

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
Strojnícka
fakulta

TECHNOLÓGIA SPRACOVANIA A VLASTNOSTI PLASTOV

Návody na laboratórne cvičenia

Ing. Lenka Markovičová, PhD.

2025

OBSAH

ÚVOD

- 1 PLASTY A ICH OZNAČOVANIE**
- 2 SKÚŠOBNÍCTVO – národné a medzinárodné sústavy noriem**
 - 2.1 Normy na testovanie polymérnych materiálov**
 - 2.2 Príprava vzoriek**
 - 2.2.1 Príprava vzoriek z termoplastov**
 - 2.2.2 Príprava vzoriek z termosetov**
 - 2.2.3 Príprava vzoriek z elastomérov**
 - 2.2 Príprava skúšobných telies**
 - 2.3 Kondicionovanie a podmienky skúšok**
- 3 ZÁKLADNÉ CHARAKTERISTIKY PLASTOV**
 - 3.1 Skúška pyrolytická**
 - 3.2 Skúška v plameni**
 - 3.3 Mechanické skúšky plastov**
 - 3.4 Stanovenie krivky tuhnutia**
 - 3.5 Stanovenie požiarnych charakteristík**
 - 3.6 Identifikácia textilných vlákien**
 - 3.7 Meranie viskozity Ubbelohdeho viskozimetrom**
 - 3.8 Stanovenie vlastností recyklátu**
 - 3.9 Stanovenie teploty topenia polymérov**
 - 3.10 Chemické vlastnosti polymérov – rozpustnosť**
 - 3.11 Korózia polymérov v ohybe**
 - 3.12 Príprava lepidla z PS**
 - 3.13 Príprava kompozitu s polymérnou matricou a textilnou výstužou**
 - 3.14 Príprava PA vlákna**
 - 3.15 Termická stabilita PVC**
- 4 PRÍLOHY**
 - 4.1 Titulný list laboratórneho protokolu**

LITERATÚRA

ÚVOD

Plasty a polymérne materiály predstavujú v súčasnosti jednu z najvýznamnejších skupín technických materiálov, ktoré nachádzajú uplatnenie prakticky vo všetkých oblastiach priemyslu, od obalovej techniky, stavebníctva a elektrotechniky až po automobilový, textilný a zdravotnícky priemysel. Ich široké využitie je podmienené rozmanitosťou fyzikálnych, mechanických, chemických a technologických vlastností, ktoré je možné cielene ovplyvňovať vhodnou voľbou polyméru, aditív a spracovateľských podmienok.

Pre správne a bezpečné používanie plastov je nevyhnutné ich jednoznačné označovanie, dôkladná identifikácia a objektívne hodnotenie vlastností pomocou normovaných skúšobných metód. Skúšobníctvo polymérnych materiálov zohráva dôležitú úlohu pri kontrole kvality, vývoji nových materiálov, porovnávaní vlastností výrobkov a pri zabezpečovaní ich súladu s národnými a medzinárodnými technickými normami. Významným aspektom je aj rastúci dôraz na recykláciu plastov, environmentálnu udržateľnosť a rozvoj bioplastov, čo kladie zvýšené nároky na presnú identifikáciu materiálového zloženia výrobkov.

Tieto skriptá sú určené ako študijný materiál pre laboratórne cvičenia zamerané na skúšanie plastov, polymérnych materiálov, kompozitov a vybraných chemických a fyzikálnych vlastností materiálov. Ich cieľom je oboznámiť študentov so základnými pojmami v oblasti polymérnych materiálov, s princípmi technickej normalizácie, s prípravou vzoriek a skúšobných telies, ako aj s praktickým vykonávaním vybraných skúšok a experimentálnych metód v laboratórnych podmienkach.

Materiál má slúžiť nielen ako podklad pre praktickú výučbu, ale aj ako pomôcka pri upevňovaní teoretických vedomostí a rozvoji experimentálnych zručností v oblasti materiálového inžinierstva a technológie polymérov.

1 PLASTY A ICH OZNAČOVANIE

V odbornej literatúre sa často stretávame s pojmami *polymér* a *plast*, ktoré sú v bežnej komunikácii neraz nesprávne zamieňané. Z hľadiska materiálového inžinierstva však ide o odlišné kategórie, pričom správne terminologické rozlíšenie je nevyhnutné najmä pri klasifikácii, testovaní a aplikácii materiálov.

Polymér predstavuje makromolekulárnu látku, ktorej reťazec je tvorený opakujúcimi sa štruktúrnymi jednotkami (monomérmi), vzájomne kovalentne prepojenými do dlhého reťazca. Môže ísť o látky prírodného pôvodu (napr. celulóza, kaučuk) alebo synteticky pripravené polyméry (napr. polyetylén, polystyrén, polyamidy). Z chemického hľadiska ide o čistú látku s definovanou štruktúrou a molekulovou hmotnosťou, ktorú možno ďalej modifikovať fyzikálno-chemickými prostriedkami.

Plast je technický materiál založený na polymérech ako nosnej zložke, avšak doplnený o funkčné aditíva, ako sú plnivá, stabilizátory, modifikátory rázovej húževnatosti, farbivá, zmäkčovadlá alebo výstužné materiály. Tieto zložky výrazne ovplyvňujú vlastnosti plastov – mechanické, reologické, optické aj spracovateľské – a určujú ich vhodnosť pre konkrétne technické aplikácie. Prehľad o formálnom rozdelení vysokomolekulových látok (polymérov) poskytuje tabuľka 1.

