rázovej húževnatosti, vrubovej húževnatosti alebo rázovej, či vrubovej húževnatosti v ťahu. Zariadenie je pripojené k počítaču, kde pomocou testovacieho softwaru TestXpert II môžeme riadiť jednotlivé procesy testovania a zaznamenávať ich výsledky pre ďalšie spracovanie. [71]



Obr. 44. Rázové kladivo ZWICK Roell HIT50P. [71]

Tab. 7. Technické údaje rázového kladiva ZWICK Roell HIT50P. [72]

Typ stroja	ZWICK Roell HIT50P	
Maximálna rázová energia	50	J
Rázová rýchlosť	2,2 – 3,8	m/s
Rozmery (V x Š x H)	1170 x 1080 x 500	mm
Hmotnosť so stolom bez príslušenstva	473	kg
Sieťové napájanie	100 – 240 V, 50/50 HZ, 70W	
Výsledky testovania	nárazová energia, absolútna nárazová energia, rázová húževnatosť	
Ďalšie funkcie	vertikálna poloha kladiva, doba švihy kladiva, korekcia trenia	

8.6 Pádostroj ZWICK Roell HIT230F

Pádostroj ZWICK Roell HIT230F od spoločnosti ZWICK je zariadenie slúžiace pre určenie deformácie plastových materiálov spôsobenou padajúcim tlkom. Zariadenie je ovládané pomocou počítača cez testovací program TestXpert II. Tento program zaznamenáva priebeh testov na základe aktuálne sily pôsojacej na tlk a skúšaný materiál. Prístroj je vhodný na testovanie chovania nie len polymérnych, ale aj rôznych konštrukčný materiálov a súčastí pri zrážkach, pádoch ako aj pre celkové štúdium rázového chovania materiálov. [71]



Obr. 45. Pádostroj ZWICK Roell HIT230F. [71]

Tab. 8. Technické údaje pádostroja ZWICK Roell HIT230F [73]

Typ stroja	ZWICK Roell HIT230F	
Rozmery (V x Š x H)	2600 x 1000 x 600	mm
Maximálna energia	230	J
Výška pádu	110 - 1000	mm
Maximálna dopadová rýchlosť	4,4	m/s
Váha závažia	23,3	kg
Sila uchopenia	6 - 9	kN
Hmotnosť	400	kg
Napájanie	100 - 240	V
Tlak privádzaného stlačeného vzduchu	5 - 8	bar
Spotreba stlačeného vzduchu pri skúške	2	l

8.7 Vysokorýchlostná kamera OLYMPUS i-SPEED FS

Vysokorýchlostná kamera OLYMPUS i-SPEED FS je univerzálna výkonná vysokorýchlostná kamera, ktorá je vhodná na zachytenie aj tých najrýchlejších javov a to vďaka veľmi rýchlej uzávierke 200 ns. Kamera je vybavená 1,3 Mpx snímačom, ktorý poskytuje veľký dynamický rozsah aj pri zhoršených svetelných podmienkach. Na univerzite Tomáša Baťu v Zlíne sa používa ako súčasť snímacieho systému pre vizualizáciu priebehu rázových testov, avšak je vhodná i pre balistiku, k analýze trajektórii striel, toku kvapalín alebo iné ostatné štúdiá ultra rýchlych dejov. [71]



Obr. 46. Vysokorýchlostná kamera OLYMPUS i-SPEED FS [74]

Tab. 9. Technické údaje vysokorýchlostnej kamery OLYMPUS i-SPEED FS [71] [74]

Typ stroja	OLYMPUS i-SPEED FS	
Typ snímača	CMOS	
Rozlíšenie	1280 x 1024	px
Rýchlosť pri plnom rozlíšení	2000	fps
Maximálna rýchlosť nahrávania	1000000	fps
Čas uzávierky	200	ns
Frekvencia snímania	1	MHz
Vnútoraná pamäť	8	GB
Výstup	monochromatický	

8.8 Digitálna zrkadlovka CANON EOS 70D

Digitálna zrkadlovka EOS 70D značky CANON je vybavená APS-C CMOS snímačom o rozlíšení 20,2 Mpx a 3" výklopným dotykovým LCD displejom, na ktorú je možné zakúpiť viacero rozličných objektívov pre nahrávanie videí alebo fotografovanie. [71]



Obr. 47: Digitálna zrkadlovka (telo) CANON EOS 70D. [75]

Tab. 10. Technické údaje digitálnej zrkadlovky CANON EOS 70D [75]

Technické údaje digitálnej zrkadlovky	CANON EOS 70D
Typ snímača	APS-CMOS
Rozlíšenie	20,2 Mpx
Rozlíšenie fotografií	5472 x 3648
Rýchlosť sériového snímania	7 sn./s
ISO – minimálna citlivosť	100
ISO – maximálna citlivosť	25600
Najdlhší expozičný čas	30 s
Najkratší expozičný čas	1/8000 s
Veľkosť displeja	3"
Typ pamäťového média	SD/SDHC/SDXC
Rozlíšenie displeja	FullHD (1920 x 1080)
Snímková frekvencia u videa	30 sn./s
Spôsob napájania	LP-E6 Akumulátor

9 POUŽITÉ MATERIÁLY

Stredobod skúmania diplomovej práce boli vybrané 4 druhy polykarbonátu. Dva od spoločnosti Covestro s obchodným názvom Makrolon 1260 a Makrolon 2207, jeden od spoločnosti Sabic s obchodným názvom LEXAN Resin ML 3729 a jeden od spoločnosti Samsung s obchodným názvom Infino SC-1280UR.

9.1 Polykarbonát Makrolon

Polykarbonáty pod označením Makrolon vyvinul v roku 1953 Hermann Schnell zo spoločnosti Bayer a bol spočiatku zaregistrovaný pod obchodným názvom „Merlon“. Makrolon je všeobecne robustný, odolný voči nárazom, ľahko sa formuje a vykazuje vynikajúcu tepelnú odolnosť s teplotou skleného prechodu až do 148 °C. Vlastnosti použitých polykarbonátov Makrolon 1260 a Makrolon 2207 sú uvedené v tab. 11 a 12. [76]

Tab. 11. Vlastnosti polyméru Makrolon 1260. [76]

Makrolon 1260	Norma	Jednotky	Hodnota
Objemový index toku taveniny 300°C/1,2kg	ISO 1133	cm ³ /10	34
Index toku taveniny	ISO 1133	g/10min	36
Hustota	ISO 1183	g/cm ³	1,2
Zmrštenie	ISO 2577	%	0,5 – 0,7
Absorpcia vody (24h/nasýtený)	ISO 62	%	0,12/0,30
Modul pružnosti v ťahu (1mm/min)	ISO 527-1/-2	MPa	2350
Pevnosť v ťahu (50mm/min)	ISO 527-1/-2	MPa	63
Ťažnosť	ISO 527-1/-2	%	5.8
Modul pružnosti v ohybe	ISO 178	MPa	2350
Pevnosť v ohybe (2mm/min)	ISO 178	MPa	93
Charpy – vrubová húževnatosť +23°C/-30°C	ISO 179-1/eA	kJ/m ²	55P/14C
Doporučené parametre vstrekovania a sušenia			
Teplota sušenia	-	°C	120
Doba sušenia	-	h	4
Teplota taveniny	-	°C	280 - 320
Teplota formy	-	°C	70 - 110

P – čiastočné prerazenie, C – úplne prerazenie

Tab. 12. Vlastnosti polyméru Makrolon 2207. [76]

Makrolon 2207	Norma	Jednotky	Hodnota
Objemový index toku taveniny 300°C/1,2kg	ISO 1133	cm ³ /10	34
Index toku taveniny	ISO 1133	g/10min	37
Hustota	ISO 1183	g/cm ³	1,19
Zmrštenie	ISO 2577	%	0,5 – 0,7
Absorpcia vody (24h/nasýtený)	ISO 62	%	0,12/0,30
Modul pružnosti v ťahu (1mm/min)	ISO 527-1/-2	MPa	2400
Pevnosť v ťahu (50mm/min)	ISO 527-1/-2	MPa	65
Ťažnosť	ISO 527-1/-2	%	6
Modul pružnosti v ohybe	ISO 178	MPa	2350
Pevnosť v ohybe (2mm/min)	ISO 178	MPa	98
Charpy – vrubová húževnatosť +23°C/-30°C	ISO 179-1/eA	kJ/m ²	55P(C)/12C
Doporučené parametre vstrekovania a sušenia			
Teplota sušenia	-	°C	120
Doba sušenia	-	h	4
Teplota taveniny	-	°C	280 - 320
Teplota formy	-	°C	70 - 110

P – čiastočné prerazenie, C – úplne prerazenie

9.2 Polykarbonát Lexan

Polykarbonáty s obchodným názvom Lexan bol vynájdený v roku 1953 (približne rovnako ako Makrolon) Danielom W. Foxom pre firmu General Elekrtrics. Svoje uplatnenie našiel hlavne v stavebníctve, kde sa z neho vyrábajú rôzne druhy platní a krytín. Mnoho značiek výrobcov polykarbonátov si zapožičiava označenie Lexan kvôli svojej kvalite a popularite, avšak pritom poskytujú spotrebiteľom polykarbonát inej značky. Vlastnosti použitého polykarbonátu Lexan Resin ML3729 sú zobrazené v tab. 13. [77]

Tab. 13. Vlastnosti polyméru Lexan Resin ML3729. [78]

Lexan Resin ML3729	Norma	Jednotky	Hodnota
Objemový index toku taveniny 300°C/1,2kg	ISO 1133	cm ³ /10	36
Hustota	ISO 1183	g/cm ³	1,2
Zmrštenie	ISO 2577	%	0,5 – 0,7
Absorpcia vody (24h/nasýtený)	ISO 62	%	0,15/0,30
Modul pružnosti v ťahu (1mm/min)	ISO 527-1/-2	MPa	2300
Pevnosť v ťahu (50mm/min)	ISO 527-1/-2	MPa	60
Ťažnosť	ISO 527-1/-2	%	6
Modul pružnosti v ohybe	ISO 178	MPa	2300
Pevnosť v ohybe (2mm/min)	ISO 178	MPa	85
Charpy – vrubová húževnatosť +23°C/-30°C	ISO 179-1/eA	kJ/m ²	55/11
Doporučené parametre vstrekovania a sušenia			
Teplota sušenia	-	°C	120
Doba sušenia	-	h	2 - 4
Teplota taveniny	-	°C	280 - 300
Teplota formy	-	°C	70 –100

9.3 Polykarbonát Samsung Infino

Polykarbonáty pod označením Samsung Infino boli vyvinuté v chemickej divízie spoločnosti Samsung, ktorá sa nazýva Samsung SDI. V porovnaní s inými komoditnými plastmi, od tejto chemickej divízie, má tento polykarbonát vysokú rázovú odolnosť. Okrem toho disponuje dobrou mechanickou odolnosťou, odolnosťou proti chladu a teplu, stabilnými optickými vlastnosťami a vyváženými elektrickými vlastnosťami. Vlastnosti použitého polykarbonátu Samsung Infino SC-1280UR sú uvedené v tab. 14. [79]

Tab. 14. Vlastnosti polykarbonátu Samsung Infino SC-1280UR. [79]

Samsung Infino SC-1280UR	Norma	Jednotky	Hodnota
Index toku taveniny 300°C, 1,2kg	ISO 1133	g/10min	28
Hustota	ASTM D792	g/cm ²	1,2
Zmrštenie	ASTM D955	%	0,5 – 0,7
Absorpcia vody	ASTM D570	%	0,2
Pevnosť v ťahu (50mm/min)	ISO 527-1/-2	MPa	64
Ťažnosť	ISO 527-1/-2	%	6,5
Modul pružnosti v ohybe	ISO 178	MPa	2300
Pevnosť v ohybe (2mm/min)	ISO 178	MPa	90
Charpy – vrubová húževnatosť	ISO 179-1/eA	kJ/m ²	50

10 VÝROBA A PŘÍPRAVA SKÚŠOBNÝCH TELIES

Na výrobu skúšobných telies bol použitý vstrekovací stroj ARBURG Allrounder 470C a sušiaca jednotka ARBURG THERMOLIT 100-02, pomocou ktorej bol granulát vysušený a dopravený do násypky vstrekovacieho stroja. Zo spomenutých polykarbonátov boli vyrobené nasledujúce skúšobné telesá:

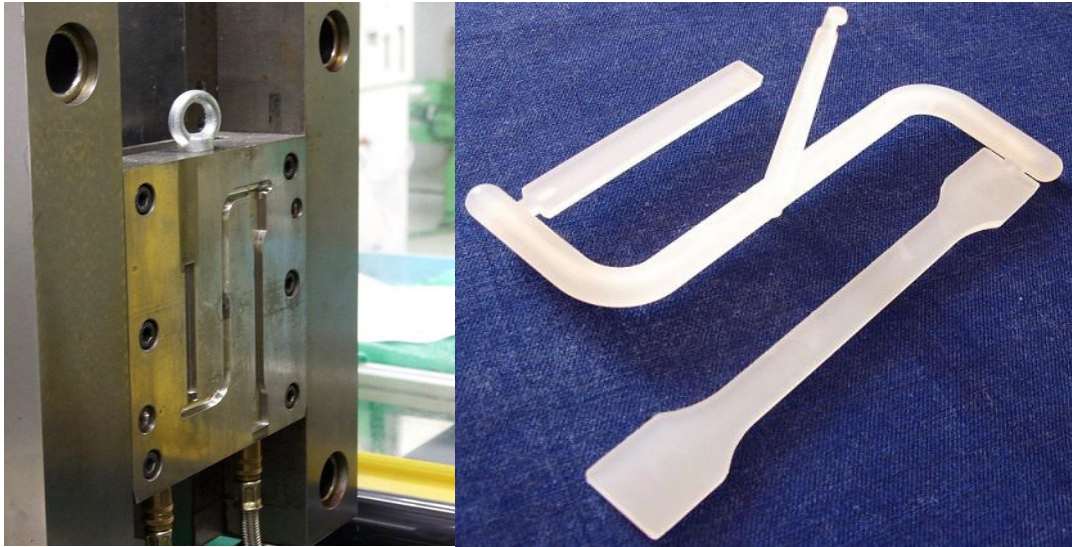
- lopatiek - podľa normy ČSN EN ISO 527 pre skúšku v ťahu,
- tyčínok o rozmeroch 80 x 10 x 4 mm pre skúšku vrubovej húževnatosti Charpyho metódou, skúšku ohybom a pre skúšku rázovej húževnatosti v ťahu,
- štvorcových doštičiek o rozmeroch 100 x 100 x 3 mm pre skúšku padajúceho tíku (skúška pádom/prierazom).

10.1 Parametre vstrekovania

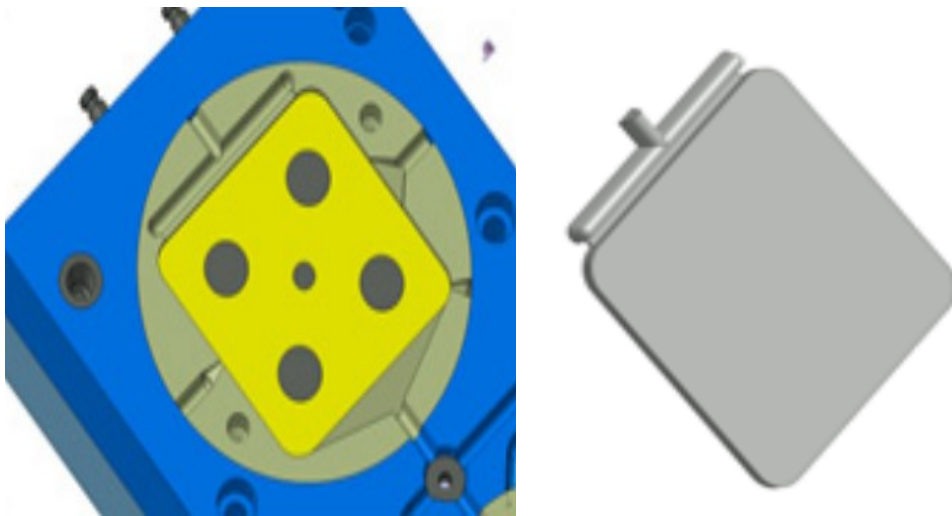
Jednotlivé skúšobné telesá boli vyrobené vo dvoch vstrekovacích formách na vstrekovacom stroji ARBURG Allrounder 470C podľa nasledujúcich parametrov v tab. 15.

Tab. 15. Parametre vstrekovania skúšobných telies.

	Doštička 100 x 100 x 3 mm	Lopátka 10 x 4 mm Tyčinka 10 x 4 mm
Vstrekovacia rýchlosť [mm/s]	40	40
Vstrekovací tlak [Mpa]	100	50
Dráha dávkovania [mm]	55	28
Dráha prepnutia [mm]	10	10
Rýchlosť pri dotlaku [mm/s]	70	70
Tlak pri dotlaku [Mpa]	80	30
Doba dotlaku [s]	15	15
Doba chladenia [s]	25	45
Teplota formy [°C]	90	90
Teplota valca 1 [°C]	285	285
Teplota valca 2 [°C]	290	290
Teplota valca 3 [°C]	295	295
Teplota valca 4 [°C]	300	300
Teplota trysky [°C]	300	300



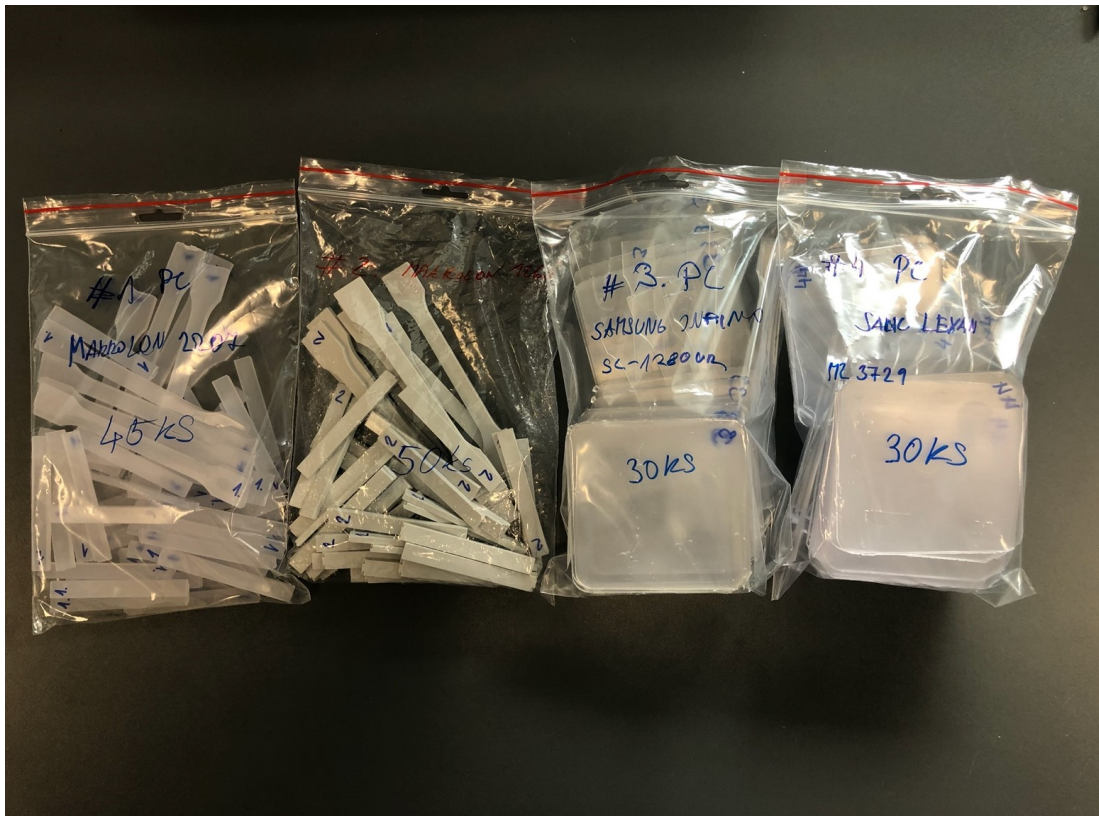
Obr. 48. Vstrekovacia forma na výrobu skúšobných telies v tvare lopatky a tyčinky.



Obr. 49. Vstrekovacia forma na výrobu skúšobných telies v tvare dosičky.

10.2 Příprava skúšobných telies

Po vstrekaní a vychladnutí vstrekov boli nepotrebné zvyšky na skúšobných telesách odstránené. Následne boli skúšobné telesá systematicky popísané a rozdelené pre nasledujúce mechanické skúšky. Pod číslom 1 je označený Makrolon 2207, pod číslom 2 je označený Makrolon 1260, pod číslom 3 je označený Samsung Infino SC-1280UR a pod číslom 4 Lexan Resin ML3729.



Obr. 50. Rozdelené skúšobné telesá pre jednotlivé mechanické skúšky.

Pre skúšku vrubovej húževnatosti metódou Charpy boli skúšobné telesá v tvare tyčíniek opatrené vrubom v tvare V o hĺbke 2 mm. Skúšobné telesá pre skúšku rázovej húževnatosti v ťahu a ohybom mali vrub v tvare V o hĺbke 2 mm podľa normy z obidvoch strán. Vruby boli vytvorené pomocou ručnej vrubovačky s mikrometrom CEAST NotchVis.



Obr. 51. Ručná vrubovačka s mikrometrom CEAST NotchVis. [80]

10.3 Starnutie skúšobných telies

Z každého druhu materiálu boli vyhradené skúšobné telesá pre starnutie a následne jeden z nich bol vložený do dvoch klimatických komôr Discovery My DM340. V nich boli skúšobné telesá vystavené klimatickým podmienkam pre série mechanických skúšok nasledovne:

- zaťaženie s UV žiarením - 14 dní 40 °C/ 50% relatívna vlhkosť pri pôsobení UV žiarenia,
- teplotne-vlhkostné zaťaženie - 14 dní 95 °C/90% relatívna vlhkosť, 14 dní 100 °C, 1 deň 25 °C/50 %.



Obr. 52. Skúšobné telesá uložené v klimatickej komore.

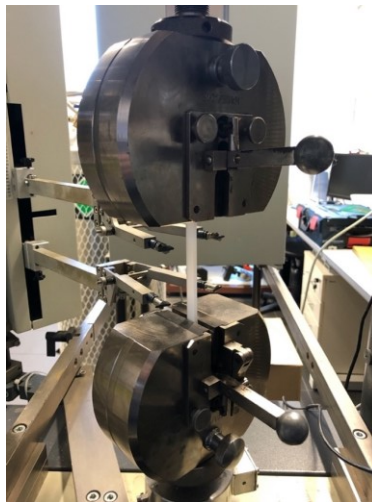
Po skončení procesu starnutia a vytiahnutí jedného materiálu z klimatických komôr boli do klimatických komôr vložené skúšobné telesá ďalšieho materiálu a celý proces sa zopakoval. Po vytiahnutí skúšobných telies z klimatických komôr boli telesá kondicionované pri 23 °C/± 2 °C a vlhkosti približne 50 %/ ± 5 %. Po kondicionovaní boli skúšobné telesá pripravené na vykonanie mechanických skúšok. Pre mechanické skúšky za znížených teplôt boli skúšobné telesá vložené do mraziaceho boxu a vystavené 24 hod. teplote – 20 °C/ ± 2 °C. Skúšobné telesá pre skúšku padajúcim tlakom za zníženej teploty boli vložené do klimatickej komory a vystavené 24 hod. teplote – 40 °C/ ± 2 °C.