Tab. 1 Rozdelenie vysokomolekulových látok

Pôvod	Spôsob výroby	Tvar makromolekul	Fázová štruktúra	Označenie - skratka
Prírodný				celulóza, kazeín, prírodný kaučuk
Prírodný modifikovaný		Lineárny (rozvetvený)		CA, CAB, CAP, CN, CP, CMC, EC
Syntetický	polymerizácia	Lineárny	amorfná	PS, PMMA, PVC, ABS, PVAc, PVAL, PPSU, PPS, PVB, PVFM, PVK, PVP
			kryštalická	PE, PP, PTFE, PMP, PCTFE, PAN, PB
	polykondenzácia	Lineárny (rozvetvený)	amorfná	PC
			kryštalická	PETP, PDTP, PA6, PA11, PA12, PA66, PA610
	polyadícia	zosieťovaný	amorfná	PF, UF, Si
		Lineárny (rozvetvený)	amorfná	PUR
			kryštalická	POM
		Zosieťovaný	amorfná	PUR, EP

V tabuľke 1 sú použité skratky nasledovných polymérov:

CA - acetát celulózy,

CAB - acetobutyráť celulózy,

CAP - propinát acetátu celulózy,

CN - nitrát celulózy,

CP - propionát celulózy,

CMC - karboxymetylcelulóza

EC - etylcelulóza

PS - polystyrén,

PMMA - polymetylmakrylát,

PVC - polyvinylchlorid,
 ABS - akrylonitrilbutadiénstyren,
 PVAc - polyvinylacetát,
 PVAL - polyvinylalkohol,
 PPSU - polyfenylsulfón,
 PPS - polyfenylénsulfid,
 PVB - polyvinylbutyral,
 PVFM - polyvinylformal
 PVK - polyvinylkarbazol,
 PVP - polyvinylpirrolidón,
 PE - polyetylén,
 PP - polypropylén,
 PTFE - polytetrafluóetylén,
 PMP - polymetylpentén,
 PCTFE - polychlórt trifluóetylén,
 PAN - polyakrylonitril,
 PB - polybutylén,
 PC - polykarbonát,
 PETP - polyetyléntereftalát,
 PDTP - polydietyléntereftalát,
 PA6 - polyamid 6
 PA 11 - polyamid 11,
 PA12 - polyamid 12,
 PA66 - polyamid 66,
 PA6 10 - polyamid 6 10,
 PF - fenolformaldehydová živica,
 UF - moťovinoformaldehydová živica,
 Si - silikonové polyméry,
 PUR - polyuretán,
 POM - polyoxymetylén,
 EP - epoxidová živica.

Vzhľadom na široké spektrum typov plastov a ich kombinácií vznikla potreba **štandardizovaného označovania**, ktoré umožňuje identifikáciu materiálu v rámci výrobných, recyklačných a regulačných procesov. V ďalšej časti sú uvedené najvýznamnejšie systémy označovania plastov – SPI (Resin Identification Code), označenia podľa noriem ISO 1043 a 11469, ako aj certifikácie relevantné pre bioplasty a kompostovateľné materiály.

Vzhľadom na rastúci objem výroby, recyklácie a regulácie plastových výrobkov je identifikácia materiálového zloženia plastov nevyhnutným predpokladom pre ich efektívne spracovanie počas životného cyklu. Označovanie plastov slúži na zabezpečenie spätnej vysledovateľnosti polymérneho typu, ako aj na uľahčenie triedenia v rámci recyklačných tokov.

Systém SPI (Society of the Plastics Industry), dnes známy ako **Resin Identification Code**, bol zavedený v roku 1988 a používa **číselné označenie vnútri trojuholníka zloženého z troch šípok**. Tento systém klasifikuje najbežnejšie termoplasty číslami 1 až 7, kde číslo zodpovedá typu polyméru. Kódy sú často umiestnené priamo na plastovom výrobku (napr. obal, fľaša) a pomáhajú pri triedení na recyklačných linkách (tab. 2).

Tab.2 Klasifikácia najbežnejších termoplastov

Kód	Skratka	Názov polyméru	Typické použitie
1	PET	polyetyléntereftalát	Nápojové fľaše, textilie (polyester)
2	HDPE	polyetylén vysokohustotný	Obaly na chemikálie, potravinové fľaše
3	PVC	polyvinylchlorid	Potrubia, dlaždice, profily
4	LDPE	polyetylén nízkohustotný	Plastové tašky, fólie
5	PP	polypropylén	Viečka, nádoby, automobilové diely
6	PS	polystyrén	Jednorazový riad, penové izolácie
7	ostatné	napr. PC, PLA, zmesi	Bioplasty, technické polyméry, kompozity

Norma **ISO 1043** definuje systém označovania plastov na báze skratiek, ktoré vyjadrujú typ polyméru, prípadne aj výstužné alebo modifikačné zložky. Norma sa skladá zo 4 častí:

- ISO 1043-1: základné polyméry (napr. >PP<, >PA6<, >ABS<)
- ISO 1043-2: výstužné materiály a plnivá (napr. >PP - GF30< - polypropylén s 30% skleným vláknom)
- ISO 1043-3: zmäkčovadlá a modifikátory
- ISO 1043-4: polyméry z obnoviteľných surovín.

Označenie sa zapisuje medzi znakmi väčší a menší ako (napr. >PE-HD<) priamo na výlisku plastového komponentu. Kombinované alebo kompozitné materiály sa označujú zložene, napr. >PA6 + PA66<.

Norma **ISO 11469** ďalej odporúča spôsob umiestnenia označenia priamo na plastovú súčiastku, s dôrazom na jeho čitateľnosť a trvanlivosť počas životnosti výrobku.

S rastúcim dôrazom na ekologickú udržateľnosť a cirkulárnu ekonomiku narastá význam biologicky rozložiteľných a z obnoviteľných zdrojov pochádzajúcich polymérnych materiálov, známych ako bioplasty. Pre zabezpečenie správneho nakladania s bioplastami po použití sa využívajú štandardizované certifikačné značky, ktoré overujú schopnosť materiálu rozložiť sa za definovaných podmienok. Najväznamejšie systémy sú EN 13432, ASTM S6400, OK compost Industrial, OK compost Home, DIN CERTCO.

2 SKÚŠBNÍCTVO - národné a medzinárodné sústavy noriem

Proces technickej normalizácie predstavuje zjednotenie požiadaviek na výrobky, materiály, výrobné procesy, skúšobné metódy, označovanie a ďalšie technické parametre. Jeho cieľom je zabezpečiť vzájomnú zameniteľnosť výrobkov, zvýšiť ich kvalitu, zjednodušiť výrobný proces, ako aj uľahčiť obchodovanie na domácom a medzinárodnom trhu.

Technická normalizácia prebieha na troch základných úrovniach – podnikovej, národnej a medzinárodnej. Každá úroveň má svoje orgány a pravidlá. V posledných desaťročiach nadobudla normalizácia čoraz väčší význam, najmä v súvislosti s rozvojom medzinárodného obchodu, technickej spolupráce a integrácie národných ekonomík. Medzinárodná normalizácia je koordinovaná prostredníctvom medzinárodných organizácií ako sú ISO (Medzinárodná organizácia pre normalizáciu), IEC (Medzinárodná elektrotechnická komisia) alebo ITU (Medzinárodná telekomunikačná únia).

V rámci Európskej únie je technická normalizácia zastrešovaná Európskym výborom pre normalizáciu CEN a Európskym výborom pre elektrotechnickú normalizáciu CENELEC. Tieto organizácie zabezpečujú tvorbu európskych noriem EN, ktoré sú prijímané členskými štátmi a upravované do národných jazykov.

Na Slovensku je technická normalizácia v kompetencii Slovenského ústavu pre normalizáciu (SÚTN), ktorý reprezentuje Slovenskú republiku v medzinárodných a európskych normalizačných organizáciách. SÚTN zabezpečuje tvorbu, preberanie, vydávanie, šírenie a aktualizáciu slovenských technických noriem (STN).

Slovenské technické normy sa často preberajú zo zahraničných noriem. Ak ide o úplný preklad, norma má označenie STN EN ISO (alebo STN ISO). V prípade častého využívania prekladu ISO noriem do slovenského jazyka môže vzniknúť slovenská technická norma, ktorá je doslovným prekladom originálu (napr. STN ISO 6043). V týchto prípadoch ide o normy, ktoré zabezpečujú jednotné požiadavky pre rôzne typy výrobkov alebo procesov – napríklad pre plasty (ISO 178), gumu (ISO 761), kovové materiály (ISO 6892) a podobne.

2.1 Normy na testovanie polymérnych materiálov

Normovaný skúšobný postup určený na testovanie polymérnych materiálov má presne stanovenú štruktúru, ktorá zohľadňuje špecifiká daného materiálu. Príslušné normy spravidla definujú spôsob prípravy skúšobných telies, ich rozmery, prípadne ďalšie technické parametre, ako aj podmienky kondicionovania pred meraním a samotný priebeh skúšky. Súčasťou normy by mali byť aj odporúčané štatistické metódy na vyhodnotenie nameraných údajov. Niektoré časti normovaného postupu sú prispôbované konkrétnym typom polymérov alebo výrobkom z nich, zatiaľ čo iné je možné aplikovať všeobecne.

2.2 Príprava vzoriek

Príprava vzoriek predstavuje mimoriadne dôležitú a neoddeliteľnú súčasť každej testovacej metódy určenej pre polymérne materiály. Presne definovaný a dôsledne dodržiavaný postup prípravy vzoriek polymérov a kompozitných materiálov je kľúčový, pretože fyzikálne a mechanické vlastnosti týchto materiálov vo veľkej miere závisia od podmienok ich prípravy. Faktory ako časovo-teplotný režim ohrevu a chladenia, lisovací tlak či typ použitej atmosféry môžu počas prípravy výrazne ovplyvniť konečné vlastnosti výslednej vzorky.

2.2.1 Príprava vzoriek z termoplastov

Medzi najvýznamnejšie faktory ovplyvňujúce vlastnosti plastov patria stupeň kryštalizácie, teplota skelného prechodu (T_g) a obsah dutín vo vzorke, ktoré môžu vzniknúť počas jej prípravy. Fyzikálno-mechanické vlastnosti kryštalizujúcich polymérov sú výrazne závislé od stupňa kryštalizácie a morfológie kryštálov. Tieto parametre sú ovplyvňované časovo-teplotným a tlakovým režimom, ktorý bol použitý pri príprave vzoriek.