11 POPIS VYKONANÝCH MECHANICKÝ SKÚŠOK

Mechanická skúška v ťahu ČSN EN ISO 527 a trojbodovým ohybom ČSN EN ISO 178 prebiehali na testovacom zariadení ZWICK ROEL 1456. Skúška rázom v ohybe Charpyho kladivom ČSN EN 179 sa vykonala na stroji ZWICK ROELL HIT50P, kde prebehla tiež skúška rázom v ťahu podľa ČSN EN ISO 8256. Na vykonanie rázovej skúšky prierazom (pádom) ČSN EN ISO 6603 bol použitý pádostroj ZWICK ROELL HIT230F.

11.1 ČSN EN ISO 527 – Stanovenie ťahových vlastností – Skúška v ťahu

Stanovenie ťahových vlastností prebiehalo podľa normy ČSN EN ISO 527 na univerzálnom testovacom zariadení ZWICK ROEL 1456, ktoré je opatrené mechanickými čeľusťami. Pomocou testovacieho softwaru TestXpert II na počítači sa nastavali parametre testovania ako počiatočná vzdialenosť medzi čeľusťami (115 ± 1 mm), počiatočná vzdialenosť medzi extenzometrami ($50 \pm 0,5$ mm) a aj rýchlosť posuvu priečnikov. Kým sa nezmeral modul pružnosti bola rýchlosť posuvu priečnikov 1 mm/min a následne sa zrýchlila na 50 mm/min až do ukončenia skúšky - pretrhnutím skúšobného telesa a prebiehala pri $+23 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Z každého druhu materiálu bola vykonaná séria skúšok po 10 ks základnými skúšobnými telesami a skúšobnými telesami vystavených vplyvom starnutia nastavených v klimatekovej komore.



Obr. 53. Upnuté skúšobné teleso v čeľustiach univerzálného skúšobného stroja ZWICK Roell 1456.

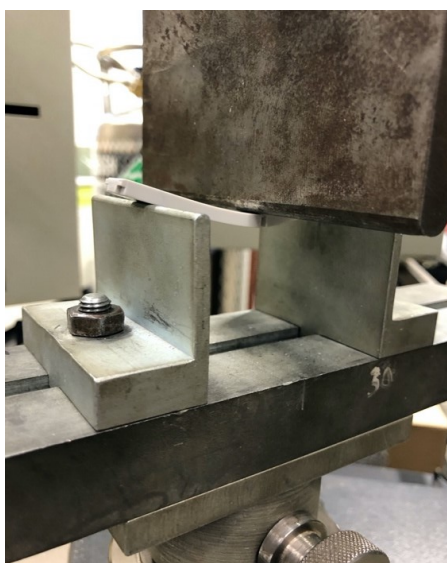
Priebeh merania:

- 1) Testovací stroj ZWICK Roell 1456 bol nastavený na testovanie v ťahu – počiatočná poloha čeľustí, nastavenie rýchlosti posuvu čeľustí atď.

- 2) Skúšobné teleso v tvare lopatky bolo upnuté do stredu čeľustí testovacieho stroja a bola spustená skúška pomocou testovacieho softwaru TestExpert II.
- 3) Po skončení skúšky boli získane dáta prenesené do počítača, roztrhnuté skúšobné teleso odstránené z čeľustí a nastavené do počiatočnej polohy pomocou testovacieho softwaru TestExpert II.
- 4) Po nastavení počiatočnej polohy čeľustí a upnutí ďalšieho skúšobného telesa do čeľustí bol testovací stroj pripravený na vykonanie ďalšej skúšky.

11.2 ČSN EN ISO 178 – Stanovenie ohybových vlastností – Skúška v ohybe

Skúška v trojbodovom ohybe bola vykonaná podľa normy ČSN EN ISO 178 taktiež na univerzálnom testovacom stroji ZWICK Roell 1456. Spodná statická časť čeľustí bola vymenená za podpery s priemerom 4 mm a s pracovnou dĺžkou 64 mm a vrchná dynamická časť za zaťažovací trň s polomerom 10 mm. Následne bola nastavená počiatočná poloha zaťažovacieho trňa a jeho rýchlosť posuvu na hodnotu 10 mm/min pomocou testovacieho softwaru testXpert. Rýchlosť posuvu bola do zmerania modulu 1mm/min a následne sa zrýchlila na 10 mm/min až do konca skúšky. Skúška bola ukončená prasknutím skúšobného telesa spôsobeným ohybom skúšobného telesa a prebiehala pri $+23\text{ }^{\circ}\text{C} / \pm 2^{\circ}\text{C}$. Z každého druhu materiálu bola vykonaná séria skúšok po 10 ks základnými skúšobnými telesami a skúšobnými telesami vystavených vplyvom starnutia nastavených v klimateckej komore.



Obr. 54. Priebeh skúšky v trojbodovom ohybe na univerzálnom testovacom stroji ZWICK Roell 1456.

Priebeh merania:

- 1) Testovací stroj ZWICK bol nastavený na testovanie v trojbodovom ohybe – výmena čelustí za podpery a zaťažovací trň, nastavenie počiatočnej polohy zaťažovacieho trňa atď.
- 2) Skúšobné teleso v tvare tyčinky opatrené s obojstranným vrubom bolo umiestnené, tak aby zaťažovací trň tlačil do stredu skúšobného telesa a následne bola spustená skúška pomocou testovacieho softwaru TestXpert II.
- 3) Po skončení skúšky boli získané dáta prenesené do počítača, zaťažovací trň sa vrátil automaticky späť do počiatočnej polohy a tým bol testovací stroj pripravený na ďalšiu skúšku.

11.3 ČSN EN 179 – Skúška rázom v ohybe – Meranie vrubovej húževnatosti metódou Charpy

Meranie vrubovej húževnatosti metódou Charpy podľa normy ČSN EN ISO 179 bolo realizované rázovým kladivom ZWICK HIT50 o menovitej energii 50 J s dopadovou rýchlosťou 3,8 m/s. Pomocou testovacieho softwaru testXpert II sa nastavili parametre testovania a tiež bola vykonaná kalibrácia kladiva (spustenie na prázdno) pre stanovenie kompenzácie strát trením v jeho uložení. Z každého druhu materiálu bola vykonaná séria skúšok po 10 ks základnými skúšobnými telesami a skúšobnými telesami vystavených vplyvom starnutia nastavených v klimatickej komore. Prebiehali za normálnej teploty pri $+23\text{ °C}/\pm 2\text{ °C}$ a za zníženej teploty pri $-20\text{ °C}/\pm 2\text{ °C}$ (24 hod. v mraziacom boxe).



Obr. 55. Skúšobné teleso s V vrubom – meranie vrubovej húževnatosti Charpyho metódou.

Priebeh merania:

- 1) Po nastavení a kalibrácii rázového kladiva sa umiestnilo skúšobné teleso v tvare tyčinky s vrubom v smere kyvu kladiva na pevné podpery a opory testovacieho zariadenia.
- 2) Vrub skúšobného kladiva bol vycentrovaný na stred medzi podperami pomocou vyrovnávajúcej ručičky.
- 3) Po uzatvorení bezpečnostného krytu bolo spustené rázové kladivo a po prerazení skúšobného telesa bolo zastavené brzdou.
- 4) Rázové kyvadlo bolo vrátené do svojej polohy, pripravené na ďalšie meranie a získané dáta zo skúšky boli prenesené do počítača.

11.4 ČSN EN ISO 8256 – Skúška rázovej húževnatosti v ťahu

Skúška rázovej húževnatosti v ťahu podľa normy ČSN EN ISO 8256 bola realizovaná taktiež rázovým kladivom ZWICK HIT50, ale o menovitej energie 15 J a dopadovou rýchlosťou 3,8 m/s. Podobne ako u meraní vrubovej húževnatosti rázom v ohybe boli pomocou testovacieho softwaru testXpert II nastavené parametre testovania a tiež bola vykonaná kalibrácia kladiva (spustenie na prázdno) pre stanovenie kompenzácie strát trením v jeho uložení. Z každého druhu materiálu bola vykonaná séria skúšok po 10 ks základnými skúšobnými telesami a skúšobnými telesami vystavených vplyvom starnutia nastavených v klimateckej komore. Prebiehali za normálnej teploty pri $+23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ a za zníženej teploty $-20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ (24 hod. v mraziacom boxe).



Obr. 56. Skúšobné teleso upevnené v priečniku podľa ČSN EN ISO 8256.

Postup merania:

- 1) Po nastavení a kalibrácii rázového kladiva sa umiestnilo skúšobné teleso v tvare tyčinky s vrubom na obidvoch stranách do pričnicku o hmotnosti 30g pomocou špeciálneho nástroja.
- 2) Skúšobné teleso s pričnikom bolo vložené do stojanu a následne upnuté do čeľustí.
- 3) Po uzatvorení bezpečnostného krytu bolo spustené rázové kladivo a po prerazení skúšobného telesa bolo zastavené brzdou.
- 4) Rázové kyvadlo bolo vrátené do svojej polohy, pripravené na ďalšie meranie a získané dáta zo skúšky boli prenesené do počítača.

11.5 ČSN EN ISO 6603 – stanovenie chovania tuhých plastov pri viacsom rázovom namáhaní – Metóda padajúceho tíku

Metóda padajúceho tíku (skúška prierazom/pádom) sa uskutočnila podľa normy ČSN EN ISO 6603 na pádostroji ZWICK Roell HIT230F, ktorého menovitá energia tíku bola 230 J. Testovacím softwarom testXpert II sa nastavili parametre testovania a následne boli vykonané skúšky. Z každého druhu materiálu bola vykonaná séria skúšok po 10 ks základnými skúšobnými telesami a skúšobnými telesami vystavených vplyvom starnutia nastavených v klimatickej komore. Prebiehali za normálnej teploty pri $+23\text{ °C} / \pm 2\text{ °C}$, za zníženej teploty pri $-20\text{ °C} / \pm 2\text{ °C}$ (24 hod. v mraziacom boxe) a za zníženej teploty pri $-40\text{ °C} / \pm 2\text{ °C}$ (24 hod. v klimatickej komore).

Priebeh merania:

- 1) Po nastavení pádostroja sa umiestnilo skúšobné teleso v tvare štvorcovej doštičky na podporu tak, aby padajúci tík dopadol do stredu skúšobného telesa.
- 2) Následne bol uvoľnený padajúci tík smerujúci do stredu skúšobného telesa a behom prieniku piezoelektrický snímač zaznamenal silu, ktorá pôsobí na skúšobné teleso.
- 3) Padajúci tík sa automaticky po vykonaní skúšky vrátil do pôvodnej výšky, aby bol pádostroj pripravený na ďalšie meranie a získané dáta boli prenesené do počítača.

12 VYHODNOTENIE DÁT Z VYKONANÝCH MECHANICKÝCH SKÚŠOK

Vyhodnotenie dát z vykonaných mechanických skúšok bolo spracované štatisticky (v súlade so štatistickou normou ČSN EN ISO 2602) a to pomocou programu MS Excel 2010. Pre štatistické vyhodnotenie sa využíva štatistický súbor, ktorý tvorí určitý počet meraní n . Na základe veľkosti tohoto štatistického súboru sa odvíja presnosť merania a preto sa pre správnosť merania odporúča počet meraní n minimálne desať. [81]

Kvantil je hodnota, ktorá rozdeľuje štatistický súbor dát na 2 časti – na časť obsahujúcu hodnoty menšie (alebo rovnaké) než je hodnota kvantilu a na časť obsahujúcu hodnoty väčšie (alebo rovnaké). Takýto kvantil rozdeľujúci štatistický súbor na 2 časti sa označuje ako medián, ktorý sa považuje za strednú hodnotu nepárneho súboru dát a z párneho je to aritmetický priemer dvoch hodnôt. Medián nie je závislý na veľkosti štatistického súboru, čo ma za výhodu odstránenie vychýlených hodnôt a tým sa neovplyvňuje výsledný odhad aritmetického priemeru X . [81]

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (9)$$

Odhad rozptylu nameraných hodnôt, tiež známy ako výberový rozptyl $s^2(x_i)$, sa stanovuje pomocou vzťahu: [81]

$$s^2(x_i) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X)^2}{n - 1} \quad (10)$$

Smerodajnú odchýlku $s(x_i)$, ktorá charakterizuje rozptyl nameraných hodnôt okolo výberového priemeru X získame odmocnením výberového rozptylu. Rozptyl výberových priemerov $s^2(X)$ sa určuje na základe vzťahu: [81]

$$s^2(X) = \frac{s^2(x_i)}{n} \quad (11)$$

Smerodajná odchýlka výberových priemerov $s^2(X)$ je stanovená ako štandardná neistota typu A, ktorá sa označuje u_A . Táto neistota je spôsobená náhodnými chybami, ktoré sú zapríčinené vo všeobecnosti neznámou príčinou. Zisťuje sa štatistickou analýzou zo série pozorovania, ktoré je tvorené opakovaným meraním rovnakej hodnoty meranej veličiny s rovnakými podmienkami a klesá so stúpajúcim počtom opakovaných meraní. [81]

$$u_A \equiv s(\bar{X}) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n \times (n - 1)} \quad (12)$$

V prípade, že je tento počet opakovaných meraní menší ako desať a nie je možné stanoviť kvalifikovaný odhad na základe skúseností, stanoví sa korigovaná neistota u_{Ak} vzťahom: [81]

$$u_{Ak} = k \times s(X) \quad (13)$$

K je koeficient závislý na počte opakovaných meraní, ktorý sa dosadí z nasledujúcej tabuľky. [81]

Tab. 16. Hodnoty korekčných koeficientov pre rôzne počty opakovaných meraní. [81]

n	9	8	7	6	5	4	3	2
k	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,7	2,3	7

12.1 Vyhodnotenie dát ČSN EN ISO 527 – Stanovenie ťahových vlastností – Skúška v ťahu

12.1.1 Vyhodnotenie dát základných skúšobných telies testovaných za normálnej teploty pri 23 °C

Maximálna sila F_{max}

Tab. 17. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} v ťahu vybraných PC materiálov zo základných skúšobných telies test. pri 23 °C.

Základné skúšobné telesá testované pri 23 °C						
Maximálna sila F_{max} [N]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC – Makrolon 2207	2613,9	2608,4	3,0	4,1	2597,4	2644,5
2 - PC – Makrolon 1260	2404,4	2405,4	10,0	3,2	2389,0	2419,6
3 - PC – Samsung Infino SC-1280UR	2536,0	2536,8	7,2	2,3	2527,2	2553,2
4 - PC – Sabic Lexan Resin ML3729	2469,8	2469,2	4,9	1,5	2463,0	2482,4

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} v ťahu materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $2613,9 \pm 3$ N, naopak najnižšiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} v ťahu dosiahol materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $2404,4 \pm 10$ N. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles o 8 %.

Modul pružnosti E Tab. 18. Štatistické vyhodnotenie modulu pružnosti E v ťahu vybraných druhov PC zo základných skúšobných telies test. pri 23 °C.

Základné skúšobné telesá testované pri 23 °C						
Modul pružnosti E [MPa]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	2619,6	2626,9	25,1	7,9	2583,1	2647,4
2 - PC - Makrolon 1260	2461,0	2483,4	36,9	11,7	2411,9	2503,0
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	2577,6	2576,3	26,4	8,4	2537,8	2617,1
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	2561,1	2563,5	35,8	11,3	2501,4	2617,8

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu modulu pružnosti E v ťahu materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $2619,6 \pm 25,1$ MPa. naopak najnižšiu priemernú hodnotu modulu pružnosti E v ťahu dosiahol materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $2461,0 \pm 36,9$ MPa. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 6 %.

12.1.2 Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – zaťaženie s UV žiarením – testované pri 23 °C

Maximálna sila F_{max} Tab. 19. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} v ťahu vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri 23 °C.

14 dní 40 °C/ 50% relatívna vlhkosť pri pôsobení UV žiarenia - testované pri 23 °C						
Maximálna sila F_{max} [N]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC – Makrolon 2207	2632,3	2632,4	6,6	2,1	2619,6	2641,9
2 - PC – Makrolon 1260	2419,9	2421,2	6,9	2,2	2407,3	2429,1
3 - PC – Samsung Infino SC-1280UR	2559,1	2559,9	4,8	1,5	2549,2	2565,3
4 - PC – Sabic Lexan Resin ML3729	2496,3	2495,6	5,1	1,6	2490,3	2503,4

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} v ťahu materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $2632,3 \pm 6,6$ N, naopak najnižšiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} v ťahu dosiahol materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $2419,9 \pm 6,9$ N. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 8 %.

Modul pružnosti E

Tab. 20. Štatistické vyhodnotenie modulu pružnosti E v ťahu vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri 23 °C.

14 dní 40 °C/ 50% relatívna vlhkosť pri pôsobení UV žiarenia - testované pri 23 °C						
Modul pružnosti E [MPa]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	2382,4	2386,8	88,5	28,0	2242,2	2524,7
2 - PC - Makrolon 1260	2308,9	2306,3	67,7	21,4	2200,2	2392,3
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	2424,2	2422,8	92,8	29,3	2296,3	2599,6
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	2443,2	2444,2	91,2	28,8	2304,2	2615,0

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu modulu pružnosti E v ťahu materiál 4 – PC – Sabic Lexan Resin ML3729 s hodnotou $2443,2 \pm 91,2$ MPa, naopak najnižšiu priemernú hodnotu modulu pružnosti E v ťahu dosiahol materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $2308,9 \pm 67,7$ MPa. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 5,5%.

12.1.3 Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – teplotne-vlhkostné zaťaženie – testované pri 23 °C

Maximálna sila F_{max}

Tab. 21. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} v ťahu vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri 23 °C.

14 dní 95 °C/ 90% relatívna vlhkosť, 14 dní 100 °C, 1 deň 25 °C/50% - testované pri 23 °C						
Maximálna sila F_{max} [N]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC – Makrolon 2207	2056,0	1990,9	126,6	40,0	1911,9	2277,7
2 - PC – Makrolon 1260	2829,1	2838,6	29,9	9,5	2745,1	2846,3
3 - PC – Samsung Infino SC-1280UR	3092,4	3095,4	15,5	4,9	3061,1	3111,0
4 - PC – Sabic Lexan Resin ML3729	3010,0	3008,8	2,8	0,9	3006,1	3014,1

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} v ťahu materiál 3 – PC – Samsung Infino SC-1289UR s hodnotou $3010,0 \pm 2,8$ N, naopak najnižšiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} v ťahu dosiahol materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $2056,0 \pm 126,6$ N. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 31,6 %.

Modul pružnosti E

Tab. 22. Štatistické vyhodnotenie modulu pružnosti E v ťahu vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri 23 °C.

14 dní 95 °C/90% relatívna vlhkosť, 14 dní 100 °C, 1 deň 25 °C/50% - testované pri 23 °C						
Modul pružnosti E [MPa]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	2351,9	2355,8	149,6	47,3	2069,6	2580,1
2 - PC - Makrolon 1260	2243,9	2253,5	72,6	23,0	2137,5	2344,1
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	2346,8	2370,0	118,8	37,6	2100,3	2503,8
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	2302,9	2325,3	129,9	41,1	2117,2	2471,0

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu modulu pružnosti E v ťahu materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $2351,9 \pm 149,6$ MPa, naopak najnižšiu priemernú hodnotu modulu pružnosti E v ťahu dosiahol materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $2243,9 \pm 72,6$ MPa. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 4,6 %.

12.2 Vyhodnotenie dát ČSN EN ISO 178 – Stanovenie ohybových vlastností – Skúška v ohybe

12.2.1 Vyhodnotenie dát základných skúšobných telies testovaných za normálnej teploty pri 23 °C

Maximálna sila F_{max}

Tab. 23. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} v ohybe vybraných PC materiálov zo základných skúšobných telies a test. pri 23 °C.

Základné skúšobné telesá testované pri 23 °C						
Maximálna sila F_{max} [N]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	122,0	121,5	2,5	0,8	119,0	126,0
2 - PC - Makrolon 1260	110,0	110,0	0,6	0,2	109,0	111,0
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	115,9	116,0	0,3	0,1	115,0	116,0
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	113,0	113,0	0,8	0,2	112,0	114,0

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} v ohybe materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $122,0 \pm 2,5$ N, naopak najnižšiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} v ťahu dosiahol materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $110,0 \pm 0,6$ N. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 9,8 %.

Modul pružnosti E

Tab. 24. Štatistické vyhodnotenie modulu pružnosti E v ohybe vybraných druhov PC zo základných skúšobných telies a test. pri 23 °C.

Základné skúšobné telesá testované pri 23 °C						
Modul pružnosti E [MPa]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	1720,0	1660,0	253,3	80,1	1440,0	2210,0
2 - PC - Makrolon 1260	2505,0	2535,0	263,7	83,4	1970,0	2780,0
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	2791,3	2850,0	185,4	58,6	2370,0	3010,0
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	2791,7	2825,0	169,6	53,6	2530,0	3000,0

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu modulu pružnosti E v ohybe materiál 4 – PC – Sabix Lexan Rexin ML3729 s hodnotou $2791,7 \pm 169,6$ MPa, naopak najnižšiu priemernú hodnotu modulu pružnosti E v ťahu dosiahol materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $1720,0 \pm 253,3$ MPa. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 38,4 %.

12.2.2 Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia –zaťaženie s UV žiarením – testované pri 23 °C

Maximálna sila F_{max}

Tab. 25. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} v ohybe vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri 23 °C.

14 dní 40 °C/ 50% relatívna vlhkosť pri pôsobení UV žiarenia - testované pri 23 °C						
Maximálna sila F_{max} [N]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	119,4	119,0	0,5	0,2	119,0	120,0
2 - PC - Makrolon 1260	110,2	110,0	0,4	0,1	110,0	111,0
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	116,6	116,0	0,8	0,3	116,0	118,0
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	114,2	114,0	1,0	0,3	113,0	116,0

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} v ohybe materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $119,4 \pm 0,5$ N, naopak najnižšiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} v ťahu dosiahol materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $110,2 \pm 0,4$ N. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 7,7 %.

Modul pružnosti E

Tab. 26. Štatistické vyhodnotenie modulu pružnosti E v ohybe vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri 23 °C.

14 dní 40 °C/ 50% relatívna vlhkosť pri pôsobení UV žiarenia - testované pri 23 °C						
Modul pružnosti E [MPa]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	3437,5	3420,0	294,8	93,2	3090,0	3820,0
2 - PC - Makrolon 1260	3372,5	3495,0	251,3	79,5	2940,0	3560,0
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	3427,5	3640,0	446,5	141,2	2660,0	3770,0
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	3430,0	3540,0	270,9	85,7	2970,0	3670,0

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu modulu pružnosti E v ohybe materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $3437,5 \pm 294,8$ MPa, naopak najnižšiu priemernú hodnotu modulu pružnosti E v ťahu dosiahol materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $3372,5 \pm 251,3$ MPa. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 1,9 %.

12.2.3 Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – teplotne-vlhkostné zaťaženie – testované pri 23 °C

Maximálna sila F_{max}

Tab. 27. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} v ohybe vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri 23 °C.