Napríklad rýchle ochladenie polyméru po spracovaní vedie k vytvoreniu menšieho množstva drobných kryštálov a vyššiemu podielu amorfnej fázy. Naopak, pomalé ochladzovanie umožňuje vznik väčších a viac rozvinutých kryštálov, čo vedie k vyššiemu stupňu kryštalizácie. Okrem samotného tepelného režimu zohrávajú významnú úlohu aj prítomné plniva a aditíva, ktoré môžu ovplyvniť rast kryštálov a ich výslednú morfológiu.

Tlakové podmienky počas formovania vzorky môžu meniť aj T_g , najmä v prípade amorfných a nízkokryštalických polymérov. Tieto zmeny sa následne prejavujú na mechanických vlastnostiach testovaných vzoriek.

Ďalším dôležitým aspektom prípravy vzoriek je prítomnosť prchavých zložiek v materiáli. Vzorky sa často pripravujú z granulovaných plastov, ktoré sa pred spracovaním tavia a pod tlakom formujú do požadovaného tvaru (lisovanie, vstrekovanie, vytlačanie a pod.). Ak polymér obsahuje prchavé látky – najčastejšie zvyškovú vlhkosť alebo vzduch – po roztavení v uzavretom priestore nemôže dôjsť k ich úniku. Tieto zložky tak zostávajú vo forme bublín uzavreté v tavenine a po ochladení zostávajú vo vzorke ako dutiny, ktoré môžu výrazne skresliť výsledky merania.

Tieto bubliny nemusia byť spôsobené len prítomnosťou prchavých látok, ale môžu vznikať aj v dôsledku tepelnej degradácie polyméru, ak neboli správne zvolené spracovateľské podmienky (napr. príliš vysoká teplota alebo dlhý čas vystavenia teplu a tlaku). V prípade objemnejších vzoriek sa za kritickú hranicu považuje objemová prítomnosť bublín vyššia ako 5 %, pri tenkých fóliách či doskách môže ovplyvniť výsledky už aj menší objemový podiel.

Z uvedených dôvodov je nevyhnutné presne definovať podmienky prípravy vzoriek – najmä časovo-teplotný režim, lisovací tlak, atmosféru a v neposlednom rade aj predprípravu materiálu (napr. sušenie granulátu). Tieto parametre sú často špecifikované v materiálových normách, existujú však aj osobitné normy, ktoré sa venujú výhradne postupu prípravy skúšobných telies.

Príklady takýchto noriem zahŕňajú:

ASTM normy:

- ASTM D1896-95 – Tvar foriem pre skúšobné telesá z plastických lisovaných materiálov.
- ASTM D957-95 – Určenie teploty formy pri výrobe skúšobných telies z plastov.
- ASTM D4703-93 – Postup prípravy skúšobných telies z plastov lisovaním.

ISO normy:

- ISO 3167:1993 – Plasty – Príprava a použitie viacúčelových skúšobných telies.
- ISO 293 – Plasty – Lisovanie skúšobných telies z termoplastov.
- ISO 2818 – Plasty – Príprava skúšobných telies obrábaním.

STN normy:

- STN 64 0201 – Skúšanie plastov – Vzorkovanie.
- STN ISO 293 (64 0207) – Lisovanie skúšobných telies z termoplastov.
- STN 64 0210 – Príprava skúšobných telies z termoplastov vstrekaním – Všeobecné požiadavky.
- STN ISO 2818 (64 0208) – Príprava skúšobných telies obrábaním.

2.2.2 Príprava vzoriek z termosetov

Termosetové materiály, ktoré sa pred zosietením často nachádzajú vo forme viskózných živíc, majú pri príprave skúšobných telies špecifické požiadavky. Zatiaľ čo pre termoplasty postačujú bežné kovové formy, mnohé živice vykazujú vysokú priľnavosť ku kovovým povrchom, čo po vytvrdnutí znemožňuje ich jednoduché oddelenie z formy. Z tohto dôvodu sa skúšobné telesá z termosetov zvyčajne pripravujú odlieváním do foriem z materiálov, ktoré umožňujú jednoduché oddelenie vytvrdnutej vzorky.

Ako vhodný formovací materiál sa často uvádza silikónový kaučuk, ktorý má vynikajúce separačné vlastnosti, avšak kvôli vysokej cene sa používa len zriedkavo. V praxi sa najčastejšie využívajú kovové

formy, ktoré sú upravené separačnými činidlami, ako je silikónový sprej, tenký voskový film alebo separačné fólie. Výber fólie závisí od teploty vytvrdzovania: pri nižších teplotách je možné použiť polyetylén, pri teplotách do 180 °C polyester a pri vyšších teplotách teflón.

Pri príprave vzoriek z termosetov je veľmi dôležité dokonalé odplynenie živice ešte pred začiatkom vytvrdzovania, pretože ide často o exotermickú reakciu, pri ktorej prudko narastá viskozita a zároveň sa môžu uvoľňovať plyny. Tie môžu vo vzorke vytvárať bubliny, ktoré negatívne ovplyvňujú kvalitu a výsledky merania. Na elimináciu týchto defektov sa živica po naliatí do formy často odplyňuje vo vákuu alebo sa celý proces vytvrdzovania realizuje v podmienkach zníženého tlaku.