14 dní 95 °C/ 90% relatívna vlhkosť, 14 dní 100 °C , 1 deň 25 °C/50% - testované pri 23 °C						
Maximálna sila F_{max} [N]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	75,3	72,2	5,1	1,6	70,3	81,7
2 - PC - Makrolon 1260	123,8	124,0	0,7	0,2	123,0	125,0
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	96,7	96,0	2,6	0,8	93,8	101,0
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	99,5	97,8	2,9	0,9	96,4	103,0

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} v ohybe materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $123,8 \pm 0,7$ N, naopak najnižšiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} v ťahu dosiahol materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $75,3 \pm 5,1$ N. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 39,2 %.

Modul pružnosti E

Tab. 28. Štatistické vyhodnotenie modulu pružnosti E v ohybe vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri 23 °C.

14 dní 95 °C/90% relatívna vlhkosť, 14 dní 100 °C, 1 deň 25 °C/50% - testované pri 23 °C						
Modul pružnosti E [MPa]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	3286,0	3490,0	450,3	142,4	2730,0	3820,0
2 - PC - Makrolon 1260	3204,0	3420,0	374,6	118,4	2710,0	3550,0
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	3440,0	3570,0	380,9	120,5	2810,0	3810,0
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	3508,0	3730,0	469,3	148,4	2570,0	3770,0

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu modulu pružnosti E v ohybe materiál 4 – PC – Sabic Lexan Resin ML3729 s hodnotou $3508,0 \pm 469,3$ MPa, naopak najnižšiu priemernú hodnotu modulu pružnosti E v ťahu dosiahol materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $3204,0 \pm 374,6$ MPa. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 8,7 %.

12.3 Vyhodnotenie dát ČSN ISO EN 179 – Skúška rázom v ohybe – Meranie vrubovej húževnatosti metódou Charpy

12.3.1 Vyhodnotenie dát základných skúšobných telies testovaných za normálnej teploty pri 23 °C

Maximálna sila F_{max}

Tab. 29. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} Charpy vybraných PC materiálov zo základných skúšobných telies test. pri 23 °C.

Základné skúšobné telesá testované pri 23 °C						
Maximálna sila F_{max} [N]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	391,8	393,5	15,0	4,7	367,0	419,7
2 - PC - Makrolon 1260	492,9	484,4	20,8	6,6	474,3	532,0
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	426,2	430,1	26,1	8,2	394,4	466,5
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	453,9	437,4	28,0	8,8	417,9	495,0

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} Charpy materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $492,9 \pm 20,8$ N, naopak najnižšiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} Charpy dosiahol materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $391,8 \pm 15,0$ N. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 20,5 %.

Vrubová húževnatosť a_k Tab. 30. Štatistické vyhodnotenie vrubovej húževnatosti a_k Charpy vybraných PC materiálov zo základných skúšobných telies test. pri 23 °C.

Základné skúšobné telesá testované pri 23 °C						
Vrubová húževnatosť a_k [kJ/m ²]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	6,6	6,9	0,8	0,3	5,1	7,7
2 - PC - Makrolon 1260	15,4	15,6	1,0	0,3	13,8	16,7
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	10,8	10,6	0,6	0,2	10,2	12,1
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	10,6	10,5	0,5	0,2	10,0	11,6

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu vrubovej húževnatosti a_k Charpy materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $6,6 \pm 0,8$ kJ/m², naopak najnižšiu priemernú hodnotu vrubovej húževnatosti a_k Charpy dosiahol materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $6,6 \pm 0,8$ kJ/m². Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 57 %.

12.3.2 Vyhodnotenie dát základných skúšobných telies testovaných za zníženej teploty pri -20 °C**Maximálna sila F_{max}** Tab. 31. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} Charpy vybraných PC materiálov zo základných skúšobných telies test. pri -20 °C.

Základné skúšobné telesá testované pri -20 °C						
Maximálna sila F_{max} [N]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	436,1	427,6	26,7	8,4	407,8	486,3
2 - PC - Makrolon 1260	443,0	450,8	28,0	8,9	398,4	476,3
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	430,5	420,2	29,2	9,2	405,9	496,8
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	434,0	430,1	27,6	8,7	403,4	491,5

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} Charpy materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $443,0 \pm 28,0$ N, naopak najnižšiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} Charpy dosiahol materiál 3 – PC – Samsung Infino SC-1280UR s hodnotou $430,5 \pm 29,2$ N. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 2,8 %.

Vrubová húževnatosť a_k Tab. 32. Štatistické vyhodnotenie vrubovej húževnatosti a_k Charpy vybraných PC materiálov zo základných skúšobných telies test. pri -20 °C.

Základné skúšobné telesá testované pri -20 °C						
Vrubová húževnatosť a_k [kJ/m ²]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	7,3	7,2	0,6	0,2	6,9	9,2
2 - PC - Makrolon 1260	10,7	10,7	0,6	0,2	9,8	12,2
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	10,3	10,2	0,4	0,1	10,0	11,2
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	10,2	10,1	0,4	0,1	9,4	11,1

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu vrubovej húževnatosti a_k Charpy materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $10,7 \pm 0,6$ kJ/m², naopak najnižšiu priemernú hodnotu vrubovej húževnatosti a_k Charpy dosiahol materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $7,3 \pm 0,6$ kJ/m². Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 31,7 %.

12.3.3 Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia –zaťaženie s UV žiarením – testované pri 23 °C

Maximálna sila F_{max} Tab. 33. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} Charpy vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri 23 °C.

14 dní 40 °C/50% relatívna vlhkosť pri pôsobení UV žiarenia - testované pri 23 °C						
Maximálna sila F_{max} [N]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	380,5	378,5	7,8	2,5	370,8	393,8
2 - PC - Makrolon 1260	502,3	498,7	12,3	3,9	486,4	523,7
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	411,7	406,4	13,9	4,4	399,2	438,9
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	453,4	435,5	33,2	10,5	416,9	496,0

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} Charpy materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $502,3 \pm 12,3$ N, naopak najnižšiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} Charpy dosiahol materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $380,5 \pm 7,8$ N. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 24,2 %.

Vrubová húževnatosť a_k Tab. 34. Štatistické vyhodnotenie vrubovej húževnatosti a_k Charpy vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri 23 °C.

14 dní 40 °C/50% relatívna vlhkosť pri pôsobení UV žiarenia - testované pri 23 °C						
Vrubová húževnatosť a_k [kJ/m ²]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	6,4	6,5	0,4	0,1	5,7	6,7
2 - PC - Makrolon 1260	17,5	17,6	0,7	0,2	16,5	18,4
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	10,5	10,6	0,3	0,1	10,1	10,9
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	10,9	10,9	0,3	0,1	10,6	11,4

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu vrubovej húževnatosti a_k Charpy materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $17,5 \pm 0,7$ kJ/m², naopak najnižšiu priemernú hodnotu vrubovej húževnatosti a_k Charpy dosiahol materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $6,4 \pm 0,4$ kJ/m². Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 63,4 %.

12.3.4 Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – teplotne-vlhkostné zaťaženie s UV žiarením – testované pri –20 °C**Maximálna sila F_{max}** Tab. 35. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} Charpy vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri -20 °C.

14 dní 40 °C/50% relatívna vlhkosť pri pôsobení UV žiarenia - testované pri -20 °C						
Maximálna sila F_{max} [N]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	393,0	390,2	7,7	2,4	385,7	406,0
2 - PC - Makrolon 1260	415,9	415,7	4,9	1,6	411,3	424,7
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	415,2	415,4	5,2	1,6	408,8	421,0
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	415,8	412,9	6,0	1,9	410,4	427,2

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} Charpy materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $415,9 \pm 4,9$ N, naopak najnižšiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} Charpy dosiahol materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $393,0 \pm 7,7$ N. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 5,5 %.

Vrubová húževnatosť a_k Tab. 36. Štatistické vyhodnotenie vrubovej húževnatosti a_k Charpy vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri $-20\text{ }^\circ\text{C}$.

14 dní $40\text{ }^\circ\text{C}/50\%$ relatívna vlhkosť pri pôsobení UV žiarenia - testované pri $-20\text{ }^\circ\text{C}$						
Vrubová húževnatosť a_k [kJ/m^2]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	7,0	6,9	0,2	0,1	6,8	7,4
2 - PC - Makrolon 1260	10,4	10,3	0,2	0,1	10,3	10,8
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	10,2	10,3	0,2	0,1	9,9	10,4
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	10,1	10,2	0,2	0,1	9,8	10,4

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu vrubovej húževnatosti a_k Charpy materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $10,4 \pm 0,2\text{ kJ}/\text{m}^2$, naopak najnižšiu priemernú hodnotu vrubovej húževnatosti a_k Charpy dosiahol materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $7,0 \pm 0,2\text{ kJ}/\text{m}^2$. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 32,7 %.

12.3.5 Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – teplotne-vlhkostné zaťaženie – testované pri $23\text{ }^\circ\text{C}$ **Maximálna sila F_{max}** Tab. 37. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} Charpy vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri $23\text{ }^\circ\text{C}$.

14 dní $95\text{ }^\circ\text{C}/90\%$ relatívna vlhkosť, 14 dní $100\text{ }^\circ\text{C}$, 1 deň $25\text{ }^\circ\text{C}/50\%$ - testované pri $23\text{ }^\circ\text{C}$						
Maximálna sila F_{max} [N]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	329,5	334,8	7,6	2,4	316,2	335,5
2 - PC - Makrolon 1260	375,4	377,8	12,8	4,1	351,2	388,0
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	312,8	314,3	6,1	1,9	302,1	319,5
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	350,0	358,4	32,8	10,4	295,6	395,6

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} Charpy materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $375,4 \pm 12,8\text{ N}$, naopak najnižšiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} Charpy dosiahol materiál 3 – PC – Samsung Infino SC-1280UR s hodnotou $312,0 \pm 6,1\text{ N}$. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 16,7 %.

Vrubová húževnatosť a_k Tab. 38. Štatistické vyhodnotenie vrubovej húževnatosti a_k Charpy vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri 23 °C.

14 dní 95 °C/ 90% relatívna vlhkosť, 14 dní 100 °C, 1 deň 25 °C/50% - testované pri 23 °C						
Vrubová húževnatosť a_k [kJ/m ²]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	4,2	4,5	0,6	0,2	3,0	4,6
2 - PC - Makrolon 1260	6,4	6,2	0,7	0,2	5,4	7,3
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	5,3	5,2	0,1	0,0	5,2	5,4
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	5,8	5,8	0,1	0,0	5,6	5,9

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu vrubovej húževnatosti a_k Charpy materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $6,4 \pm 0,7$ kJ/m², naopak najnižšiu priemernú hodnotu vrubovej húževnatosti a_k Charpy dosiahol materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $4,2 \pm 0,6$ kJ/m². Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 34,4 %.

12.3.6 Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – teplotne-vlhkostné zaťaženie – testované pri -20 °C**Maximálna sila F_{max}** Tab. 39. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} Charpy vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri -20 °C.

14 dní 95 °C/ 90% relatívna vlhkosť, 14 dní 100 °C, 1 deň 25 °C/50% - testované pri -20 °C						
Maximálna sila F_{max} [N]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	327,5	318,1	21,3	6,7	310,1	363,7
2 - PC - Makrolon 1260	373,0	379,6	13,3	4,2	352,1	389,3
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	398,9	401,4	16,5	5,2	374,2	418,8
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	368,1	369,0	5,2	1,6	360,2	374,2

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} Charpy materiál 3 – PC – Samsung Infino SC-1280UR s hodnotou $398,9 \pm 16,5$ N, naopak najnižšiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} Charpy dosiahol materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $327,5 \pm 21,3$ N. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 17,9 %.

Vrubová húževnatosť a_k Tab. 40. Štatistické vyhodnotenie vrubovej húževnatosti a_k Charpy vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri $-20\text{ }^\circ\text{C}$.

14 dní 95 °C/ 90% relatívna vlhkosť, 14 dní 100 °C, 1 deň 25 °C/50% - testované pri $-20\text{ }^\circ\text{C}$						
Vrubová húževnatosť a_k [kJ/m ²]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	5,0	5,0	0,2	0,1	4,7	5,1
2 - PC - Makrolon 1260	6,3	6,4	0,8	0,2	5,3	7,5
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	6,2	6,1	0,3	0,1	5,9	6,6
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	7,3	7,1	0,3	0,1	7,0	7,7

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu vrubovej húževnatosti a_k Charpy materiál 4 – PC – Sabic Lexan Resin ML3729 s hodnotou $7,3 \pm 0,3$ kJ/m², naopak najnižšiu priemernú hodnotu vrubovej húževnatosti a_k Charpy dosiahol materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $5,0 \pm 0,2$ kJ/m². Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 31,5 %.

12.4 Vyhodnotenie dát ČSN EN ISO 8256 – Skúška rázovej húževnatosti v ťahu

12.4.1 Vyhodnotenie dát základných skúšobných telies testovaných za normálnej teploty pri $23\text{ }^\circ\text{C}$

Maximálna sila F_{max}

Tab. 41. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} Ráz-Ťah vybraných PC materiálov zo základných skúšobných telies test. pri $23\text{ }^\circ\text{C}$.

Základné skúšobné telesá testované pri $23\text{ }^\circ\text{C}$						
Maximálna sila F_{max} [N]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	1539,0	1545,4	75,1	23,7	1405,0	1628,2
2 - PC - Makrolon 1260	2155,1	2158,8	67,8	21,4	2065,6	2276,9
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	2002,9	2022,2	83,3	26,4	1858,1	2147,8
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	1998,5	1981,7	47,4	15,0	1945,3	2085,7

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} Ráz-Ťah materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $2155,1 \pm 67,8$ N, naopak najnižšiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} Ráz-Ťah dosiahol materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $1539,0 \pm 75,1$ N. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 28,5 %.

Vrubová húževnatosť a_k Tab. 42 Štatistické vyhodnotenie vrubovej húževnatosti a_k Ráz-Ťah vybraných PC materiálov zo základných skúšobných telies test. pri 23 °C.

Základné skúšobné telesá testované pri 23 °C						
Vrubová húževnatosť a_k [kJ/m ²]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	30,2	30,0	4,1	1,3	24,3	35,9
2 - PC - Makrolon 1260	76,9	75,3	8,8	2,8	63,5	87,9
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	57,1	57,8	4,4	1,4	49,3	63,1
4 - PC - Sabcic Lexan Resin ML3729	55,8	55,4	4,1	1,3	49,1	63,2

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu vrubovej húževnatosti a_k Ráz-Ťah materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $76,9 \pm 8,8$ kJ/m², naopak najnižšiu priemernú hodnotu vrubovej húževnatosti a_k Ráz-Ťah dosiahol materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $30,2 \pm 4,1$ kJ/m². Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 60,7 %.

12.4.2 Vyhodnotenie dát základných skúšobných telies testovaných za zníženej teploty pri -20 °C**Maximálna sila F_{max}** Tab. 43. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} Ráz/Ťah vybraných PC materiálov zo základných skúšobných telies test. pri -20 °C.

Základné skúšobné telesá testované pri -20 °C						
Maximálna sila F_{max} [N]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	1735,4	1746,7	43,2	13,7	1667,2	1779,8
2 - PC - Makrolon 1260	2017,4	2008,4	57,3	18,1	1951,2	2093,4
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	2002,7	2001,9	70,0	22,1	1902,0	2128,9
4 - PC - Sabcic Lexan Resin ML3729	2164,7	2185,5	103,9	32,9	2012,3	2296,1

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} Ráz-Ťah materiál 4 – PC – Sabcic Lexan Resin ML3729 s hodnotou $2164,7 \pm 103,9$ N, naopak najnižšiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} Ráz-Ťah dosiahol materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $1735,4 \pm 43,2$ N. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 19,8 %.

Vrubová húževnatosť a_k Tab. 44. Štatistické vyhodnotenie vrubovej húževnatosti a_k Ráz-Ťah vybraných PC materiálov zo základných skúšobných telies test. pri -20 °C.

Základné skúšobné telesá testované pri -20 °C						
Vrubová húževnatosť a_k [kJ/m ²]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	28,5	29,4	3,3	1,0	23,0	32,0
2 - PC - Makrolon 1260	54,9	54,4	3,1	1,0	49,9	59,4
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	51,5	51,5	3,0	1,0	45,4	57,7
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	54,0	53,8	2,4	0,8	50,1	58,3

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu vrubovej húževnatosti a_k Ráz-Ťah materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $54,9 \pm 3,1$ kJ/m², naopak najnižšiu priemernú hodnotu vrubovej húževnatosti a_k Ráz-Ťah dosiahol materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $28,5 \pm 3,3$ kJ/m². Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 48 %.

12.4.3 Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – zaťaženie s UV žiarením – testované pri 23 °C

Maximálna sila F_{max} Tab. 45. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} Ráz-Ťah vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri 23 °C.

14 dní 40 °C/50% relatívna vlhkosť pri pôsobení UV žiarenia - testované pri 23 °C						
Maximálna sila F_{max} [N]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	1547,0	1541,2	18,5	5,8	1527,8	1571,9
2 - PC - Makrolon 1260	1953,7	1881,9	101,6	32,1	1881,9	2097,3
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	2014,7	2045,4	44,7	14,1	1951,5	2047,1
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	2057,3	2066,9	22,9	7,2	2025,7	2079,3

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} Ráz-Ťah materiál 4 – PC – Sabic Lexan Resin ML3729 s hodnotou $2057,3 \pm 22,9$ N, naopak najnižšiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} Ráz-Ťah dosiahol materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $1547,0 \pm 18,5$ N. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 24,8 %.

Vrubová húževnatosť a_k Tab. 46. Štatistické vyhodnotenie vrubovej húževnatosti a_k Ráz-Ťah vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri 23 °C.

14 dní 40 °C/50% relatívna vlhkosť pri pôsobení UV žiarenia - testované pri 23 °C						
Vrubová húževnatosť a_k [kJ/m ²]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	27,4	27,6	1,0	0,3	26,1	28,6
2 - PC - Makrolon 1260	60,0	57,8	3,1	1,0	57,8	64,4
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	53,5	52,2	1,9	0,6	52,2	56,2
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	55,4	53,6	2,5	0,8	53,6	58,9

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu vrubovej húževnatosti a_k Ráz-Ťah materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $60,0 \pm 3,1$ kJ/m², naopak najnižšiu priemernú hodnotu vrubovej húževnatosti a_k Ráz-Ťah dosiahol materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $27,4 \pm 1,0$ kJ/m². Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 54,3 %.

12.4.4 Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – zaťaženie s UV žiarením – testované pri -20 °C

Maximálna sila F_{max} Tab. 47. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} Ráz-Ťah vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri -20 °C.

14 dní 40 °C/50% relatívna vlhkosť pri pôsobení UV žiarenia - testované pri -20 °C						
Maximálna sila F_{max} [N]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	1652,1	1635,0	98,2	31,1	1541,4	1780,1
2 - PC - Makrolon 1260	1909,6	1916,6	37,0	11,7	1861,3	1951,0
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	1999,0	1992,4	21,0	6,6	1977,3	2027,4
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	1973,6	1975,4	8,3	2,6	1962,6	1982,7

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} Ráz-Ťah materiál 3 – PC – Samsung Infino SC-1280UR s hodnotou $1999,0 \pm 21,0$ N, naopak najnižšiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} Ráz-Ťah dosiahol materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $1652,1 \pm 98,2$ N. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 17,4 %.

Vrubová húževnatosť a_k Tab. 48. Štatistické vyhodnotenie vrubovej húževnatosti a_k Ráz-Ťah vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri -20 °C.

14 dní 40 °C/50% relatívna vlhkosť pri pôsobení UV žiarenia - testované pri -20 °C						
Vrubová húževnatosť a_k [kJ/m ²]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	27,8	27,5	3,1	1,0	24,2	31,7
2 - PC - Makrolon 1260	59,1	58,8	1,1	0,3	58,0	60,6
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	54,6	55,4	2,5	0,8	51,1	57,1
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	57,0	56,8	2,9	0,9	53,5	60,6

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu vrubovej húževnatosti a_k Ráz-Ťah materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $59,1 \pm 1,1$ kJ/m², naopak najnižšiu priemernú hodnotu vrubovej húževnatosti a_k Ráz-Ťah dosiahol materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $27,8 \pm 3,1$ kJ/m². Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 53 %.

12.4.5 Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – teplotne-vlhkostné zaťaženie – testované pri 23 °C**Maximálna sila F_{max}** Tab. 49. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} Ráz-Ťah vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri 23 °C.

14 dní 95 °C/ 90% relatívna vlhkosť, 14 dní 100 °C, 1 deň 25 °C/50% - testované pri 23 °C						
Maximálna sila F_{max} [N]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	1129,0	1139,1	100,0	31,6	1001,7	1246,0
2 - PC - Makrolon 1260	1775,3	1701,2	104,9	33,2	1701,2	1923,6
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	1369,3	1393,5	102,0	32,3	1234,0	1480,4
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	1456,9	1438,3	126,0	39,8	1312,8	1619,7

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} Ráz-Ťah materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $1775,3 \pm 33,2$ N, naopak najnižšiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} Ráz-Ťah dosiahol materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $1129,0 \pm 100,0$ N. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 36,4 %.

Vrubová húževnatosť a_k Tab. 50. Štatistické vyhodnotenie vrubovej húževnatosti a_k Ráz-Ťah vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri 23 °C.

14 dní 95 °C/ 90% relatívna vlhkosť, 14 dní 100 °C, 1 deň 25 °C/50% - testované pri 23 °C						
Vrubová húževnatosť a_k [kJ/m ²]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	16,7	16,5	0,7	0,2	15,9	17,6
2 - PC - Makrolon 1260	28,1	26,7	2,0	0,6	26,7	30,9
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	18,2	18,7	0,7	0,2	17,2	18,7
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	20,8	21,7	1,3	0,4	19,0	21,7

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu vrubovej húževnatosti a_k Ráz-Ťah materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $28,1 \pm 2,0$ kJ/m², naopak najnižšiu priemernú hodnotu vrubovej húževnatosti a_k Ráz-Ťah dosiahol materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $16,7 \pm 0,7$ kJ/m². Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 40,6 %.

12.4.6 Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – teplotne-vlhkostné zaťaženie – testované pri -20 °C**Maximálna sila F_{max}** Tab. 51. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} Ráz-Ťah vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri -20 °C.

14 dní 95 °C/ 90% relatívna vlhkosť, 14 dní 100 °C, 1 deň 25 °C/50% - testované pri -20 °C						
Maximálna sila F_{max} [N]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	1164,9	1125,4	95,0	30,0	1073,5	1295,8
2 - PC - Makrolon 1260	1674,6	1613,7	100,2	31,7	1594,3	1815,9
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	1434,0	1418,3	59,6	18,8	1370,2	1513,6
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	1558,4	1597,4	69,6	22,0	1460,7	1617,2

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} Ráz-Ťah materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $1674,6 \pm 100,2$ N, naopak najnižšiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} Ráz-Ťah dosiahol materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $1164,9 \pm 195,0$ N. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 30,4 %.

Vrubová húževnatosť a_k

Tab. 52 Štatistické vyhodnotenie vrubovej húževnatosti a_k Ráz-Ťah vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri $-20\text{ }^\circ\text{C}$.

14 dní 95 °C/ 90% relatívna vlhkosť, 14 dní 100 °C, 1 deň 25 °C/50% - testované pri -20 °C						
Vrubová húževnatosť a_k [kJ/m ²]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	16,7	16,4	1,1	0,3	15,6	18,1
2 - PC - Makrolon 1260	27,4	26,9	2,4	0,8	24,8	30,5
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	22,4	22,2	0,6	0,2	21,8	23,3
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	24,4	24,6	1,8	0,6	22,1	26,5

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu vrubovej húževnatosti a_k Ráz-Ťah materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $27,4 \pm 2,4$ kJ/m², naopak najnižšiu priemernú hodnotu vrubovej húževnatosti a_k Ráz-Ťah dosiahol materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $16,7 \pm 1,1$ kJ/m². Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 39,0 %.

12.5 Vyhodnotenie dát ČSN EN ISO 6603 – stanovenie chovania tuhých plastov pri viacosom rázovom namáhaní – Metóda padajúceho tíku

12.5.1 Vyhodnotenie dát základných skúšobných telies testovaných za normálnej teploty pri 23 °C

Maximálna sila F_{max}

Tab. 53. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} pri priraze vybraných PC materiálov zo základných skúšobných telies test. pri 23 °C.

Základné skúšobné telesá testované pri 23 °C						
Maximálna sila F_{max} [N]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	7825,8	7830,6	138,4	43,8	7622,0	8040,6
2 - PC - Makrolon 1260	7660,2	7685,8	47,7	15,1	7583,6	7712,4
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	8378,1	8411,0	225,8	71,4	7992,3	8712,8
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	7707,7	7682,3	184,9	58,5	7464,1	7992,7

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} pri priraze materiál 3 – PC – Samsung Infino SC-1280UR s hodnotou $8378,1 \pm 225,8$ N, naopak najnižšiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} pri priraze dosiahol materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $7660,2 \pm 47,7$ N. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 8,6 %.

Rázová energia pri priraze E_p

Tab. 54. Štatistické vyhodnotenie rázovej energie pri priraze E_p vybraných PC materiálov zo základných skúšobných telies test. pri 23 °C.

Základné skúšobné telesá testované pri 23 °C						
Rázová energia pri priraze E_p [J]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	79,9	77,7	8,2	2,6	69,0	92,2
2 - PC - Makrolon 1260	75,0	75,3	0,5	0,2	74,2	75,5
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	85,2	86,1	7,4	2,3	73,6	96,2
4 - PC - Sabcic Lexan Resin ML3729	76,3	76,7	6,6	2,1	64,8	85,9

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu rázovej energie pri priraze E_p materiál 3 – PC – Samsung Infino SC-1280UR s hodnotou $85,2 \pm 7,4$ J, naopak najnižšiu priemernú hodnotu rázovej energie pri priraze E_p dosiahol materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $75,0 \pm 0,5$ J. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 12 %.

12.5.2 Vyhodnotenie dát základných skúšobných telies testovaných za zníženej teploty pri -20 °C

Maximálna sila F_{max}

Tab. 55. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} pri priraze vybraných PC materiálov zo základných skúšobných telies test. pri -20 °C.

Základné skúšobné telesá testované pri -20 °C						
Maximálna sila F_{max} [N]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	10208,8	10367,5	317,0	100,3	9655,1	10562,8
2 - PC - Makrolon 1260	10053,3	10069,3	201,1	63,6	9669,2	10343,4
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	9306,7	9293,6	287,8	91,0	8862,5	9654,6
4 - PC - Sabcic Lexan Resin ML3729	9063,8	9091,2	224,3	70,9	8615,9	9365,5

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} pri priraze materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $10208,8 \pm 317,0$ N, naopak najnižšiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} pri priraze dosiahol materiál 4 – PC – Sabcic Lexan Resin ML3729 s hodnotou $9063,8 \pm 224,3$ N. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 11,2 %.

Rázová energia pri priereze E_p

Tab. 56. Štatistické vyhodnotenie rázovej energie pri priereze E_p vybraných PC materiálov zo základných skúšobných telies test. pri $-20\text{ }^\circ\text{C}$.

Základné skúšobné telesá testované pri $-20\text{ }^\circ\text{C}$						
Rázová energia pri priereze E_p [J]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	117,7	122,2	9,4	3,0	102,1	128,3
2 - PC - Makrolon 1260	108,1	110,8	6,3	2,0	93,7	116,1
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	86,3	89,3	9,2	2,9	73,0	96,2
4 - PC - Sabcic Lexan Resin ML3729	76,1	74,9	6,4	2,0	63,6	86,1

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu rázovej energie pri priereze E_p materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $117,7 \pm 9,4$ J, naopak najnižšiu priemernú hodnotu rázovej energie pri priereze E_p dosiahol materiál 4 – PC – Sabcic Lexan Resin ML3729 s hodnotou $76,1 \pm 6,4$ J. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 35,3 %.

12.5.3 Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – zaťaženie s UV žiarením – testované pri $23\text{ }^\circ\text{C}$

Maximálna sila F_{max}

Tab. 57. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} pri priereze vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri $23\text{ }^\circ\text{C}$.

14 dní $40\text{ }^\circ\text{C}/50\%$ relatívna vlhkosť pri pôsobení UV žiarenia - testované pri $23\text{ }^\circ\text{C}$						
Maximálna sila F_{max} [N]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	7878,3	7903,0	49,4	15,6	7809,4	7922,4
2 - PC - Makrolon 1260	7685,9	7587,3	161,8	51,2	7556,4	7914,0
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	8238,1	8340,1	236,1	74,7	7837,2	8435,1
4 - PC - Sabcic Lexan Resin ML3729	7977,9	8027,2	142,6	45,1	7700,2	8108,6

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} pri priereze materiál 3 – PC – Samsung Infino SC-1280UR s hodnotou $8238,1 \pm 236,1$ N, naopak najnižšiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} pri priereze dosiahol materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $7685,9 \pm 161,8$ N. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 6,7 %.

Rázová energia pri priraze E_p

Tab. 58. Štatistické vyhodnotenie rázovej energie pri priraze E_p vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri 23 °C.

14 dní 40 °C/50% relatívna vlhkosť pri pôsobení UV žiarenia - testované pri 23 °C						
Rázová energia pri priraze E_p [J]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	78,4	78,6	0,4	0,1	77,8	78,7
2 - PC - Makrolon 1260	67,5	67,2	1,8	0,6	65,4	69,9
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	78,7	80,8	6,1	1,9	68,4	84,6
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	74,9	75,5	4,6	1,5	66,6	80,0

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu rázovej energie pri priraze E_p materiál 3 – PC – Samsung Infino SC-1280UR s hodnotou $78,7 \pm 6,1$ J, naopak najnižšiu priemernú hodnotu rázovej energie pri priraze E_p dosiahol materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $67,5 \pm 1,8$ J. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 14,2 %.

12.5.4 Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – zaťaženie s UV žiarením – testované pri -20°C

Maximálna sila F_{max}

Tab. 59. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} pri priraze vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri -20 °C.

14 dní 40 °C/50% relatívna vlhkosť pri pôsobení UV žiarenia - testované pri -20 °C						
Maximálna sila F_{max} [N]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	9397,6	9409,3	140,3	44,4	9200,2	9571,6
2 - PC - Makrolon 1260	8107,0	8210,8	162,2	51,3	7878,0	8232,3
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	8894,2	8701,3	327,4	103,5	8581,1	9299,8
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	8522,6	8558,6	313,9	99,3	8045,8	8927,3

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} pri priraze materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $9397,6 \pm 140,3$ N, naopak najnižšiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} pri priraze dosiahol materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $8107,0 \pm 162,2$ N. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 13,7 %.

Rázová energia pri priraze E_p

Tab. 60. Štatistické vyhodnotenie rázovej energie pri priraze E_p vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri $-20\text{ }^\circ\text{C}$.

14 dní $40\text{ }^\circ\text{C}/50\%$ relatívna vlhkosť pri pôsobení UV žiarenia - testované pri $-20\text{ }^\circ\text{C}$						
Rázová energia pri priraze E_p [J]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	80,2	80,1	3,4	1,1	76,1	84,5
2 - PC - Makrolon 1260	61,3	61,7	1,8	0,6	58,5	63,0
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	73,0	68,5	9,1	2,9	66,5	88,5
4 - PC - Sabcic Lexan Resin ML3729	70,6	70,2	5,2	1,6	63,4	79,3

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu rázovej energie pri priraze E_p materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $80,2 \pm 3,4$ J, naopak najnižšiu priemernú hodnotu rázovej energie pri priraze E_p dosiahol materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $61,3 \pm 1,8$ J. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 23,6 %.

12.5.5 Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – teplotne-vlhkostné zaťaženie – testované pri $23\text{ }^\circ\text{C}$

Maximálna sila F_{max}

Tab. 61 Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} pri priraze vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri $23\text{ }^\circ\text{C}$.

14 dní $95\text{ }^\circ\text{C}/90\%$ relatívna vlhkosť, 14 dní $100\text{ }^\circ\text{C}$, 1 deň $25\text{ }^\circ\text{C}/50\%$ - testované pri $23\text{ }^\circ\text{C}$						
Maximálna sila F_{max} [N]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	2830,2	2846,2	447,2	141,4	2266,8	3361,8
2 - PC - Makrolon 1260	8002,4	8042,8	274,3	86,8	7595,8	8328,4
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	7075,6	7120,8	466,5	147,5	6382,3	7678,8
4 - PC - Sabcic Lexan Resin ML3729	7828,7	7830,8	231,4	73,2	7508,9	8144,2

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} pri priraze materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $8002,4 \pm 274,3$ N, naopak najnižšiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} pri priraze dosiahol materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $2830,2 \pm 447,2$ N. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 64,7 %.

Rázová energia pri priraze E_p

Tab. 62. Štatistické vyhodnotenie rázovej energie pri priraze E_p vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri 23 °C.

14 dní 95 °C/90% relatívna vlhkosť, 14 dní 100 °C, 1 deň 25 °C/50 % - testované pri 23 °C						
Rázová energia pri priraze E_p [J]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	2,9	2,9	0,3	0,1	2,4	3,2
2 - PC - Makrolon 1260	76,4	74,3	8,2	2,6	67,5	87,3
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	48,6	46,3	14,7	4,7	30,5	71,5
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	70,9	71,6	3,5	1,1	65,4	75,2

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu rázovej energie pri priraze E_p materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $76,4 \pm 8,2$ J, naopak najnižšiu priemernú hodnotu rázovej energie pri priraze E_p dosiahol materiál 1 – PC – Makrolon 2207 s hodnotou $2,9 \pm 0,3$ J. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 96,2 %.

12.5.6 Vyhodnotenie dát skúšobných telies vystaveným vplyvom starnutia – teplotne-vlhkostné zaťaženie – testované pri -40 °C

Maximálna sila F_{max}

Tab. 63. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} pri priraze vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri -40 °C.

14 dní 95 °C/90% relatívna vlhkosť, 14 dní 100 °C, 1 deň 25 °C/50 % - testované pri -40 °C						
Maximálna sila F_{max} [N]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	1840,3	1855,4	71,0	22,4	1719,9	1936,5
2 - PC - Makrolon 1260	2387,0	2343,5	199,5	63,1	2156,3	2915,3
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	1805,3	1733,9	327,5	103,6	1444,7	2237,3
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	2812,3	2796,3	128,4	40,6	2663,7	2977,0

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} pri priraze materiál 2 – PC – Makrolon 1260 s hodnotou $2387,0 \pm 199,5$ N, naopak najnižšiu priemernú hodnotu maximálnej sily F_{max} pri priraze dosiahol materiál 3 – PC – Samsung Infino SC-1280UR s hodnotou $1805,3 \pm 327,5$ N. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 24,4 %.

Rázová energia pri prieraze E_p

Tab. 64. Štatistické vyhodnotenie rázovej energie pri prieraze E_p vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri $-40\text{ }^\circ\text{C}$.

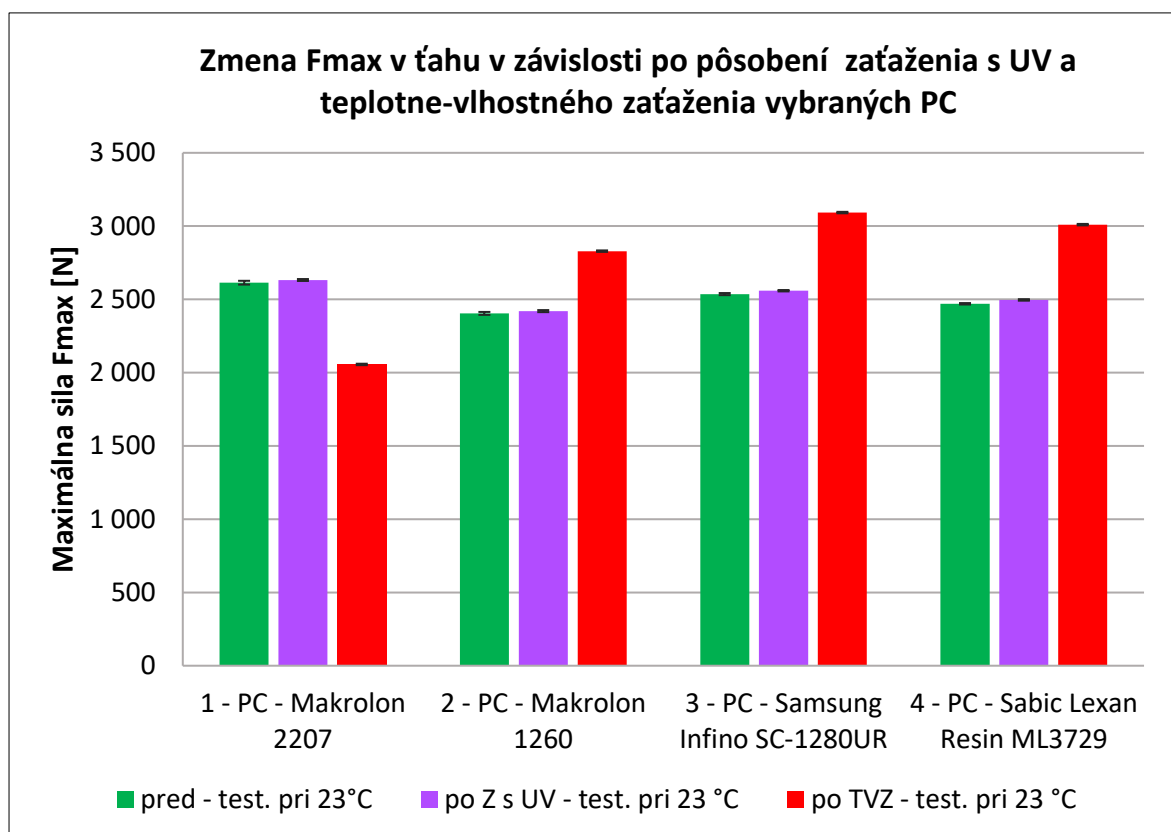
14 dní 95 °C/90% relatívna vlhkosť, 14 dní 100 °C, 1 deň 25 °C/50 % - testované pri -40 °C						
Rázová energia pri prieraze E_p [J]	X	m	s	u_A	min	max
1 - PC - Makrolon 2207	3,0	3,0	0,4	0,1	2,5	4,0
2 - PC - Makrolon 1260	3,2	3,1	0,7	0,2	2,5	5,2
3 - PC - Samsung Infino SC-1280UR	2,5	2,0	0,9	0,3	1,8	3,7
4 - PC - Sabic Lexan Resin ML3729	6,1	5,8	0,4	0,1	5,7	6,7

Z vybraných materiálov dosiahol najvyššiu priemernú hodnotu rázovej energie pri prieraze E_p materiál 4 – PC – Sabic Lexan Resin ML3729 s hodnotou $6,1 \pm 0,4$ J, naopak najnižšiu priemernú hodnotu rázovej energie pri prieraze E_p dosiahol materiál 3 – PC – Samsung Infino SC-1280UR s hodnotou $2,5 \pm 0,9$ J. Medzi týmito nameranými hodnotami je pokles približne 59 %.

13 DISKUSIA K DOSIAHNUTÝM VÝSLEDKOM

V kapitole 12 na str. 81 sú uvedené vyhodnotený výsledky vykonaných mechanických skúšok zo základných skúšobných telies a telies vystavených vplyvom starnutia vybraných PC testovaných za rôznych teplotných podmienok. V nasledujúcich podkapitolách budú tieto výsledky porovnané, predovšetkým aké nastali zmeny mechanických vlastností vybraných PC po vplyve starnutia a to po pôsobení zaťaženia s UV žiarením (14 dní 40 °C/50 % relatívna vlhkosť pri pôsobení UV žiarenia), ďalej len Z s UV, a teplotne-vlhkostného zaťaženia (14 dní 95 °C/90 % relatívna vlhkosť, 14 dní 100 °C, 1 deň 25 °C /50 %), ďalej len TVZ pri normálnej a zníženej teploty.

13.1 Porovnanie maximálnej sily F_{max} v ťahu v závislosti po pôsobení zaťaženia s UV žiarením a teplotne-vlhkostného zaťaženia

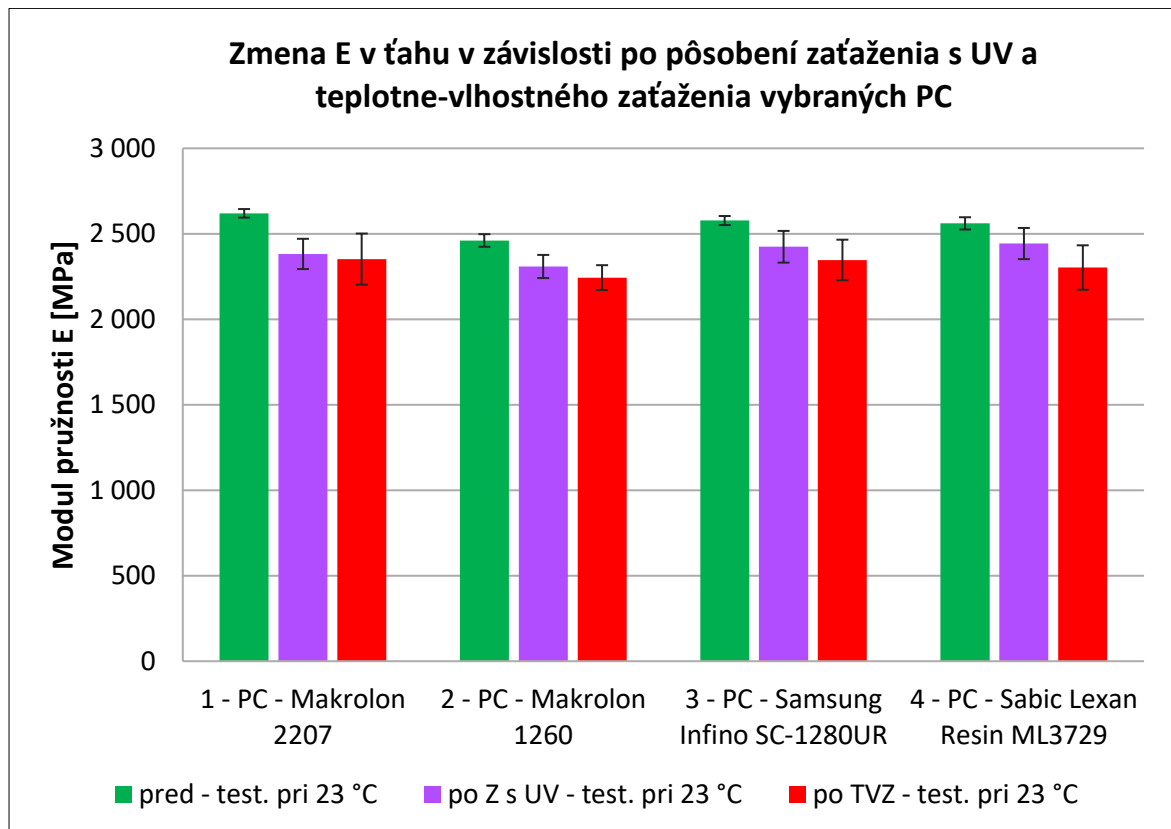


Obr. 57. Porovnanie F_{max} v ťahu po pôsobení zaťaženia s UV žiarením a teplotne-vlhkostného zaťaženia vybraných PC materiálov.

Po vykonaní skúšky v ťahu pri 23 °C po pôsobení Z s UV bola nameraná približne rovnaká hodnota F_{max} v ťahu u každého vybraného PC materiálu, došlo k jej zanedbateľnému nárastu. Po vykonaní rovnakej skúšky pri 23 °C po pôsobení TZV došlo u

materiálu 1 – PC – Makrolon 2207 k poklesu F_{max} približne o 21,3 %. U ostatných vybraných PC materiálov došlo k nárastu F_{max} v ťahu a to približne o 17,6 %, z ktorých najvyššiu hodnotu dosiahol 3 – PC- Samsung Infino SC-1280UR.

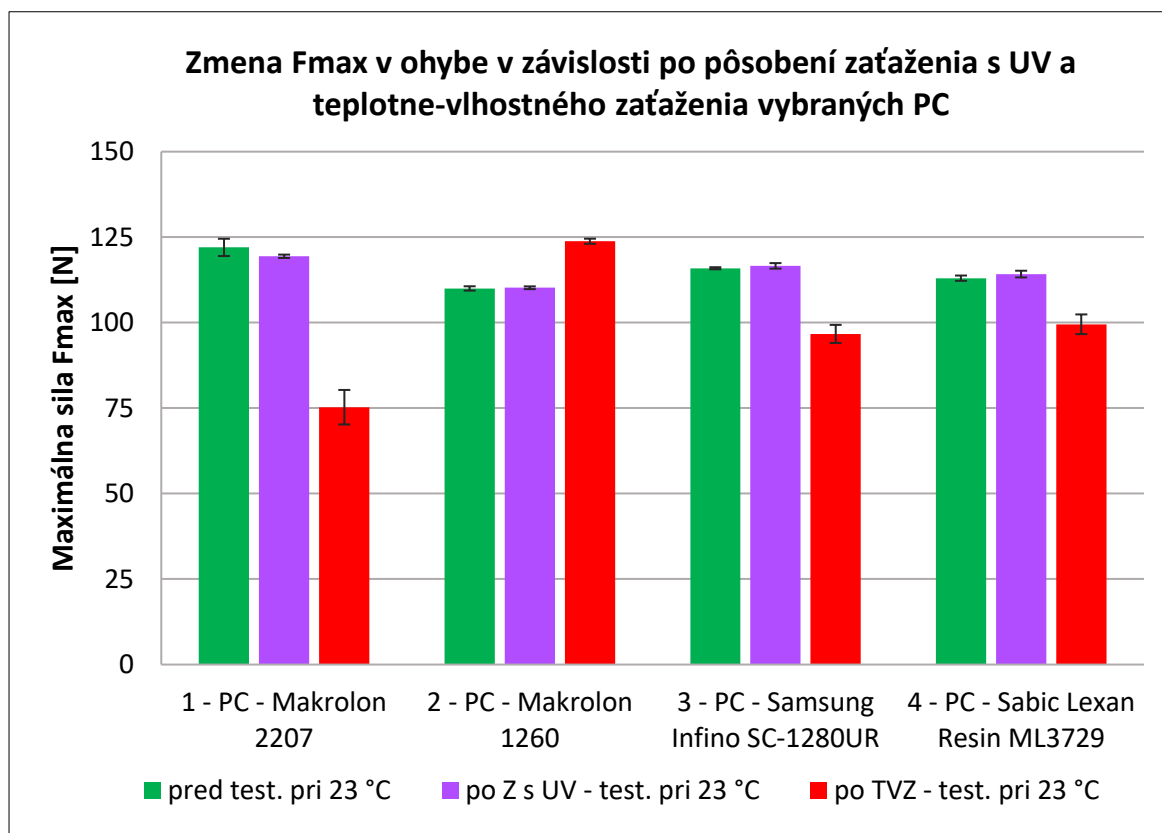
13.2 Porovnanie modulu pružnosti E v ťahu v závislosti po pôsobení zaťaženia s UV žiarením a teplotne-vlhkostného zaťaženia



Obr. 58. Porovnanie E v ťahu po pôsobení zaťaženia s UV žiarením a teplotne-vlhkostného zaťaženia vybraných PC materiálov.