Z hľadiska konštrukcie formy je potrebné zohľadniť objemovú zmršiteľnosť, ku ktorej počas vytvrdzovania často dochádza, najmä pri plnených živiciach. Táto kontrakcia musí byť zapracovaná do návrhu formy, aby bol konečný odlatok rozmerovo presný. Rovnako je dôležité, aby forma počas vytvrdzovania bola umiestnená vo vodorovnej polohe, čím sa zabezpečí rovnomerná hrúbka vzorky.

Rovnako ako pri termoplastoch, aj pri termosetoch existujú normované postupy na prípravu skúšobných telies, ktoré definujú základné požiadavky na formy, separačné prostriedky a technologické podmienky:

Príklady relevantných noriem:

- ASTM D5224-93 / ISO 3167:1993 – Príprava skúšobných telies z termosetov lisovaním.
- STN 64 0205 – Plasty. Tvrditeľné liate živice. Príprava skúšobných telies.
- STN 64 0206 – Skúšanie plastov. Príprava skúšobných telies z tvrditeľných lisovacích hmôt lisovaním.

Normy STN sa prioritne venujú požiadavkám na kvalitu a geometriu foriem, predpisom povolených separačných látok a presnosti regulácie teploty počas vytvrdzovania. Konkrétne technologické podmienky pre jednotlivé typy živíc však musia byť uvedené v materiálových špecifikáciách alebo technických listoch.

2.2.3 Príprava vzoriek z elastomérov

Príprava testovacích telies z elastomérov, pokiaľ nejde o odber vzoriek z hotových výrobkov, zvyčajne zahŕňa tri hlavné kroky: miešanie zmesi, lisovanie a vulkanizáciu. Tieto procesy slúžia na výrobu rovnomernej platničky, z ktorej sa následne vysekávajú skúšobné telesá určené na testovanie. Parametre jednotlivých krokov, najmä miešania a vulkanizácie kaučukových zmesí, výrazne ovplyvňujú vlastnosti výsledného vulkanizátu, a teda aj spoľahlivosť získaných meraní. Z tohto dôvodu je nevyhnutné dôsledne dodržiavať stanovené technologické podmienky.

Na účely skúšobníctva existujú medzinárodne uznávané normy, ktoré presne definujú podmienky prípravy gumových testovacích telies. Konkrétne ide o normu ASTM D3182-89, ktorej ekvivalentom je ISO 2393 (*Rubbers – Preparation of test mixes – Equipment and procedures*). Tieto normy stanovujú:

- presnosť dávkovania jednotlivých zložiek, najmä vulkanizačných činidiel, v závislosti od kapacity miešacieho zariadenia,
- poradie pridávania zložiek do zmesi,
- rozmery zariadení: napr. šírku štrbiny dvojvalcov, počet prechodov materiálu cez valce, objem hnetiča,
- požiadavky na tzv. zrezávanie zmesi počas miešania,
- podmienky vulkanizácie: presnosť nastavenia a regulácie teploty, minimálny požadovaný lisovací tlak, spôsob chladenia a ďalšie parametre.

Tieto špecifikácie zabezpečujú reprodukovateľnosť a porovnateľnosť výsledkov skúšok medzi rôznymi laboratóriami.

V rámci sústavy STN v súčasnosti neexistuje ekvivalentná norma, ktorá by komplexne upravovala prípravu skúšobných telies z elastomérnych materiálov. Pri výrobe takýchto telies sa preto odporúča riadiť sa medzinárodnými štandardmi ISO a ASTM.

2.2 Príprava skúšobných telies

Skúšobné telesá je možné pripraviť z predspracovaných vzoriek rôznymi spôsobmi – vysekávaním, vyrezávaním alebo obrábaním. Vysekávanie patrí medzi najčastejšie používané techniky, a to najmä v prípadoch, keď sa telesá získavajú z lisovaných platničiek, rolovaných fólií alebo hotových výrobkov. Ak je však potrebné dosiahnuť vysokú rozmerovú presnosť a vysekávanie či vyrezávanie nie je vhodné alebo technicky realizovateľné, skúšobné telesá sa pripravujú priameym tvarovaním – vstrekaním alebo lisovaním do formy, ktorá má presné rozmery a tvar zodpovedajúci požadovaným špecifikáciám.

Pri niektorých typoch polymérnych materiálov je možné zhotoviť skúšobné telesá aj obrábaním, napr. sústružením, frézovaním, brúsením či pílením. V takýchto prípadoch je dôležité minimalizovať vznik poškodení alebo zvyškového napätia na povrchu telies.

Kvalita okrajov skúšobného telesa môže výrazne ovplyvniť výsledky meraní, najmä pri mechanických skúškach, ako sú pevnosť v ťahu, ťažnosť či rázová húževnatosť. Výsledky týchto testov môžu kolísať v širokom rozsahu v závislosti od použitej metódy získania telies – napr. vysekávanie raznicou, rezanie žiletkou, rotačným nožom a pod. Poškodenie alebo nerovnosti okrajov je v niektorých prípadoch možné minimalizovať jemným obrúsením brúsnyim papierom s hrúbkou zrna v rozsahu 80 až 220.

Zvlášť náročná je príprava skúšobných telies z veľmi tenkých fólií alebo vláknitých kompozitov. Pri fóliách môže zlepšiť kvalitu rezov ich umiestnenie medzi dve platničky z tvrdšieho materiálu počas vysekávania. V prípade kompozitných materiálov vystužených vláknami vznikajú problémy predovšetkým v dôsledku veľkých rozdielov v tvrdosti výstuže a matrice, čo vedie k nerovnomernému rezu a poškodeniu okrajov. V takýchto prípadoch je výhodné použiť precízne techniky rezania, ako je laserové rezanie alebo rezanie vodným lúčom (vysokotlakový prúd vody), ktoré umožňujú získať telesá požadovanej kvality bez výrazného narušenia materiálovej štruktúry.

2.3 Kondicionovanie a podmienky skúšok

Vlastnosti polymérov sú vo výrazne väčšej miere než u iných materiálov (napr. kovov, skla či keramiky) ovplyvňované vonkajšími podmienkami, predovšetkým teplotou a relatívnou vlhkosťou vzduchu. Tieto faktory môžu zásadne ovplyvniť výsledky testov. Je však potrebné zdôrazniť, že citlivosť na okolie závisí od konkrétneho materiálu aj typu skúšky – nie všetky polyméry a nie všetky testy reagujú na zmeny podmienok rovnako.

Pri hodnotení vplyvu okolia treba rozlišovať tri základné fázy, v ktorých môže prostredie ovplyvniť výsledky skúšok:

1. Skladovanie – obdobie medzi prípravou skúšobného telesa a začiatkom skúšky.
2. Kondicionovanie – fáza, počas ktorej je vzorka vystavená predpísaným podmienkam (teplota, vlhkosť) tak, aby sa jej vlastnosti ustálili.
3. Samotná skúška – fáza merania, počas ktorej by mali byť podmienky čo najbližšie tým, ktoré boli použité pri kondicionovaní.

Kondicionovanie je kľúčové pre ustálenie fyzikálnych vlastností polymérov, aby čo najviac zodpovedali normovaným testovacím podmienkam. Dĺžka kondicionovania sa líši v závislosti od typu materiálu a druhu skúšky. Napríklad PVC po lisovaní rýchlo mení svoje vlastnosti, zatiaľ čo kryštalické polyméry potrebujú dlhší čas na dosiahnutie rovnováhy. Hydrofilné polyméry (napr. celulóza, polyamidy) musia nadobudnúť rovnovážnu vlhkosť, čo môže trvať aj niekoľko dní.

Vo všeobecnosti sa vlastnosti polymérov po spracovaní menia exponenciálne, pričom najväčšie zmeny nastávajú v prvých hodinách. Preto normy odporúčajú minimálny čas od prípravy vzorky po skúšku. Napríklad:

- pre vulkanizované kaučuky: 16 hodín (STN ISO 471),
- pre mäkké PVC pri meraní tvrdosti: $7 \pm 0,2$ dní (BS 2782, metóda 365A).

Na druhej strane, dlhodobé skladovanie môže viesť k degradácii materiálu (napr. tepelná, oxidačná, fotochemická, ozónová), preto by sa skúšobné telesá nemali uchovávať dlhšie, než je nevyhnutné.

Z týchto dôvodov väčšina skúšobných noriem predpisuje kondicionovanie v štandardnej atmosfére. Štandardné podmienky sú definované podľa:

- ISO 554 a ISO 558 (všeobecné normy),
- STN ISO 291 (pre plasty),
- STN ISO 471 (pre gumu).

Štandardná atmosféra pre naše zemepisné pásmo:

- 23 ± 2 °C a 50 ± 5 % relatívnej vlhkosti (23/50),

pre tropické oblasti:

- 27 ± 2 °C a 65 ± 5 % (27/65).

V prípadoch, kde je známe, že relatívna vlhkosť neovplyvňuje vlastnosti materiálu (napr. ťahové vlastnosti hydrofóbných polymérov ako PE, PP), môže byť táto veličina zanedbaná. Ak sa kondicionovanie vykonáva iba teplotne, postačuje obvykle 3–4 hodiny, pri zahrnutí vlhkosti sa vyžaduje často až 96 hodín.

Bežne používané časy kondicionovania podľa typu materiálu:

- termosety: 88 hodín,
- pórovité alebo textilné materiály potiahnuté polymérom: 16 hodín.

Polyamidové dosky s hrúbkou 4 mm môžu na dosiahnutie rovnovážnej vlhkosti potrebovať až 1 rok – preto sa odporúča zrýchlené kondicionovanie podľa ISO 1110 (pri vyššej teplote a vlhkosti).

Kondicionovanie sa vykonáva v klimatizačných komorách. Na reguláciu vlhkosti sa môžu použiť roztoky s definovanou rovnovážnou vlhkosťou (napr. 80,6 % glycerínový roztok zabezpečí 50 % RV pri 23 °C).

Ak nie je možné zabezpečiť zhodu medzi podmienkami kondicionovania a samotnej skúšky (z technických alebo ekonomických dôvodov), existujú dve možnosti:

- Meracie zariadenie sa vybaví klimatizačnou komorou (napr. ťhací stroj pre ťahové skúšky).
- Vzorka sa testuje okamžite po vybratí z klimatizačnej komory, pokiaľ je rozdiel medzi podmienkami minimálny a meranie sa realizuje bez zbytočného odkladu.