Po vykonaní skúšky v ťahu pri 23 °C dosiahli materiál 3 – PC – Samsung Infino SC-1280UR a materiál 4 – PC – Sabic Lexan Resin ML3729 skoro rovnaké hodnoty E v ťahu. Po pôsobení Z s UV pri 23 °C došlo u každého vybraného PC materiálu k poklesu pružnosti E v ťahu v priemere o 7 %. Po pôsobení TVZ pri 23 °C bol meraním zistené taktiež pokles E u každého vybraného PC materiálu približne o 10 %. U každého vybraného PC materiálu nastal lineárny pokles hodnoty E v ťahu vzhľadom na pôsobenie Z s UV a TVZ pri 23 °C.

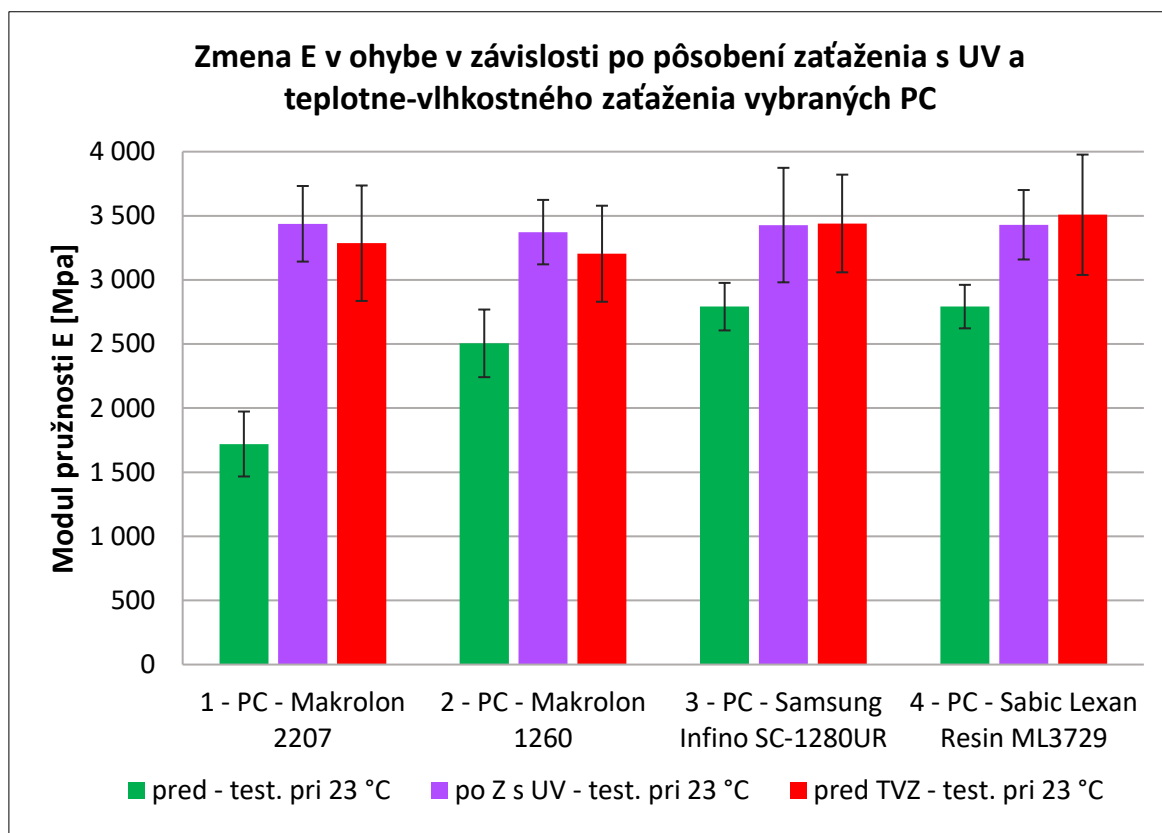
13.3 Porovnanie maximálnej sily F_{max} v ohybe v závislosti po pôsobení zaťaženia s UV žiarením a teplotne-vlhkostného zaťaženia



Obr. 59. Porovnanie F_{max} v ohybe po pôsobení zaťaženia s UV žiarením a teplotne-vlhkostného zaťaženia vybraných PC materiálov.

Po vykonaní skúšky v ohybe pri 23 °C dosiahli materiály 2 – PC – Makrolon 1260, 3 – PC – Samsung Infino SC-1280UR a 4 – PC – Sabic Lexan Resin ML3729 približne rovnakú hodnotu F_{max} v ohybe. Po pôsobení Z s UV a otestovaní pri 23 °C nebol u vybraných PC materiálov nameraný výrazný pokles alebo nárast hodnôt F_{max} v ohybe. Po pôsobení TVZ a otestovaní pri 23 °C bol nameraný pokles F_{max} v ohybe u materiálu 1 – PC – Makrolon 2207 približne o 38,2 %, u materiálu 3 – PC – Samsung Infino SC1280UR ako aj u materiálu 4 – PC – Sabic Rexin Lexan ML3729 bol zaznamenaný pokles približne o 16,5 % a u materiálu 2 – PC – Makrolon 1260 došlo naopak k nárastu F_{max} v ohybe približne o 12 %.

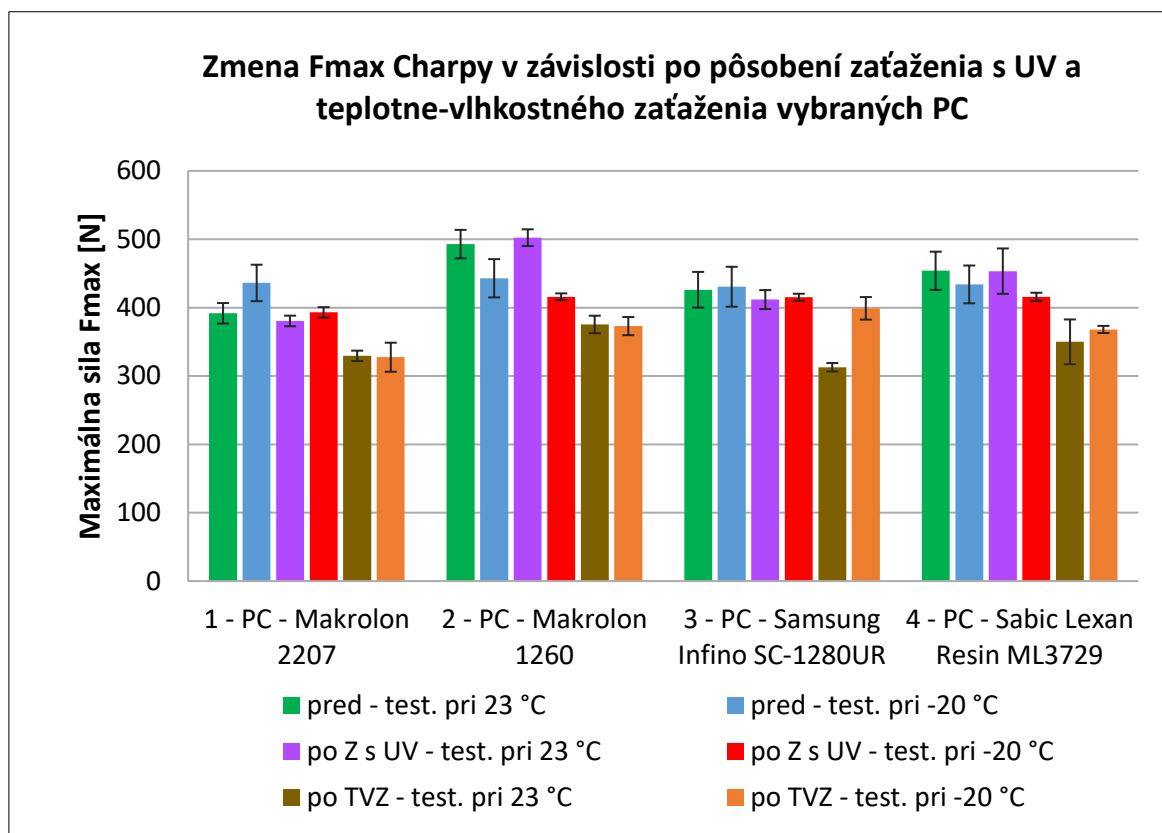
13.4 Porovnanie modulu pružnosti E v ohybe v závislosti po pôsobení zaťaženia s UV žiarením a teplotne-vlhkostného zaťaženia



Obr. 60. Porovnanie E v ohybe pôsobení zaťaženia s UV a teplotne-vlhkostného zaťaženia vybraných PC materiálov.

Po vykonaní skúšky v ohybe pri 23 °C dosiahol materiál 1 – PC – Makrolon 2207 približne o 35 % menšiu hodnotu E v ohybe ako ostatné vybrané PC materiály. Avšak po pôsobení Z s UV a TVZ pri 23 °C dosiahol 1 – PC – Makrolon 2207 skoro 100 % nárast hodnoty E v ohybe oproti ostatným vybraným PC materiálom, u ktorých došlo tiež k nárastu modulu pružnosti E v ohybe, ale v priemere len o 25 %.

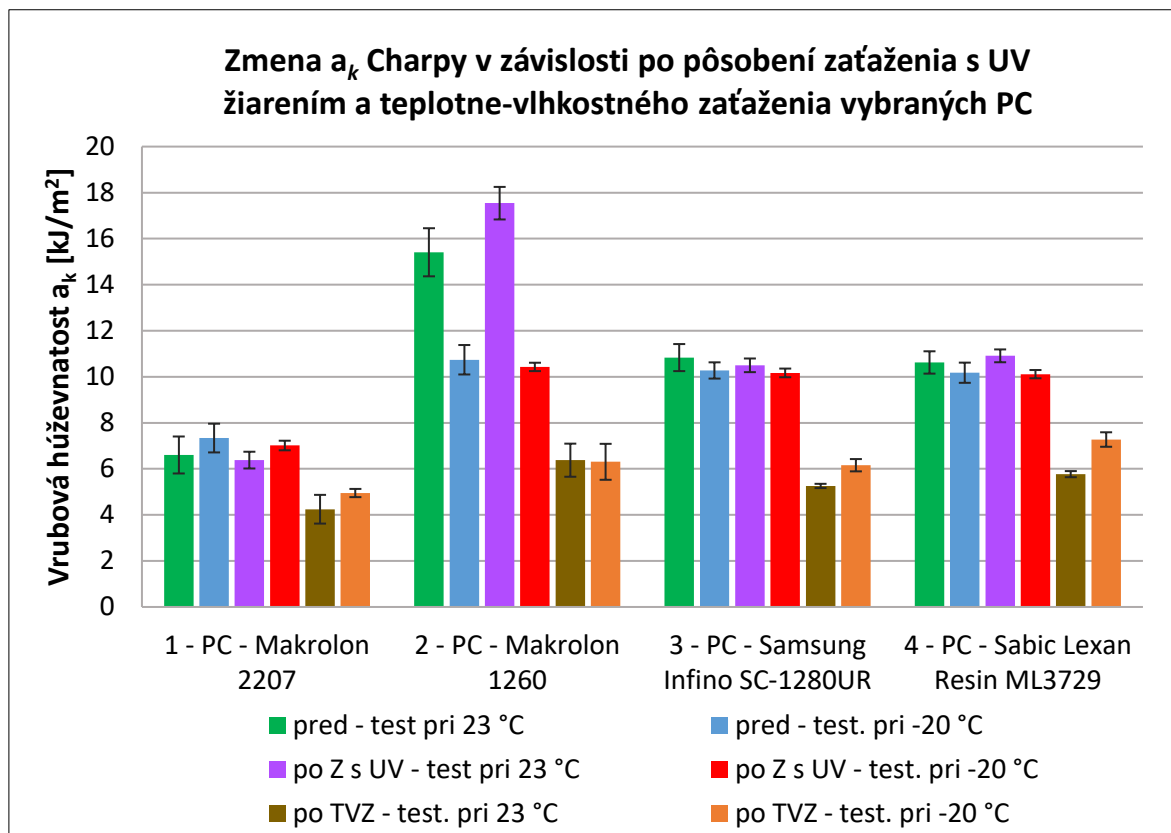
13.5 Porovnanie maximálnej sily F_{max} Charpy v závislosti po pôsobení zaťaženia s UV žiarením a teplotne-vlhkostného zaťaženia



Obr. 61. Porovnanie F_{max} Charpy po pôsobení zaťaženia s UV a teplotne-vlhkostného zaťaženia vybraných PC materiálov.

Po vykonaní skúšok vrubovej húževnatosti Charpy pred aj po vplyve starnutia pri 23 °C ako aj pri -20 °C dosiahol najstabilnejšie hodnoty F_{max} Charpy materiál 3 – PC – Samsung Infino SC-1280UR. Výrazný pokles hodnoty F_{max} Charpy nastal len po TVZ pri 23 °C a to približne o 25,5 %. U ostatných materiálov hodnota F_{max} Charpy klesala alebo rástla, pričom najvyšší pokles F_{max} Charpy bol nameraní po TVZ pri 23 °C a po TVZ pri -20 °C.

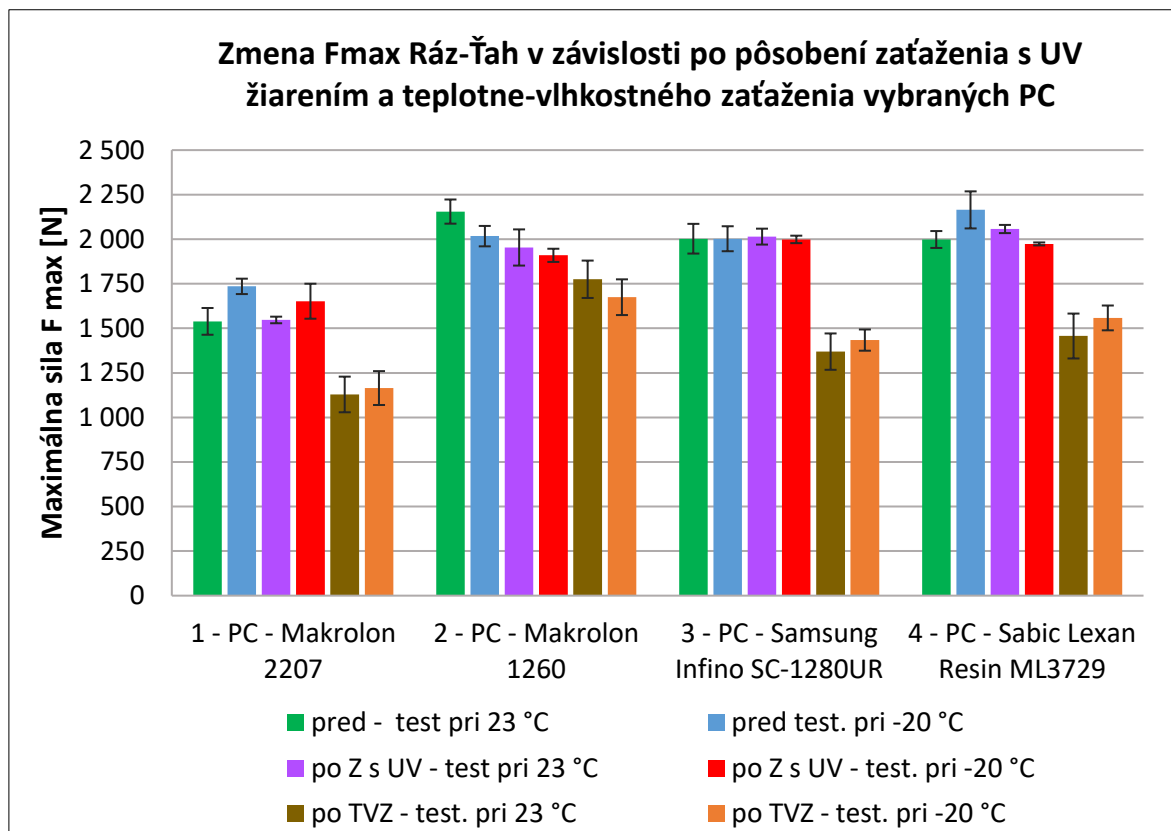
13.6 Porovnanie vrubovej húževnatosti a_k Charpy v závislosti po pôsobení zaťaženia s UV žiarením a teplotne-vlhkostného zaťaženia



Obr. 62. Porovnanie a_k Charpy po pôsobení zaťaženia s UV žiarením a teplotne-vlhkostného zaťaženia vybraných PC materiálov.

Po vykonaní skúšok vrubovej húževnatosti Charpy pred aj po vplyve starnutia pri 23 °C ako aj pri -20 °C dosiahli rovnaké hodnoty a_k Charpy materiály 3 – PC – Samsung Infino SC-1280UR a materiál 4 – PC – Sabic Lexan Resin ML3729, u ktorých sa rozdiely pohybujú v desatinných číslach. U oboch materiálov bol nameraný najväčší pokles hodnoty a_k Charpy po TVZ pri 23 °C ako aj pri -20 °C, kde sa v prvom prípade jedná pokles zhruba o 50 % a v druhom prípade v priemere o 40 %. U materiálu 2 – PC – Makrolon 1260 došlo k výraznejšiemu poklesu a_k Charpy v jedinom prípade po Z s UV pri 23 °C a u materiálu 1 – PC – Makrolon 2207 bol nameraný výraznejší pokles a_k Charpy len po TVZ pri 23 °C a po TVZ pri -20 °C.

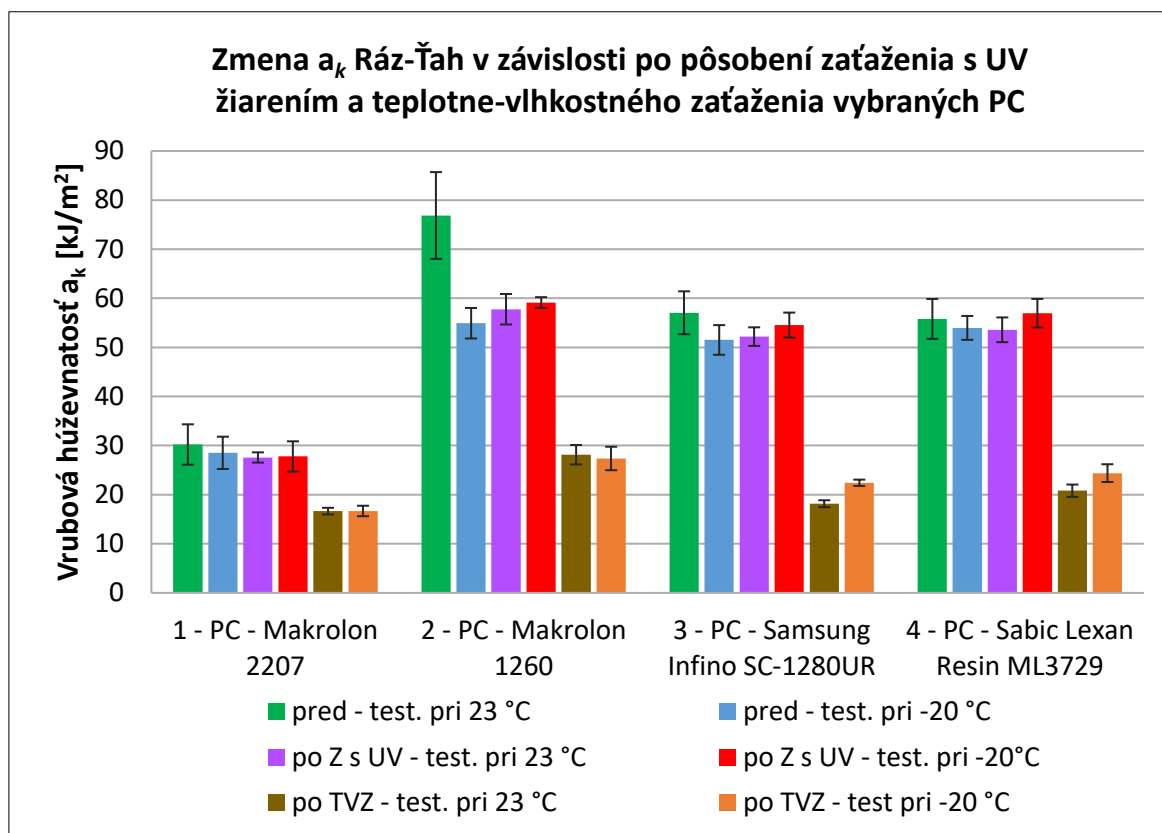
13.7 Porovnanie maximálnej sily F_{max} Ráz-Ťah v závislosti po pôsobení zaťaženia s UV žiarením a teplotne-vlhkostného zaťaženia



Obr. 63. Porovnanie F_{max} Ráz-Ťah po pôsobení zaťaženia s UV žiarením a teplotne-vlhkostného zaťaženia vybraných PC materiálov.

Po vykonaní rázovej skúšky v ťahu pri 23 °C pred Z s UV a TVZ bola nameraná najvyššia hodnota F_{max} Ráz-Ťah u materiálu 2 – PC – Makrolon 1260. U tohoto materiálu došlo po pôsobení Z s UV a TVZ ako u jediného k lineárnemu poklesu F_{max} Ráz-Ťah, pričom najvyšší pokles nastal po TVZ pri -20 °C a to približne o 22,3 %. U ostatných PC materiálov došlo k výraznému poklesu F_{max} Ráz-Ťah len po TVZ pri 23 °C a po TVZ pri -20 °C.