U materiálov citlivých na vlhkosť, ktoré sa rýchlo adaptujú na prostredie (napr. fólie z PVAL), treba použiť telesá s väčšou hrúbkou, aby sa spomalilo ustálenie vlhkosti v celom objeme.

Zhrnutie relevantných noriem:

- STN ISO 291 – Plasty: štandardné prostredie pre kondicionovanie a skúšanie - štandardné podmienky: 23/50 (± 2 °C, ± 5 % RH), min. doba kondicionovania: 88 hodín (ak nie je uvedené inak), alebo min. 4 hodiny pri teplotnom kondicionovaní bez vlhkosti.

- STN ISO 471 – Guma: teplota, vlhkosť a doby kondicionovania/skúšania -

Odporúčané teploty: -85 °C až +300 °C,

Odporúčané časy: 8, 16, 24, 48, 72, 168 hodín alebo násobky 7 dní.

Doba od prípravy vzorky po skúšku: min. 16 hodín, max. 4 týždne.

3 ZÁKLADNÉ CHARAKTERISTIKY PLASTOV

3.1 Skúška pyrolytická

Pyrolytická skúška predstavuje jednoduchú kvalitatívnu analytickú metódu, ktorou sa určuje druh vysokomolekulovej látky (makromolekulovej látky – MML), najčastejšie polyméru, na základe pozorovania javov, ktoré nastávajú pri jej tepelnom rozklade. Podstatou tejto skúšky je pyrolýza – teda rozklad látky účinkom zvýšenej teploty **bez prístupu priameho plameňa a vzdušného kyslíka**, v dôsledku čoho látka nehorí, ale **rozkladá sa** na menšie molekuly.

Počas pyrolýzy dochádza k postupnému štiepeniu reťazcov makromolekulovej látky. Vznikajú pritom rozkladné produkty rôzneho skupenstva – **plynné, kvapalné a tuhé zložky**. Plynné produkty (napr. oxid uhličitý, oxid uhoľnatý, vodík, amoniak, chlorovodík a iné) sa čiastočne rozpúšťajú vo vlhkosti indikátorového papierika, čím sa vytvára roztok, ktorý spôsobí jeho zafarbenie v závislosti od pH. **Zmena farby univerzálneho indikátora** tak slúži ako pomôcka na určenie kyslosti alebo zásaditosti vznikajúcich plynov. Kondenzovateľné produkty sa zachytávajú na stenách skúmavky ako kondenzát alebo sublimovaný nálet. Tuhý zvyšok môže mať formu uhlíkatého zvyškového materiálu alebo popola. **Vzhľad, množstvo, zápach a pH rozkladných produktov** sú charakteristické pre jednotlivé typy polymérov, čo umožňuje ich identifikáciu.

Pyrolytická skúška je využívaná najmä na **orientačné určenie typu polyméru**, prípadne aj na rozlíšenie medzi termoplastickými a reaktoplastickými materiálmi. Termoplasty sa pri zahriatí najprv tavia a často horia so slabým až miernym zápachom, pričom zanechávajú len malý zvyšok. Naopak, reaktoplasty (tvrdé plasty) sa netavia, ale priamo zuhoľnatia a produkujú výrazne dráždivý dym.

Medzi najčastejšie sledované znaky počas skúšky patrí správanie vzorky pri ohreve (tavenie, dymenie, penenie, praskanie), zmena pH zistená pomocou univerzálneho indikátorového papierika, ako aj **charakteristický zápach plynných produktov**, ktorý býva veľmi špecifický – napríklad fenolový pri ABS, octový pri PVAL, chlórový pri PVC alebo voskový pri PE.

Výhodou pyrolytickej skúšky je jej **jednoduchosť, rýchlosť a nenáročnosť na prístrojové vybavenie**, vďaka čomu je vhodná nielen pre laboratórne podmienky, ale aj pre školskú výučbu. Výsledky skúšky je však vhodné doplniť o ďalšie analytické metódy, ako sú infračervená spektroskopia (IR), diferenčná tepelná analýza (DTA), termogravimetria (TG) alebo plynová chromatografia, ktoré umožňujú presnejšiu identifikáciu chemického zloženia a štruktúry polyméru.

Pyrolytická skúška slúži na identifikáciu druhu vysokomolekulovej látky (polyméru) na základe pozorovania zmien, ktoré nastávajú pri jej rozklade za zvýšenej teploty bez priameho kontaktu s plameňom. Ide o kvalitatívnu analytickú metódu, ktorá využíva:

- charakter rozkladných produktov (tuhé, kvapalné, plynné),
- ich zápach a zafarbenie,
- reakciu s univerzálnym indikátorom na stanovenie pH vznikajúcich plynných produktov.

Princíp metódy

Makromolekulová látka (MML) sa pri zahrievaní rozkladá (pyrolyzuje) na rôzne rozkladné produkty. Tieto produkty sa analyzujú z hľadiska:

- skupenstva (tuhé, kvapalné, plynné),
- zápalu,
- zmeny farby indikátorového papierika (stanovenie kyslosti alebo zásaditosti),
- fyzikálnych prejavov (dymenie, tavenie, zuhoľnatie, kondenzácia atď.).