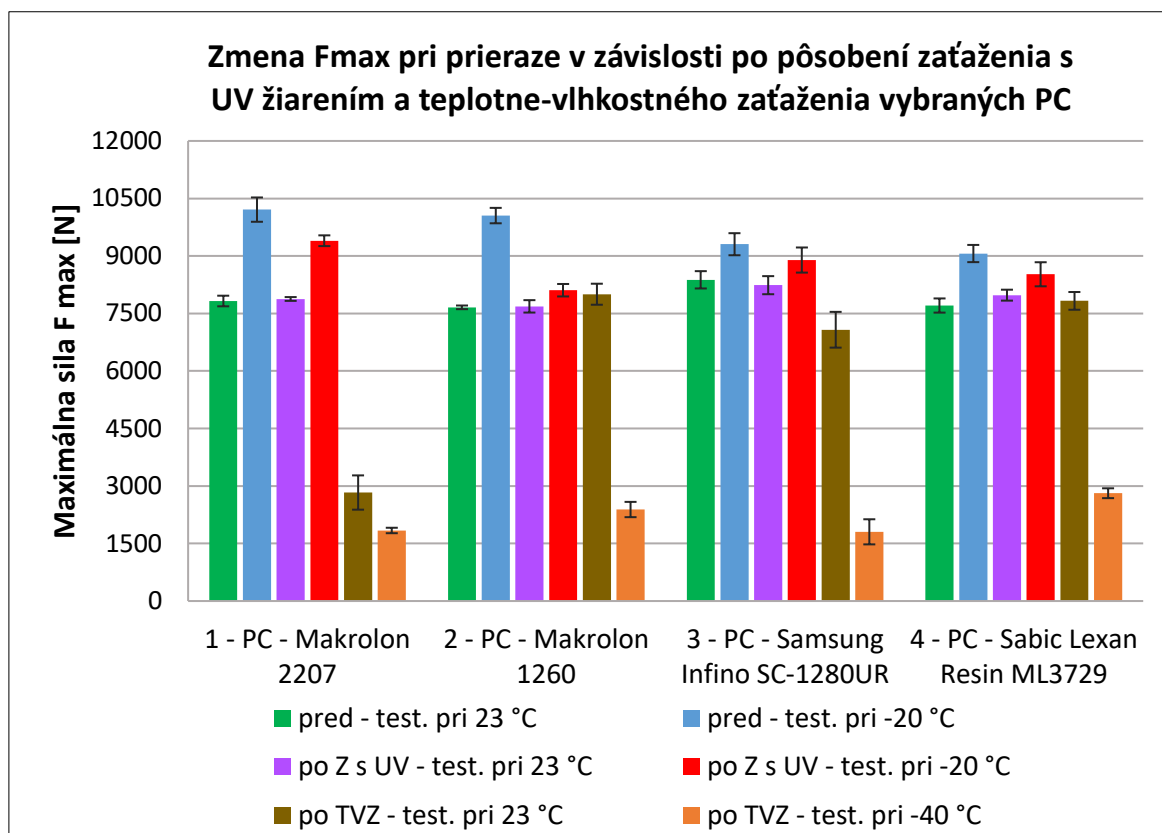
13.8 Porovnanie vrubovej húževnatosti a_k Ráz-Ťah v závislosti po pôsobení zaťaženia s UV žiarením a teplotne-vlhkostného zaťaženia



Obr. 64. Porovnanie a_k Ráz-Ťah po pôsobení zaťaženia s UV žiarením a teplotne-vlhkostného zaťaženia vybraných PC materiálov.

Po vykonaní rázovej skúšky v ťahu pri 23 °C bola najvyššia hodnota a_k Ráz-Ťah nameraná u materiálu 2 – PC – Makrolon 1260. U tohoto materiálu bol nameraný pri -20 °C, po Z s UV pri 23 °C a po Z s UV pri -20 °C približne rovnaký pokles hodnoty a_k Ráz-Ťah, pričom najvyšší pokles bol nameraný po TVZ pri 23 °C ako aj pri TVZ pri -20 °C približne o 63,5 %. U ostatných vybraných materiálov bol nameraný najvyšší pokles a_k Ráz-Ťah po TVZ pri 23 °C a po TVZ pri -20 °C.

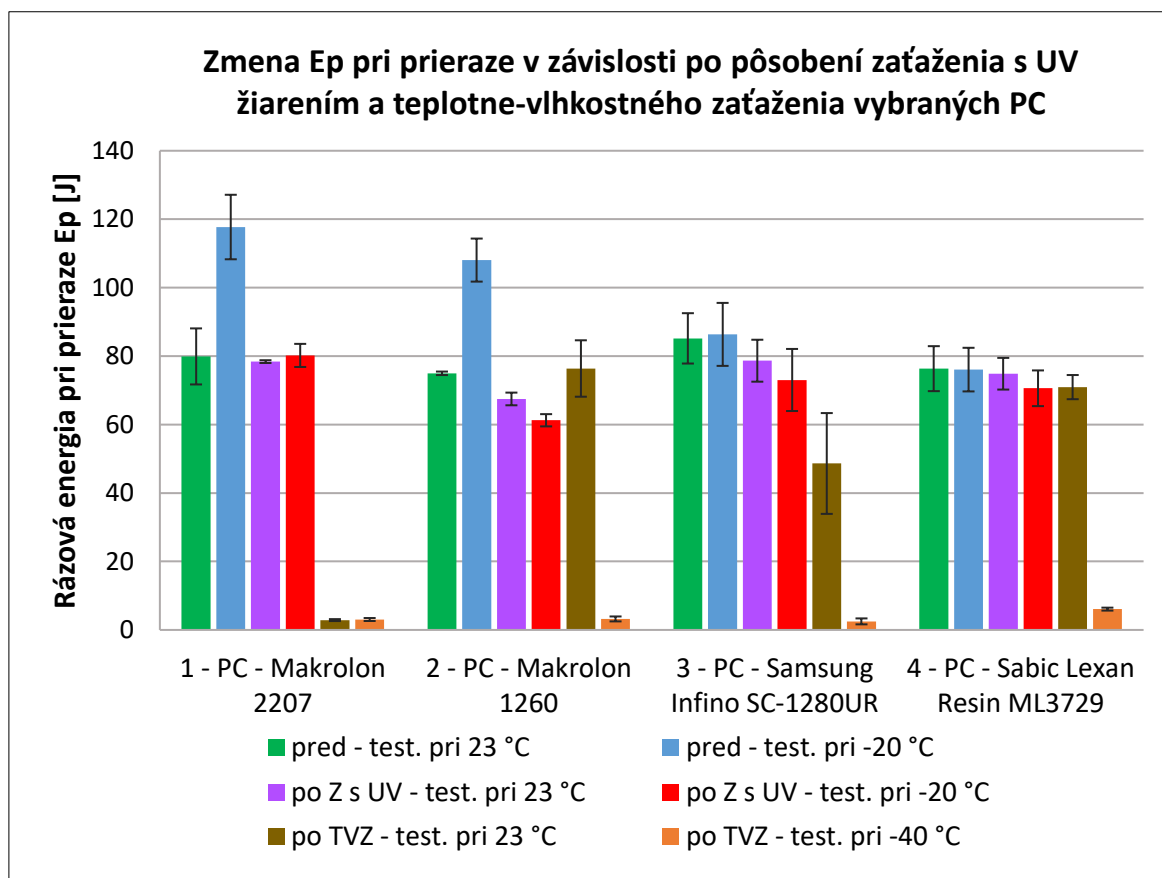
13.9 Porovnanie maximálnej sily F_{max} pri priereze v závislosti po pôsobení zaťaženia s UV žiarením a teplotne-vlhkostného zaťaženia



Obr. 65. Porovnanie F_{max} pri priereze po pôsobení zaťaženia s UV žiarením a teplotne-vlhkostného zaťaženia vybraných PC materiálov.

Po vykonaní rázovej skúšky bol u každého materiálu nameraný výrazný nárast F_{max} pri priereze pri -20 °C . Výrazný nárast F_{max} bol nameraný aj po Z s UV pri -20 °C a to hlavne u materiálu 1 – PC – Makrolon 2207. Po Z s UV pri 23 °C zostali u každého materiálu hodnoty F_{max} bez výraznejších zmien. K rapídному poklesu F_{max} pri priereze nastalo u každého materiálu po TVZ pri -40 °C , pričom výrazný pokles bol nameraný aj po TVZ pri 23 °C , ale iba u materiálu 1 – PC – Makrolon 2207. Po Z s UV pri 23 °C boli u každého materiálu namerané skoro žiadne zmeny F_{max} pri priereze.

13.10 Porovnanie rázovej energie pri priraze E_p v závislosti po pôsobení zaťaženia s UV žiarením a teplotne-vlhkostného zaťaženia



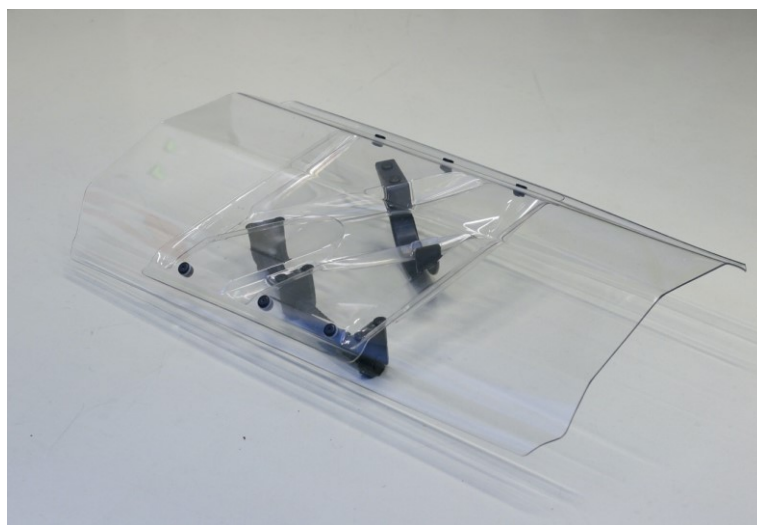
Obr. 66. Porovnanie E_p pri priraze po pôsobení zaťaženia s UV žiarením a teplotne-vlhkostného zaťaženia vybraných PC materiálov.

Po vykonaní skúšky prirazom došlo pri -20 °C k nárastu E_p pri priraze u dvoch vybraných materiálov, u 1 – PC – Makrolon 2207 a u 2 – PC makrolon 1260. Po Z s UV pri 23 °C a po Z s UV pri -20 °C bol nameraní výraznejší pokles E_p pri priraze iba u materiálu 2 – PC – Makrolon 1260. Rápídny pokles E_p pri priraze bol nameraní u každého vybraného materiálu po TVZ pri -40 °C , kedy došlo k poklesu skoro o 100 %. Po TVZ pri 23 °C došlo k rovnakému skoro 100% poklesu iba u jediného materiálu a to u 1- PC – Makrolon 2207. U materiálu 3 – PC – Samsung Infino SC-1280UR došlo po TVZ pri 23 °C tiež k poklesu, ale približne o 43%.

14 TESTOVANIE POLICAJNÉHO ŠTÍTU ESP AS-60-100/L

V kapitole 4.8. na str. 43 sú popísané polykarbonátové protiúderové policajné štíty od firmy ESP. Tento výrobca reprezentuje vo svojom komerčnom videu [82] jeden zo svojich polykarbonátových policajných štítov AS-60-100/L o hrúbke 3 mm ako efektívne dokáže odolať útokom „protestantov“, príp. „futbalových chuligánov“, vybavených rôznymi predmetmi a chladnými ručnými zbraňami ako je ručné kladivo, nôž, baseballová pálka, mačeta atď. a taktiež zápalnej fľaše tzv. „molotov kokteilu“. Dokonca sa vo videu podrobuje tento polykarbonátový štít balistickému testu a to výstrelom z brokovnice 12 GA s olovenými brokmi o veľkosti 3 mm z 10 metrov aj napriek tomu, že sa nejedná o balistický štít. Prekvapivo štít čiastočne odolal aj takémuto testu. Preto sme sa rozhodli túto diplomovú prácu obohatiť o vlastný „impact resistance test“ (test pevnosti) proti vybraným predmetom, aby sme nie len zistili či je takýto polykarbonátový štít naozaj taký odolný, ale aj ako sa správa samotný polykarbonát v reálnej aplikácii ako obranný prostriedok.

Polykarbonátový policajný štít AS-60-100/L bol zakúpený od spoločnosti AFG s. r. o. (obchod s vojenskými potrebami) za 3000 Kč (približne 116 eur). Ako udáva výrobca ESP, jedná sa o protiúderový policajný štít z 3 mm polykarbonátu o rozmeroch 57 x 100 cm - predná doska so zvislými zlomami a so šípovým tvarom, na ktorú je pripevnená na šiestich miestach druhá výstužná doska pre lepšie tlmenie nárazov, na ktorej je upevnené držalo pre úchop ľavej ruky s možnosťou úchopu obidvoma rukami a to všetko o hmotnosti 3,65 kg. Celkové spracovanie tohoto polykarbonátového štítu je veľmi pevné, kvalitné a z hľadiska hmotnosti ako aj držania v rukách pohodlné.

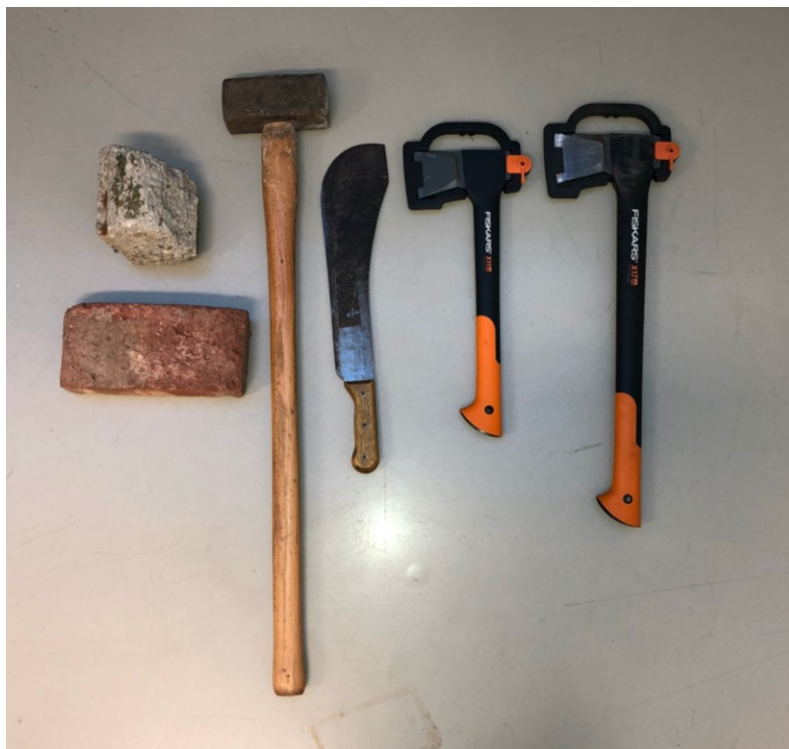


Obr. 67. Polykarbonátový protiúderový policajný štít AS-60-100/L pred testovaním.

14.1 Test pevnosti štítu proti vybraným predmetom

Polykarbonátový štít (ďalej len štít) sme pred testovaním z bezpečnostných dôvodov upevnili pomocou popruhov ležato o drevenú paletu, aby pri testovaní nedošlo k prípadnému zrazeniu osôb. Následne sme naším „impact resistance testom“ otestovali pevnosť štítu s vybranými predmetmi takýmto spôsobom:

- pád tehly o hmotnosti 3,64 kg približne z výšky 220 cm;
- pád betónovej kocky o hmotnosti 3,72 kg približne z výšky 220 c;
- úder kladivom o hmotnosti 5,68 kg;
- úder mačetou o hmotnosti 0.54 kg;
- úder menšou jednoručnou sekerou Fiskas o hmotnosti 1,08 kg;
- úder väčšou obojručnou sekerou Fiskas o hmotnosti 1,56 kg.



Obr. 68. Predmety použité počas testu pevnosti PC štítu ESP AS-60-100/L: tehla, betónová kocka, kladivo, mačeta, menšia jednoručná sekera a väčšia obojručná sekera.

Pre dokumentáciu ako aj vizualizáciu testovania sme použili digitálnu zrkadlovku Canon EOS 70D a vysokorýchlostnú kameru Olympus I-Speed FS.

14.1.1 Pád tehly

Do strednej spevnenej časti štítu bola približne z výšky 220 cm 2-krát voľne pustená tehla o hmotnosti 3,64 kg. V obidvoch prípadoch štít odolal bez žiadnych problémov pádu tehly, ktorá sa od neho odrazila a skotúľala po boku štítu vďaka jeho šípovému tvaru. Pády od tehliel spôsobili na povrchu štítu len nepodstatné škrabance bez žiadnych prasklín alebo preliačín (obr. 69). Test pokračoval pádom betónovej kocky.



Obr. 69. Škrabance spôsobené pádmi tehly.

14.1.2 Pád betónovej kocky

Rovnakým spôsobom ako pri tehle bola do spevneného stredu štítu dva-krát pustená z rovnakej výšky približne 220 cm betónová kocka o hmotnosti 3,72 kg. Betónová kocka sa po páde odrazila a skotúľala po boku štítu podobne ako tehla. V obidvoch prípadoch štít odolal pádu betónovej kocky bez žiadnych problémov a zostali na povrchu ďalšie škrabance bez prasklín alebo preliačín (obr. 70). Test pokračoval úderom kladivom.



Obr. 70. Škrabance po pádoch betónovej kocky a tehly.

14.1.3 Úder kladivom

Ďalej sme pokračovali s kladivom o hmotnosti 5,68 kg, s ktorým bol štít zasiahnutý dva-krát. Pri každom údere bolo kladivo uchopené obidvoma rukami a boli mierené so zášvihom spoza hlavy na strednú spevnenú časť štítu. Štít odolal obidvom silným úderom, ktoré zanechali v mieste zásahu ďalšie škrabance a menšie preliačneniny bez žiadnych viditeľných prasklín alebo výraznejšieho poškodenia (obr. 71). Test pokračoval úderom mačetou.



Obr. 71. Zasiahnuté miesto štítu po 2 úderoch s kladivom.

Úder mačetou

Po kladive nasledovala mačeta, s ktorou boli vykonané dva údery so zášvihom spoza hlavy do strednej spevnej časti štítu. Štít odolal obidvom silným úderom s mačetou bez prieniku cez 3 mm hrubý polykarbonát. V mieste zásahu zostali rezné stopy (obr. 72), ktoré žiadnym spôsobom neznížili funkcionality štítu. Test pokračoval úderom menšou jednoručnou sekerou.



Obr. 72. Zasiahnuté miesto štítu po 2 úderoch s mačetou, ktorá zanechala rezné stopy.

14.1.4 Úder menšou jednoručnou sekerou

Štít bol zasiahnutý menšou jednoručnou sekerou o hmotnosti 1,08 kg 2-krát do spevneného stredu štítu rovnako ako v prípade kladiva a mačety. Obidva údery boli so zášvihom a vedené spoza hlavy. Prvý úder jednoručnou sekerou prenikol cez štít (špičkou sekery) a zanechal rezné poškodenie bez iného poškodenia. Druhý úder však spôsobil v mieste zásahu, v jeho strednej časti, deštrukciu v podobe prasknutia, pričom sekera zostala zakliesnená v štíte (obr. 73). Pri prasknutí tejto zasiahutej časti štítu vznikli okrem prasklín aj malé úlomky.

Deštrukcia (prasknutie) štítu v tomto mieste nastala pravdepodobne z dôvodu oslabenia, ktoré bolo spôsobené predošlými zásahmi tehlo, betónovou kockou, kladivom a mačetou (rezné stopy, mikropraskliny). Pri druhom údere bola tiež zasiahnutá spevňovacia doska, ale bez žiadneho poškodenia. Aj napriek deštrukcii v strednej časti by bol štít naďalej schopný odolávať úderom mierených do iných častí. Preto sme test neukončili a pokračovali sme úderom väčšou obojručnou sekerou do jeho vrchnej časti.



Obr. 73. Prasknutie strednej časti štítu po druhom údere menšou jednoručnou sekerou.

14.1.5 Úder väčšou obojručnou sekerou

Ako posledné z nášho „impact resistance test“ nasledovali 4 údery väčšou obojručnou sekerou do vrchnej nespevnenej časti štítu. Štít v tejto časti odolal prvým trom úderom, ktoré zanechali rezné stopy bez žiadnych prasklín alebo preliačení. Štvrtý úder zasiahol štít trochu nižšie, kde začína spevňovacia doska. Pri tomto údere sekera prenikla cez štít a zostala zaseknutá v štíte až sa zastavila o spevňovaciu dosku (obr. 74). Napriek tomu, že sekera prešla cez štít, nevytvorili sa v mieste zásahu žiadne odlomené kusy alebo praskliny ako to bolo v prípade zásahu menšou jednoručnou sekerou do už oslabeného miesta.



Obr. 74. Väčšia sekera po štvrtom údere zaseknutá v štíte.

14.2 Diskusia k výsledku testu pevnosti proti vybraným predmetom

Polykarbonát je veľmi húževnatý polymér, ktorý dokáže absorbovať veľké množstvo energie. Preto sa dalo očakávať, že štít z polykarbonátu odolá bez problémov pádu tehly, betónovej kocky a mačety, s ktorými sa nedá vyvinúť energia potrebná k jeho zničeniu. Polykarbonát je však ako každý polymér náchylný na poškrabanie a preto tieto pády a zásahy ostrým predmetom spôsobili poškodenie v podobe škrabancov a zárezov. Údery s ťažkým kladivom o hmotnosti vyše 5 kg nám opäť potvrdili vysokú húževnatosť polykarbonátu. Avšak aj húževnatosť polykarbonátu má svoje hranice a preto opakované údery do toho istého miesta ju postupne znižovali. To sme mohli vidieť pri druhom zásahu menšou sekerou, kedy viacnásobne zasiahnuté miesto prasklo. Nasledovné údery mierené obojručnou sekerou do vrchnej časti štítu preukázali, že štít dokáže odolať aj takýmto útokom, ale nie dlhodobo.

Po zhrnutí dosiahnutých výsledkov môžeme prehlásiť, že polykarbonát môže byť svojou húževnatosťou vhodný materiál na výrobu obranných prostriedkov ako je policajný štít, avšak s výhradami. Podľa nášho testu by štít odolal úderom menších ostrých predmetov ako je mačeta a jej podobným chladným zbraniam, ktoré by spôsobili rezné povrchové poškodenia. Ďalej by štít odolal tupým predmetom ako je kladivo, kamene a im podobným, ktoré by sa mali odraziť a spôsobiť iba povrchové poškodenia akými sú škrabance. Problémy by mohli spôsobiť väčšie ostré predmety ako je sekera, ktorá by dokázala po viacnásobných úderoch štít zničiť. Z toho dôvodu je nasadenie takéhoto typu štítu pri malých nepokojoch, futbalových zápasoch, vo väzniciach alebo menších pouličných bitkách vyhovujúce, ale v prípade nasadenia pri veľkých protestoch môže byť jeho pevnosť nedostatočná.

Ku koncu je nutné spomenúť, že polykarbonátový štít poskytuje okrem uspokojivej ochrany tiež vysokú flexibilitu, vďaka nízkej hmotnosti a to v kombinácii s relatívne nízkou cenou. Táto kombinácia by sa mohla využiť tiež napr. pri cvičeniach bezpečnostných jednotiek, nováčikov, aby si osvojili vo všeobecnosti bojové techniky s protiúderovým štítom, ktoré by mohli ďalej aplikovať pri cvičeniach s normálnymi ťažkými štítmami alebo pri skutočných zásahoch. Preto si myslím, že sa jedná v konečnom výsledku o vydarený produkt, ktorý ponúka využitie v rozličných aplikáciách.

14.3 Inštrumentovaná skúška prierazom – metóda padajúceho tíku

Po ukončení testu pevnosti proti vybraným predmetom bola nepoškodená spodná časť štítu rozrezaná na skúšobné telesá o rozmeroch 60 x 60 x 3 mm pre skúšku prierazom. Tieto skúšobné telesá boli testované za normálnych ako aj klimatických podmienok pri bežnej a zníženej teplote ako pri testovaní vybraných PC materiálov.

Narezané skúšobné telesá zo štítu boli vystavené vplyvom starnutia v klimatickej komore rovnako ako v podkapitole 10.3 na str. 75, postup testovania skúšky prierazom bol rovnaký ako v podkapitole 11.5 na str. 80 a vyhodnotenie nameraných výsledkov prebehlo štatisticky podľa kapitoly 12 na str. 81. Vyhodnotenie dát je zobrazené v nasledujúcej podpodkapitole 14.3.1 v tab. 65 – maximálna sila F_{max} pri priereze a v tab. 66 – rázová energia pri priereze E_p .

14.3.1 Vyhodnotenie dát inštrumentovanej skúšky prierazom – metóda padajúceho tíku

Tab. 65. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} pri priereze zo skúšobných telies vyrobených z PC štítu.

Protiúderový štít ESP AS-60-100/L						
Maximálna sila F_{max} [N]	X	m	s	u_A	min	max
Testované pri 23 °C	9111,2	9077,0	413,1	130,6	8202,6	9712,2
Testované pri -20 °C	9603,0	9574,8	127,1	40,2	9451,1	9754,2
Testované po Z s UV pri 23°C	8159,9	8086,8	409,6	129,5	7717,3	9082,0
Testované po TVZ pri 23 °C	9854,6	9756,8	203,5	64,4	9669,2	10137,9
Testované po TVZ pri -40 °C	6954,2	6804,6	349,8	110,6	6696,4	7646,0

Pri -20 °C bol nameraný nárast maximálnej sily F_{max} pri priereze o približne 5,4 %. Po TVZ s UV pri 23 °C klesla maximálna sila F_{max} pri priereze o približne 10,4 %. Po TVZ pri 23 °C stúpila maximálna sila F_{max} pri priereze približne o 8,2 % a pri -40 °C klesla približne o 23,7 %.

Tab. 66. Štatistické vyhodnotenie rázovej energie pri priereze pri priereze E_p zo skúšobných telies vyrobených z PC štítu.

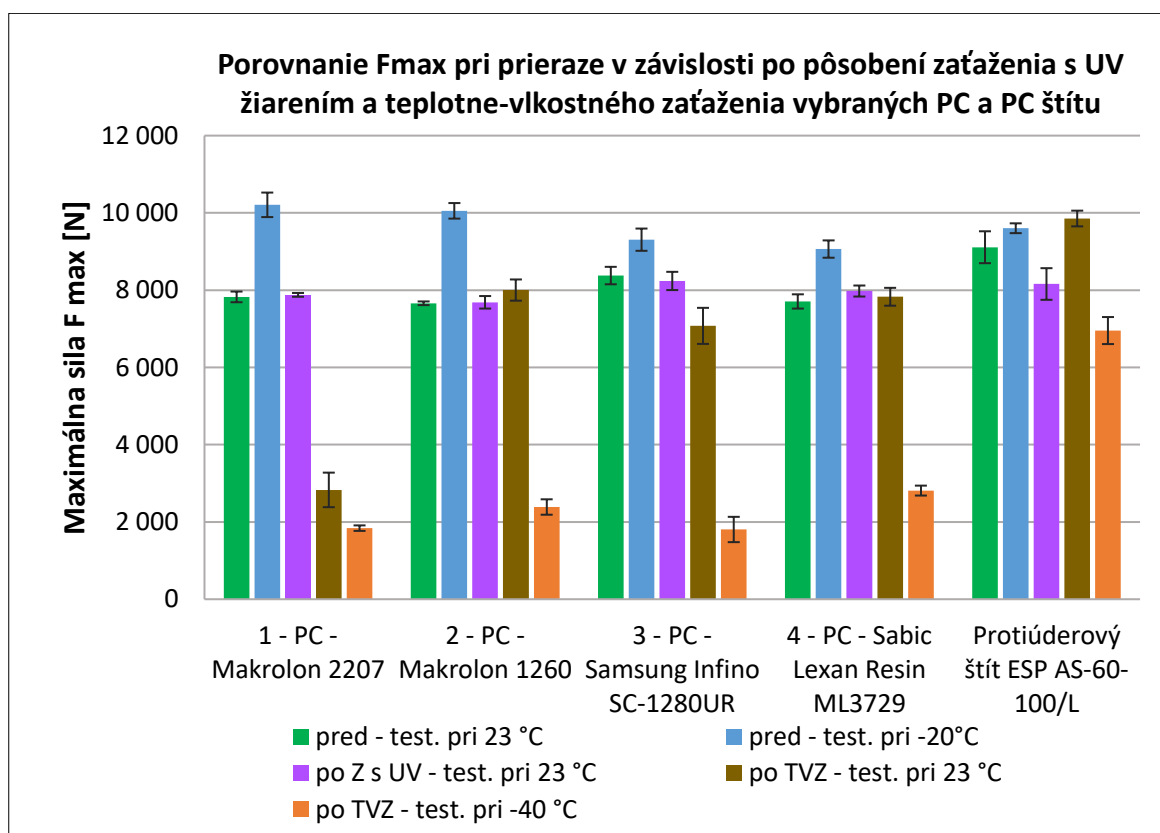
Protiúderový štít ESP AS-60-100/L						
Rázová energia pri priereze E_p [J]	X	m	s	u_A	min	max
Testované pri 23 °C	117,0	116,9	10,2	3,2	93,4	129,1
Testované pri -20 °C	106,9	107,2	3,6	1,1	102,3	113,1
Testované po Z s UV pri 23°C	96,0	94,8	9,9	3,1	83,0	117,7
Testované po TVZ pri 23 °C	103,8	102,1	10,3	3,3	92,1	117,2
Testované po TVZ pri -40 °C	31,6	29,7	4,0	1,3	29,4	39,5

Pri $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ bol nameraný pokles rázovej energie pri priraze E_p pri priraze približne o 8,6 %. Po TVZ s UV pri $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ klesla rázová energia pri priraze E_p pri priraze približne o 17,9 %. Po TVZ pri $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ klesla rázová energia pri priraze E_p o približne 11,3 % a pri $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ približne o 72,9 %.

14.4 Diskusia k dosiahnutým výsledkom inštrumentovanej skúšky prirazom – metóda padajúceho tíku

Podľa výsledkov dosiahnutých inštrumentovanou skúškou zo skúšobných telies PC štítu v podkapitole 14.3.1. na str. 124 nastali taktiež zmeny mechanických vlastností po pôsobení vplyvov starnutia ako u vybraných PC materiálov. V nasledujúcich podkapitolách budú tieto zmeny porovnané. Toto porovnanie bude slúžiť nie len na zistenie zmien vlastností, ale hlavne aké mechanické vlastnosti dosiahol PC štítu oproti našim vybraným PC materiálom.

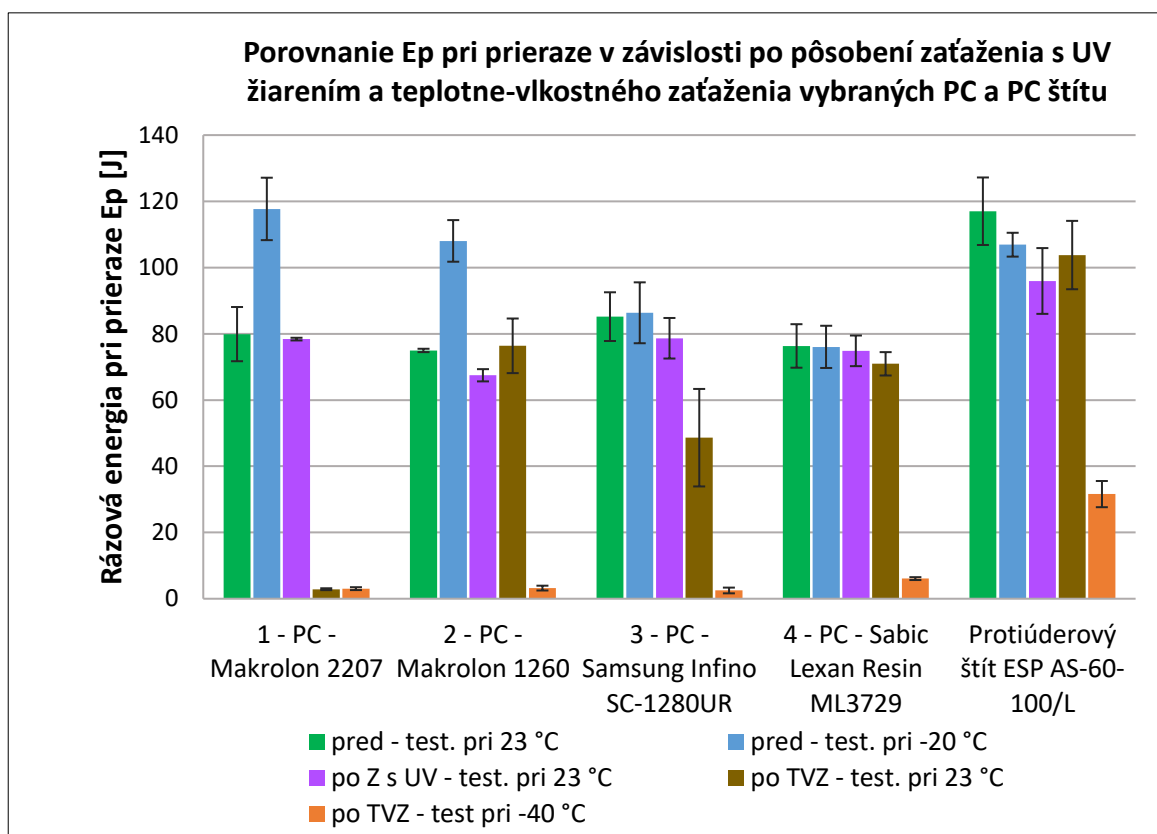
14.4.1 Porovnanie maximálnej sily F_{max} pri priraze – polykarbonát štítu s vybranými druhmi polykarbonátu



Obr. 75. Porovnanie zmien F_{max} pri priraze vybraných PC materiálov a PC štítu.

Po vykonaní skúšky prierazom pri 23 °C dosiahol najvyššiu hodnotu F_{max} pri priereze PC štítu a to v priemere o 15,4% v porovnaní s našimi vybranými PC materiálmi. PC štítu vykazuje v porovnaní s našimi vybranými PC materiálmi celkovo lepšie mechanické vlastnosti hlavne po TVZ pri -40 °C, kedy došlo k poklesu hodnoty F_{max} pri priereze, ale nie tak výrazne ako u našich vybraných PC materiálov. Avšak naše vybrané PC materiály vykazujú lepšiu odolnosť proti UV žiareniu, pretože u nich po Z s UV pri 23 °C nenastal žiadny pokles F_{max} ako u PC štítu.

14.4.2 Porovnanie rázovej energie pri priereze E_p – polykarbonát štítu s vybranými druhmi polykarbonátu



Obr. 76. Porovnanie zmien E_p pri priereze vybraných PC materiálov a PC štítu.

Po vykonaní skúšky prierazom pri 23 °C dosiahol opäť najvyššiu hodnotu E_p pri priereze PC štítu. PC štítu vykazuje v porovnaní s našimi vybranými PC materiálmi celkovo opäť lepšie mechanické vlastnosti, tiež hlavne po TVZ pri -40 °C, kedy došlo k poklesu hodnoty E_p pri priereze, ale nie tak výrazne ako u našich vybraných PC materiálov.

ZÁVER

Cieľom diplomovej práce bolo testovanie ochranných prvkov z polykarbonátu. V teoretickej časti boli všeobecne popísané polyméry so zameraním na polykarbonát s jeho výrobou a spracovaním ako aj s využitím. Následne boli podrobne popísané ochranné a obranné prvky vyrobené z polykarbonátu, čím bolo dokazené, že polykarbonát našiel využitie aj v takejto aplikácii. Pre praktickú časť boli vybrané 4 druhy polykarbonátov (Makrolon 2207, Makrolon 1260, Samsung Ingino SC-1280UR a Lexan Resin ML3729), ktoré boli podrobené komplexnému skúmaniu mechanických vlastností a to pomocou rôznych statických a rázových skúšok za bežných i klimatických podmienok pri rôznych teplotách. Vybrané druhy polykarbonátov boli vyrobené hlavne technológiou vstrekovanie. V tejto časti práce sa nachádza celý proces výroby a prípravy skúšobných telies, prevedenie mechanických skúšok a následné štatistické spracovanie nameraných výsledkov a ich vyhodnotenie spolu s grafickým spracovaním.

Cieľ diplomovej práce bol rozšírený o testovanie obranného prvku z polykarbonátu z teoretickej časti – protiúderový policajný štít, ktorý bol podrobený testu pevnosti proti vybraným predmetom, ktorý preukázal, že polykarbonát ako materiál môže byť vhodný pre túto aplikáciu, ktorá je zdôvodnená v kapitole 14.2. na str. 123. Následne boli skúmané jeho mechanické vlastnosti inštrumentovanou skúškou prierazom a porovnané s našimi vybranými druhmi polykarbonátov. Získané výsledky boli taktiež graficky a štatisticky spracované.

Polykarbonát štítu dosiahol v porovnaní s našimi vybranými druhmi polykarbonátu za rovnakých podmienok lepšie mechanické vlastnosti, hlavne v mínusových teplotách. Tieto lepšie mechanické vlastnosti dokázal výrobca štítu pravdepodobne docieľiť buď modifikáciou samotného polykarbonátu alebo použil inú výrobnú technológiu ako je vstrekovanie, pravdepodobne „tvarovaním“, s ktorým sa dajú spracovať vysokoviskózne polykarbonáty, ktoré majú vyššiu rázovú odolnosť v mínusových teplotách.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY

- [1] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006. ISBN -80-7080-617-6.
- [2] STOKALA, Karel. *Makromolekulární chemie I*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2005
- [3] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. Svitavy: Code-Creator, ISBN 970-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>
- [4] LIPTÁKOVÁ Tatiana, ALEXY Pavol, GONDÁR Ernest, KHUNOVÁ Viera. *Polymérne konštrukčné materiály*. 1. vydanie. Žilina: EDIS-vydavateľstvo, 2012. ISBN 978-80-554-0505-6.
- [5] DOMININGHAUS, Hans. *Plastics for Engineers : Material, Properties, Applications*. Munich : Hanser, 1993. 785 s. ISBN 3446157239
- [6] LENFELD Petr. *Technologie II část 2. – „Technologie zpracování plastů“* [online]. Technická univerzita Liberec, [cit. 2019-11-28]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
- [7] Svorčík, Václav, *Polymery stručně* [online]. [cit. 2019-11-28]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/4894705-V-svorcik-polymery-polymery-strucne.html>
- [8] Polyaddition. In: *lernhelfer.de* [online.]. Berlin: SIRUP, 2019, [cit. 2019-11-28]. Dostupné z: <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/chemie-abitur/artikel/polyaddition>
- [9] Polymerisation. In: *Chémia* [online]. [cit. 2019-11-28]. Dostupné z: http://kekule.science.upjs.sk/chemia/mvp_net/Odpad/transparenty.html
- [10] Polyméry. In: *Polyméry* [online.] [cit. 2019-11-28]. Dostupné z: <https://cloud2.edupage.org/cloud/polymery.pdf?z%3AaiGgHWPCACINRQTRzYm00edfnIzStlIkBMU0mEKxvLDnioMqSj2X6u3uO9nUp6Yp>
- [11] KRATOCHVÍL, Bohumil, ŠVORČÍK Václav, VOJTĚCH Dalibor. *Úvod do studia materiálu*. Vyd. 1. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005, 190 s, ISBN 80-7080-568-4

- [12] MACHEK Václav a Jaromír SODOMKA. *Nauka o materiálu. 4.část, Polymery a kompozity s polymerní matricí*. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2008, 86 s.: il. ; 30 cm. ISBN 978-80-554-0505-6
- [13] Nauka o materiálu, In: Nauka o materiálu. [online]. [cit. 2019-11-28]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/mattech/01_Materialem%20letem%20svetem.pdf
- [14] PROKOPOVÁ, Irena. *Makromolekulární chemie*. 2nd ed. Praha: VŠCHT Praha, 2007. P. 041. ISBN 978-80-7080-662-3.
- [15] OSSWALD, Tim A. and MENGES, Georg. (2012). *Material Science Of Polymers for Engineers* (3rd Edition). Hanser Publishers. Dostupné online z: https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpMSPEE002/viewerType:toc//root_slug:material-science-polymers/url_slug:material-science-polymers
- [16] MLEZIVA, J. *Polymery: výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přeprac. Vy. Praha: Sobotáles, 2000, 537. s. ISBN 80-859-2072-7.
- [17] PŘIBÍK, M. *Polykarbonáty a jejich možnost použití ve staveních konstrukcích*. Bakalářská práce, Ostrava: VŠB-TUO, 2010, 38 s.
- [18] KINCL, Jaromír, Miroslav ŠRÁMEK, Antonín PÁNEK. *Polykarbonáty*. Vyd. 1. Praha: Státní nakl. Technické literatury. 1966, 159 s.
- [19] BĚHÁLEK, Luboš, *Polymery* [online]. Svitavy: Code-Creator, ISBN 970-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/18.html>
- [20] Čo je to Bisfenol A. In: *bocianiehniedzdo.sk* [online.]. [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <https://www.bocianiehniedzdo.sk/content/co-je-to-bisfenol-a/>
- [21] Bisfenol A, Handling Guide. In: *bisphenol-a.org* [online.]. [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <http://www.bisphenol-a.org/pdf/BPA%20Handling%20Guide%20-%20Single%20Page%20Layout%20-%20February%202013.pdf>
- [22] Bisfenol A. In: *arnika.org* [online.]. [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <https://arnika.org/bisfenol-a>
- [23] Fosgen. In: *chemia3a.blogspot.com* [online.]. [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <http://chemie3a.blogspot.com/2012/01/fosgen.html>

- [24] PEACOCK, A. J. a A. R. CALHOUN. Polymer chemistry: properties and applications. Cincinnati, Ohio: Hanser Gardner Publications, 2006, 397 s. ISBN 978-344-6222-830.
- [25] THOMAS, Sabu a Visakh P. M., Handbook of engineering and specialty thermoplastics. Hoboken: Wiley, 2011, 558 s. ISBN 978-0-470-63926-9.
- [26] JANČÁŘ, J. *Úvod do materiálového inženýrstva polymerních kompozitů*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2003. 194 s. ISBN 80-214-2443-5.
- [27] Polymér – čo to je? Výroba polymérov. In: optomadecor.ru [online.]. [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <https://optomadecor.ru/sk/mebel-i-predmety-interera/polymer-what-is-it-manufacture-of-polymers.html>
- [28] A complete guide to Polycarbonate. In: omnexus.specialchem.com [online.]. [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polycarbonate-pc-plastic#Properties>
- [29] AUSPERGER, Aleš. *Technologie zpracování plastů* [online.]. In: publi.cz [cit. 2019-12-20]. ISBN 978-80-88058-77-9- Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/Uvod.html>
- [30] MICHAELI, Walter. Training in injection molding: a text-and workbook. 2nd. ed. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, c2001. ISBN 1-56990-302-6.
- [31] BRYCE, Douglas M. Plastic injection molding: mold design and construction fundamentals. Dearborn, Mich.: Society of Manufacturing Engineers, 1998. ISBN 0-87263-495-7.
- [32] REES, Herbert. Understanding injection mold design. Cincinnati, OH: Hanser Gardner Publications, 2001, xii, 115 p. ISBN 15-699-0311-5.
- [33] RŮŽIČKA, Karel, POSPÍŠIL, Ladislav a BOBOVSKÝ, Jaroslav. Směrnice pro konstrukci vstřikovacích forem I. Zlín: VÚGPT, 1979.
- [34] Part and mold design: thermoplastics [online.]. [cit. 2019-12-20]. Dostupné online z: https://www.academia.edu/6392393/A_Design_Guide_Part_and_Mold_Design_Engineering_Polymers
- [35] BOBČÍK, L. *Formy pro zpracování plastů: vstřikování termoplastů*. Díl 1. 2. upr. vyd. Brno: Uniplast, 1999. 133 s.

- [36] BEAUMONT, John P., R. NAGEL a R SHERMAN. *Successful injection molding: proces, design, and simulation; with CD-ROM*. Munich [u.a.]: Hanser, 2002. ISBN: 34-461-9433-9
- [37] Polykarbonát. In: *hobbytec.sk* [online]. [cit. 2019-12-20]. Dostupné z: <https://www.hobbytec.sk/clanky/detail/polykarbonat.htm>
- [38] JÍLEK, Bohumil. *Výroba vstřikovací formy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 83 s., 2 přílohy. Vedoucí práce doc. Ing. Piška, CSc.
- [39] Lenfeld, Petr. *Technologie vstřikování* [online.]. In: *publi.cz* [cit. 2019-12-20]. ISBN 978-80-88058-74-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/03.html>
- [40] Evaluating the use of polycarbonate glassware in pubs and clubs. In: *childreninwales.org.uk* [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <http://www.childreninwales.org.uk/wp-content/uploads/2014/05/Evaluating-the-use-of-polycarbonate-glass-in-pubs-and-clubs-in-preventing-serious-harm-caused-through-injury-and-violence.pdf>
- [41] EN166:2001 ochrana zraku. In: *rempo.sk* [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <http://www.rempo.sk/files/documents/maloobchod/Pages%20from%20SK-katalog-2013-2014-novy-portwest-358-365.pdf>
- [42] Polykarbonátová ochrana displeje RedPoint na mobil. In: *promobily.cz* [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.promobily.cz/polykarbonatove-tvrzene-sklo-na-samsung-a3-2017-redpoint-3d-zahnute-cerne>
- [43] Ochranná fólie Blue Star (z polykarbonátu). In: *promobily.cz* [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.forcell.cz/ochrann-folie/ochranna-folie-blue-star-lg-l40--d160--z-polykarbonatu/>
- [44] Originální plastové pouzdro Samsung Clear View. In: *zbozi.cz* [online]. [cit. 2022-01-04]. Dostupné z: <https://www.zbozi.cz/vyrobek/samsung-flip-clear-view-pro-galaxy-s10e-cerne/>
- [45] Jak vybrat bezpečnostní sklo do obráběcího stroje. In: *mmspektrum.com* [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/jak-vybrat-bezpecnostni-sklo-do-obrabeciho-stroje.html>
- [46] Policejní tonfa. In: *euro-security.info* [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.euro-security.info/cs/tonfy.html>

- [47] Protiúderové policejní štíty. In: *euro-security.info* [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.euro-security.info/cs/protiuderove-policejni-stity.html>
- [48] Jak vybrat helmu na motorku? Ultimátní průvodce výběrem helmy. In: *motohodnoceni.cz* [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://motohodnoceni.cz/rady-a-tipy/jak-vybrat-helmu-na-motorku-ultimatni-pruvodce-vyberem-helmy/>
- [49] Nástěnné nárazníky, svodidla z polykarbonátu do prodejen a obchodních center. In: *3csystems.cz* [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.3csystems.cz/nastenne-narazniky-svodidla-z-polykarbonatu>
- [50] MORAVČÍK Roman, Marián HAZLINGER, Mária HUDÁKOVÁ, Maroš MARTINKOVIČ a Roman ČIČKA. *Náuka o materiáloch I*. Trnava: AlumniPress, 2010. ISBN 978-80-8096-123-7.
- [51] Mechanické vlastnosti materiálů. In: *spstjbc.cz* [online]. [cit. 2020-01-06]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/84625-Sttn1-mechanicke-vlastnosti-materialu-projekt-podpora-vyuky-v-cizich-jazycich-na-spst.html>
- [52] DRIML, Bohuslav. Základní vlastnosti materiálů a jejich zkoušení [online]. [cit. 2020-01-06]. Dostupné z: http://chemikalie.upol.cz/skripta/mvm/zkousky_mat.pdf
- [53] Zkouška rázem v ohybu. In: *elux.krolomoucky.cz* [online]. [cit. 2020-01-28]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1567>
- [54] Zkouška rázem v ohybu – zkouška vrubové houževnatosti. In: *spszengrova.cz* [online]. [cit. 2020-01-06]. Dostupné z: https://www.spszengrova.cz/texty/texty/KOM/KOM_3_9_SPU-zkouska_vrubove_houzenvnatosti.pdf
- [55] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Grada Publishing, 2018. 464 s. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [56] RYBNIKÁŘ, František, Zdeněk DITRYCH, Zdeněk KLÁCEL a Oldřich ORDELT. *Analýza a zkoušení plastických hmot*. Vyd. 1. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965, 418 s. Řada chemické literatury.
- [57] BOHUMÍNSKÝ, Stanislav, *Zkoušení materiálů I*. [online]. [cit. 2020-01-28]. Dostupné z: <https://www.moodle-trebesin.cz/mod/folder/view.php?id=7826>

- [58] Seznam studijních textů – Kontrolní a zkušební metody – 11. Dynamické zkoušky, In: ufmi.ft.utb.cz [online]. [cit. 2020-01-29] Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_11.pdf
- [59] MIZERA, Aleš. Zkušební zpráva – padostroj. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2019.
- [60] Seznam studijních textů – Kontrolní a zkušební metody – 14. Zkoušky stárnutí, In: ufmi.ft.utb.cz [online]. [cit. 2020-01-30] Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_14.pdf
- [61] HAGEN, Vladislav. *Únava a stárnutí materiálu*. 2. vyd. Brno: VUT, 1981, 76 s. Učební texty vysokých škol.
- [62] ŠVEC, PETR. *Polystyren a jeho modifikace*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985, 366 s.
- [63] DOLEŽEL, Břetislav. *Odolnost plastů a pryží*. Vyd. 1. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1981. 719 s. Makromolekulární látky.
- [64] Pokročilé polymerní materiály a kompozity – Josef Jančár, In: ceitec.cz [online]. [cit. 2020-01-30] Dostupné z: <https://www.ceitec.cz/pokrocile-polymerni-materialy-a-kompozity-josef-jancar/rg14#ageing>
- [65] ARBURG Allrounder 470C Golden Edition, In: ceitec.cz [online]. [cit. 2020-05-06] Dostupné z: https://www.arburg.com/fileadmin/redaktion/Mediathek/Technische_Daten/ARBURG_A_LLROUNDER_470C_GOLDEN_EDITION_TD_523679_en_GB.pdf
- [66] CebiaTech – *Návrh prototypů a jejich realizace*, 2016.
- [67] MIZERA, Aleš. Teplotní odolnost vybraných polymerů. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011, 171 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/15131>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedúci práce Maňas, Miroslav.
- [68] Dynamic – New climatic and thermostatic chambers, In: thermofisher.com [online]. [cit. 2020-05-06] Dostupné z: https://www.thermofisher.com.au/Uploads/file/Environmental-Industrial/Environmental-Monitoring-Safety/Environmental-Simulation/Environmental-Test-Chambers/Angelantoni/pdf/IP_Angelantoni_Discovery_Brochure.pdf

- [69] Měřicí, kontrolní a testovací stroje, měřidla, optické přístroje, snímače, měřící ústředny, In: ft.utb.cz [online]. [cit. 2020-05-06] Dostupné z: <https://ft.utb.cz/ustav-vyrobnihoinzenyrstvi/veda-a-vyzkum/pristrojove-vybaveni/merici-kontrolni-a-testovaci-stroje/>
- [70] HUBÁČEK, Ondřej. Vliv teplotního zatížení na mechanické vlastnosti modifikovaných polyolefinů. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2014, 92 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/28733>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedúci práce Mizera, Aleš.
- [71] CebiaTech – *Mechanické zkoušení materiálů*, 2016.
- [72] HIT Pendulum Impact Testers from 5 to 50 Joules, In: zwickroell.com [online]. [cit. 2020-05-09] Dostupné z: https://www.zwickroell.com/-/media/files/sharepoint/vertriebsdoku_br/14_573_hit_pendulum_impact_testers_5_to_50_joule_fp_en.pdf
- [73] Drop weight Testers up to 2000 Joules, In: zwickroell.com [online]. [cit. 2020-05-09] Dostupné z: <https://www.zwickroell.com/en/impact-testing-machine/drop-weight-impact-tester-up-to-2000-j>
- [74] Olympus – i-SPEED specifications, In: atecorp.com [online]. [cit. 2020-05-09] Dostupné z: https://www.atecorp.com/ATECorp/media/pdfs/data-sheets/Olympus-I-SPEED-Series_Brochure.pdf
- [75] Digitální zrcadlovka Canon EOS 70D tělo, In: megapixel.cz [online]. [cit. 2020-05-09] Dostupné z: <https://www.megapixel.cz/canon-eos-70d-telo>
- [76] Makrolon, In: solutions.covestro.com [online]. [cit. 2020-05-11] Dostupné z: <https://solutions.covestro.com/en/brands/makrolon>
- [77] Čo je to Lexan a kde ho využíváme?, In: lexmont.sk [online]. [cit. 2020-05-11] Dostupné z: <https://www.lexmont.sk/co-je-to-lexan-a-kde-ho-vyuzivame/>
- [78] Lexan Resin, In: sabic.com [online]. [cit. 2020-05-11] Dostupné z: <https://www.sabic.com/en/products/polymers/polycarbonate-pc/lexan-resin>
- [79] Samsung Infino PC, In: samsungchemical.com [online]. [cit. 2020-05-11] Dostupné z: https://www.samsungchemical.com/jsp/eng/pr_center/sm_brochure.jsp

- [80] Notching device Ceast manual Notchvis, In: samsungchemical.com [online]. [cit. 2020-05-11] Dostupné z: <http://www.cps.utb.cz/cs/aktuality/39-mechanical-operations-mixing/418-notching-device-ceast-manual-notchvis>
- [81] MIZERA, Aleš. *Studium teplotní odolnosti termoplastů*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011, 123 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/26822>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedúci práce Maňas, Miroslav.
- [82] Test of ESP Antiriot shield, In: sabic.com [online]. [cit. 2020-07-10] Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=p3mrXke-49Q>

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

PC	Polykarbonát
PE	Polyethylén
PP	Polypropylén
PMMA	Polymetylmetakrylát
PS	Polystyrol
PTFE	Polytetrafluóretylén
h	Hodina
l	Liter
s	Sekunda
s	Smerodajná odchýlka výberového súboru
ns	Nanosekunda
K	Kelvin
J	Joule
KJ	Kilojoule
V	Volt
cm	Centimeter
kg	Kilogram
kW	KiloWatt
m	Medián
max	Maximálna hodnota výberového súboru
min	Minimálna hodnota výberového súboru
mm	Milimeter
N	Newton
fps	Snímky za sekundu
px	Pixel

GB	Gigabyte
MHz	Megaherc
MPa	Megapascal
Mpx	Megapixel
TVZ	Teplotne-vlhkostné zaťaženie
u_A	Štandardná neistota typu A
$s^2(x_i)$	Výberový rozptyl
$s^2(X)$	Rozptyl výberového rozptylu
\bar{X}	Odhad aritmetického premiehu
TVZ	Teplotne-vlhkostné zaťaženie
Z s UV	Zaťaženie s UV žiarením
a_k	Vrubová húževnatosť [J]
E	Modul pružnosti [MPa]
E_p	Rázová energia pri prieraze [J]
F_{max}	Maximálna sila [N]
σ_{Pt}	Medza pevnosti v ťahu [MPa]
ε	Pomerné predĺženie [mm]
°C	Stupeň Celzia
%	Percento

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1. Polymerizácia etylénu C ₂ H ₄ na polyetylén. [9]	15
Obr. 2. Schéma usporiadania stavebných jednotiek v kopolymére. [4]	16
Obr. 3. Vznik nylonu 66 polykondenzáciou. [7]	17
Obr. 4. Vznik polyuretánu polyadíciou. [10]	17
Obr. 5. Primárne rozdelenie polymérov. [1]	18
Obr. 6. Chemický vzorec polykarbonátu. [1]	20
Obr. 7. Príprava bisfenolu A. [21]	22
Obr. 8. Príprava fosgénu. [23]	22
Obr. 9. Príprava difenylkarbonátu. [18]	22
Obr. 10. Reakčné schéma priamej fosgenácie. [18]	23
Obr. 11. Reakčné schéma reesterifikácie. [18]	24
Obr. 12. Popis jednoduchovej vstrekovacej formy. [34]	27
Obr. 13. Schéma vstrekovacieho stroja. [4]	30
Obr. 14. Rez vstrekovacou jednotkou. [6]	30
Obr. 15. Hydraulická uzatváracia jednotka. [6]	31
Obr. 16. Cyklus vstrekovania. [6]	32
Obr. 17. Ochranné okuliare s priamym vetraním a štítová maska z PC. [41]	37
Obr. 18. Zváračské okuliare s bezpečnostnými sklami z polykarbonátu. [41]	37
Obr. 19. Chránič obočia so štítom a ochranou sluchu. [4]	37
Obr. 20. Tvrdené sklo na mobilný telefón z polykarbonátu. [42]	38
Obr. 21. Ochranná fólia na mobilný telefón. [43]	39
Obr. 22. Ochranné pudzro z polykarbonátu – flipové prevedenie. [44]	39
Obr. 23. Prerazenie nevhodného bezpečnostného skla letiacim projektilom. [45]	40
Obr. 24. Bezpečnostné sklo zo samotného tvrdeného polykarbonátu. [45]	41
Obr. 25. Bezpečnostné sklo z tvrdeného polykarbonátu a kaleného skla. [45]	41
Obr. 26. Bezpečnostné sklo z tvrdeného polykarbonátu a kaleného skla s dutinou. [45] ..	42
Obr. 27. Policajná tonfa TF-24-59 a TR-24/59-PC. [46]	43
Obr. 28. Klasický protiúderový štít s rôznym prevedením úchopu a tvaru. [47]	44
Obr. 29. Zadrživací štít ACS-60-120. [47]	45
Obr. 30. Oválny štít a jeho rôzne prevedenia úchopu. [47]	45
Obr. 31. Vzájomne spojitelné protiúderové štíty. [47]	46
Obr. 32. Motorkárska helma z polykarbonátu. [48]	47
Obr. 33. Podlahové zvodidlá z polykarbonátu s hliníkovým jadrom chrániace vybavenie predajne. [49]	47

Obr. 34. Pracovný diagram ťahovej skúšky. [56].....	50
Obr. 35. Zaťažovanie trojbodovým (vľavo a) a štvorbodovým (vpravo b) ohybom. [3]	50
Obr. 36. Charpyho kladivo. [53].....	51
Obr. 37. Priebeh rázovej skúšky Charpy. [3].....	52
Obr. 38. Komerčne dostupný pádstroj. [59]	53
Obr. 39. Vstrekovací stroj ARBURG Allrounder 470C 1500 – 400 GE. [66].....	60
Obr. 40. Cirkulácia sušiaceho média v sušiacjej jednotke ARBURG THERMOLIFT 100-2. [67].....	62
Obr. 41. Sušiacia jednotka ARBURG THERMOLIFT 100-2. [67]	62
Obr. 42. Klimatická komora Discovery My DM340. [68]	63
Obr. 43. Univerzálny stroj ZWICK Roell 1456. [69].....	64
Obr. 44. Rázové kladivo ZWICK Roell HIT50P. [71].....	65
Obr. 45. Pádstroj ZWICK Roell HIT230F. [71].....	66
Obr. 46. Vysokorýchlostná kamera OLYMPUS i-SPEED FS [74]	67
Obr. 47: Digitálna zrkadlovka (telo) CANON EOS 70D. [75]	68
Obr. 48. Vstrekovacia forma na výrobu skúšobných telies v tvare lopatky a tyčinky.	73
Obr. 49. Vstrekovacia forma na výrobu skúšobných telies v tvare dosičky.....	73
Obr. 50. Rozdelené skúšobné telesá pre jednotlivé mechanické skúšky.	74
Obr. 51. Ručná vrubovačka s mikrometrom CEAST NotchVis. [80]	74
Obr. 52. Skúšobné telesá uložené v klimatickej komore.....	75
Obr. 53. Upnuté skúšobné teleso v čeľustiach univerzálneho skúšobného stroja ZWICK Roell 1456.....	76
Obr. 54. Priebeh skúšky v trojbodovom ohybe na univerzálnom testovacom stroji ZWICK Roell 1456.....	77
Obr. 55. Skúšobné teleso s V vrubom – meranie vrubovej húževnatosti Charpyho metódou.	78
Obr. 56. Skúšobné teleso upevnené v priečniku podľa ČSN EN ISO 8256.....	79
Obr. 57. Porovnanie F_{max} v ťahu po pôsobení zaťaženia s UV žiarením a teplotne-vlhkostného zaťaženia vybraných PC materiálov.....	107
Obr. 58. Porovnanie E v ťahu po pôsobení zaťaženia s UV žiarením a teplotne-vlhkostného zaťaženia vybraných PC materiálov.	108
Obr. 59. Porovnanie F_{max} v ohybe po pôsobení zaťaženia s UV žiarením a teplotne-vlhkostného zaťaženia vybraných PC materiálov.....	109
Obr. 60. Porovnanie E v ohybe pôsobení zaťaženia s UV a teplotne-vlhkostného zaťaženia vybraných PC materiálov.....	110
Obr. 61. Porovnanie F_{max} Charpy po pôsobení zaťaženia s UV a teplotne-vlhkostného zaťaženia vybraných PC materiálov.	111

Obr. 62. Porovnanie a_k Charpy po pôsobení zaťaženia s UV žiarením a teplotne-vlhkostného zaťaženia vybraných PC materiálov.	112
Obr. 63. Porovnanie F_{max} Ráz-Ťah po pôsobení zaťaženia s UV žiarením a teplotne-vlhkostného zaťaženia vybraných PC materiálov.....	113
Obr. 64. Porovnanie a_k Ráz-Ťah po pôsobení zaťaženia s UV žiarením a teplotne-vlhkostného zaťaženia vybraných PC materiálov.....	114
Obr. 65. Porovnanie F_{max} pri priereze po pôsobení zaťaženia s UV žiarením a teplotne-vlhkostného zaťaženia vybraných PC materiálov.....	115
Obr. 66. Porovnanie E_p pri priereze po pôsobení zaťaženia s UV žiarením a teplotne-vlhkostného zaťaženia vybraných PC materiálov.....	116
Obr. 67. Polykarbonátový protiúderový policajný štít AS-60-100/L pred testovaním.	117
Obr. 68. Predmety použité počas testu pevnosti PC štítu ESP AS-60-100/L: tehla, betónová kocka, kladivo, mačeta, menšia jednoručná sekera a väčšia obojručná sekera.	118
Obr. 69. Škrábance spôsobené pádmi tehly.	119
Obr. 70. Škrabance po pádoch betónovej kocky a tehly.	120
Obr. 71. Zasiahnuté miesto štítu po 2 úderoch s kladivom.....	120
Obr. 72. Zasiahnuté miesto štítu po 2 úderoch s mačetou, ktorá zanechala rezné stopy...	121
Obr. 73. Prasknutie strednej časti štítu po druhom údere menšou jednoručnou sekerou. .	122
Obr. 74. Väčšia sekera po štvrtom údere zaseknutá v štíte.....	122
Obr. 75. Porovnanie zmien F_{max} pri priereze vybraných PC materiálov a PC štítu.....	125
Obr. 76. Porovnanie zmien E_p pri priereze vybraných PC materiálov a PC štítu.	126

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1. Odolnosť vybraných nestabilizovaných polymérov podľa pôsobenia vonkajších vplyvov (1- excelentná, 2 – dobrá, 3 – nízka, 4 – zlá). [62]	54
Tab. 2. Základné kritéria pre hodnotenie starnutia. [56] [61].....	56
Tab. 3. Technické údaje vstrekovacieho stroja ARBURG Allrounder 470C 1500 – 400 GE [65].....	61
Tab. 4. Technické údaje sušiacej jednotky ARBURG THERMOLIFT 100-2. [67]	63
Tab. 5. Technické údaje klimatickej komory Discovery My DM340. [68]	64
Tab. 6. Technické údaje univerzálneho stroja ZWICK Roell 1456. [70].....	65
Tab. 7. Technické údaje rázového kladiva ZWICK Roell HIT50P. [72]	66
Tab. 8. Technické údaje pádostroja ZWICK Roell HIT230F [73].....	67
Tab. 9. Technické údaje vysokorýchlostnej kamery OLYMPUS i-SPEED FS [71] [74]...	68
Tab. 10. Technické údaje digitálnej zrkadlovky CANON EOS 70D [75]	68
Tab. 11. Vlastnosti polyméru Makrolon 1260. [76]	69
Tab. 12. Vlastnosti polyméru Makrolon 2207. [76]	70
Tab. 13. Vlastnosti polyméru Lexan Resin ML3729. [78].....	71
Tab. 14. Vlastnosti polykarbonátu Samsung Infino SC-1280UR. [79].....	71
Tab. 15. Parametre vstrekovania skúšobných telies.	72
Tab. 16. Hodnoty korekčných koeficientov pre rôzne počty opakovaných meraní. [81]....	82
Tab. 17. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} v ťahu vybraných PC materiálov zo základných skúšobných telies test. pri 23 °C.....	82
Tab. 18. Štatistické vyhodnotenie modulu pružnosti E v ťahu vybraných druhov PC zo základných skúšobných telies test. pri 23 °C.....	83
Tab. 19. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} v ťahu vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri 23 °C.	83
Tab. 20. Štatistické vyhodnotenie modulu pružnosti E v ťahu vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri 23 °C.	84
Tab. 21. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} v ťahu vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri 23 °C.....	84
Tab. 22. Štatistické vyhodnotenie modulu pružnosti E v ťahu vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri 23 °C.....	85
Tab. 23. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} v ohybe vybraných PC materiálov zo základných skúšobných telies a test. pri 23 °C.	85
Tab. 24. Štatistické vyhodnotenie modulu pružnosti E v ohybe vybraných druhov PC zo základných skúšobných telies a test. pri 23 °C.....	86
Tab. 25. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} v ohybe vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri 23 °C.	86

Tab. 26. Štatistické vyhodnotenie modulu pružnosti E v ohybe vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri 23 °C.	87
Tab. 27. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} v ohybe vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri 23 °C.	87
Tab. 28. Štatistické vyhodnotenie modulu pružnosti E v ohybe vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri 23 °C.	88
Tab. 29. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} Charpy vybraných PC materiálov zo základných skúšobných telies test. pri 23 °C.	88
Tab. 30. Štatistické vyhodnotenie vrubovej húževnatosti a_k Charpy vybraných PC materiálov zo základných skúšobných telies test. pri 23 °C.	89
Tab. 31. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} Charpy vybraných PC materiálov zo základných skúšobných telies test. pri -20 °C.	89
Tab. 32. Štatistické vyhodnotenie vrubovej húževnatosti a_k Charpy vybraných PC materiálov zo základných skúšobných telies test. pri -20 °C.	90
Tab. 33. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} Charpy vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri 23 °C.	90
Tab. 34. Štatistické vyhodnotenie vrubovej húževnatosti a_k Charpy vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri 23 °C.	91
Tab. 35. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} Charpy vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri -20 °C.	91
Tab. 36. Štatistické vyhodnotenie vrubovej húževnatosti a_k Charpy vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri -20 °C.	92
Tab. 37. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} Charpy vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri 23 °C.	92
Tab. 38. Štatistické vyhodnotenie vrubovej húževnatosti a_k Charpy vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri 23 °C.	93
Tab. 39. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} Charpy vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri -20 °C.	93
Tab. 40. Štatistické vyhodnotenie vrubovej húževnatosti a_k Charpy vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri -20 °C.	94
Tab. 41. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} Ráz-Ťah vybraných PC materiálov zo základných skúšobných telies test. pri 23 °C.	94
Tab. 42. Štatistické vyhodnotenie vrubovej húževnatosti a_k Ráz-Ťah vybraných PC materiálov zo základných skúšobných telies test. pri 23 °C.	95
Tab. 43. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} Ráz/Ťah vybraných PC materiálov zo základných skúšobných telies test. pri -20 °C.	95
Tab. 44. Štatistické vyhodnotenie vrubovej húževnatosti a_k Ráz-Ťah vybraných PC materiálov zo základných skúšobných telies test. pri -20 °C.	96
Tab. 45. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} Ráz-Ťah vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri 23 °C.	96
Tab. 46. Štatistické vyhodnotenie vrubovej húževnatosti a_k Ráz-Ťah vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri 23 °C.	97

Tab. 47. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} Ráz-Ťah vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$	97
Tab. 48. Štatistické vyhodnotenie vrubovej húževnatosti a_k Ráz-Ťah vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$	98
Tab. 49. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} Ráz-Ťah vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri $23\text{ }^{\circ}\text{C}$	98
Tab. 50. Štatistické vyhodnotenie vrubovej húževnatosti a_k Ráz-Ťah vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri $23\text{ }^{\circ}\text{C}$	99
Tab. 51. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} Ráz-Ťah vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$	99
Tab. 52. Štatistické vyhodnotenie vrubovej húževnatosti a_k Ráz-Ťah vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$	100
Tab. 53. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} pri prieraze vybraných PC materiálov zo základných skúšobných telies test. pri $23\text{ }^{\circ}\text{C}$	100
Tab. 54. Štatistické vyhodnotenie rázovej energie pri prieraze E_p vybraných PC materiálov zo základných skúšobných telies test. pri $23\text{ }^{\circ}\text{C}$	101
Tab. 55. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} pri prieraze vybraných PC materiálov zo základných skúšobných telies test. pri $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$	101
Tab. 56. Štatistické vyhodnotenie rázovej energie pri prieraze E_p vybraných PC materiálov zo základných skúšobných telies test. pri $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$	102
Tab. 57. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} pri prieraze vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri $23\text{ }^{\circ}\text{C}$	102
Tab. 58. Štatistické vyhodnotenie rázovej energie pri prieraze E_p vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri $23\text{ }^{\circ}\text{C}$	103
Tab. 59. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} pri prieraze vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$	103
Tab. 60. Štatistické vyhodnotenie rázovej energie pri prieraze E_p vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení s UV žiarením a test. pri $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$	104
Tab. 61. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} pri prieraze vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri $23\text{ }^{\circ}\text{C}$	104
Tab. 62. Štatistické vyhodnotenie rázovej energie pri prieraze E_p vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri $23\text{ }^{\circ}\text{C}$	105
Tab. 63. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} pri prieraze vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$	105
Tab. 64. Štatistické vyhodnotenie rázovej energie pri prieraze E_p vybraných PC materiálov po teplotne-vlhkostnom zaťažení a test. pri $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$	106
Tab. 65. Štatistické vyhodnotenie maximálnej sily F_{max} pri prieraze zo skúšobných telies vyrobených z PC štítu.....	124
Tab. 66. Štatistické vyhodnotenie rázovej energie pri prieraze pri prieraze E_p zo skúšobných telies vyrobených z PC štítu.....	124

ZOZNAM PRÍLOH

P I Obsah CD

PRÍLOHA P I: OBSAH CD

- Súbor **finaltext.pdf** – text diplomovej práce vo formáte PDF/A
- Priečinkok **01_Datasheety_PC_materiálov** – obsahuje datasheety vybraných PC materiálov použitých v diplomovej práci
- Priečinkok **02_Testovanie_štítu** – obsahuje fotografie a videá, ktoré dokumentujú priebeh testovania protiúderového PC štítu ESP AS-60-100/L
- Priečinkok **03_HS_kamera_pádstroj** – obsahuje video-dokumentáciu mechanickej skúšky pádstrojom z vysokorýchlostnej kamery