Príprava vzorky

Zo skúmanej látky sa nastrúhajú malé stružinky s rozmermi cca $0,1 \times 0,5 \times 1$ mm. Na skúšku sa použije

0,01 až 0,5 g vzorky. Vzorka sa pred skúškou vizuálne opíše – zaznamená sa jej farba, tvar, štruktúra, konzistencia atď.

Pracovné pomôcky a chemikálie:

- skúmavky (čisté, suché, bez zvyškov z predchádzajúcich pokusov),
- univerzálny indikátorový papierik,
- destilovaná voda v stričke,
- kahan (liehový alebo plynový),
- stojan a držiak na skúmavky (skúmavka sa nesmie držať v ruke – riziko popálenia!),
- pinzeta, škrabka alebo nožík na prípravu stružliniek,
- etalónová stupnica na porovnanie pH farieb indikátora.

Postup vykonania skúšky

Postup vykonania skúšky spočíva v tom, že do čistej a suchej skúmavky sa vloží pripravená vzorka. Do hrdla skúmavky sa následne vsunie prúžok univerzálného indikátorového papierika navlhčený jednou kvapkou destilovanej vody. Skúmavka sa uchytí do držiaka vo vodorovnej až mierne šikmej polohe tak, aby jej ústie smerovalo do priestoru, kde nikto nepracuje, z dôvodu zabezpečenia bezpečnosti. Po zapálení kahanu sa plameňom niekoľkokrát opatrne prejde po uzavretom konci skúmavky, čím sa predídne prudkému nárastu tlaku. Následne sa skúmavka postupne zasúva do plameňa a sleduje sa správanie vzorky. Na záver sa skúmavka zahrieva plným plameňom, aby sa rozklad vzorky úplne dokončil.

Počas skúšky sa v skúmavke objavujú rôzne produkty rozkladu. Kondenzované produkty sa usadzujú na stenách skúmavky vo forme kvapalných alebo tuhých látok, zatiaľ čo sublimované látky vytvárajú takzvaný nálet. Na dne skúmavky zostáva dym a zuhoľnatený zvyšok. Neskondenzované plyny postupujú smerom k indikátorovému papieriku, kde sa rozpúšťajú vo vlhkosti a vzniknutý roztok zafarbí papierik v závislosti od pH.

Vyhodnotenie skúšky sa vykonáva porovnaním zafarbenia indikátorového papierika so štandardnou farebnou stupnicou. Hodnoty pH nižšie ako 7 indikujú kyslé prostredie s červenými odtieňmi, pH rovné 7 zodpovedá neutrálnemu prostrediu so žltó-zelenými odtieňmi a pH vyššie ako 7 poukazuje na zásadité prostredie s modrými odtieňmi. Okrem toho sa hodnotí aj zápach rozkladných produktov, pričom sa opatrne pričucháva k priviatym parám, nikdy nie priamo nad skúmavkou. Sleduje sa tiež charakter tuhých a kvapalných zvyškov, ako aj prípadné tavenie, bublanie alebo penenie.

Pre presnejšie porovnanie výsledkov sa skúška opakuje dvakrát až trikrát, pričom sa pri každom opakovaní použije nová a čistá skúmavka.

Do protokolu sa zaznamenáva:

- vzhľad a opis pôvodnej vzorky,
- priebeh ohrevu (najprv slabý, potom intenzívny),
- charakter rozkladných produktov: pevné (farba, množstvo, zuhoľnatenie), kvapalné (kondenzát, nálet), plyné (farba dymu, zápach, reakcia s indikátorom),
- zmena farby indikátorového papierika (a teda zistené pH),
- zápach plynov (napr. octový, amoniakálny, spáleniny, sladkastý atď.),
- porovnanie so známymi údajmi (tab. 3) – určenie pravdepodobného typu polyméru,
- určenie, či ide o termoplast (mäkne, topí sa, nespáli sa ľahko) alebo reaktoplast (tvrdne, zuhoľnatie, nepružný).

Poznámky a bezpečnostné upozornenia

- Vzorka nesmie byť príliš veľká – riziko prudkého uvoľnenia plynov!
- Skúmavku nedržíme v ruke!
- Neprehrievame skúmavku náhle – môže prasknúť!
- Zápach sa hodnotí opatrne – len privedením pár k nosu, nie priamym nadýchnutím!
- Pracovisko musí byť dobre vetrané!

Tab. 3 Charakteristické znaky plastov pri pyrolytickej skúške

Polymér	Vzhľad vzorky	Správanie pri ohreve	Zápach	Zvyšok po skúške	pH plynných produktov	Iné znaky
PE (polyetylén)	biely až priesvitný, mäkký, voskovitý	topí sa, kvapká, horí žltým plameňom	parafrínov, voskový	malý zuhoľnatý zvyšok	neutrálne až mierne zásadité	mastný kondenzát, dym sivý
PP (polypropylén)	priesvitný až biely, tuhší ako PE	Topí sa, buble, horí jasným plameňom	sladkastý, plastový	malý, tuhý zvyšok	neutrálne až mierne zásadité	podobný PE, menej dymí
PVC (polyvinylchlorid)	tvrdý, biely, alebo farebný	nehorí, silno dymí, rozkladá sa	štipľavý, chlóravý	čierny zvyšok, biely nálet	kyslé	silne dráždivý dym, indikátor sčervenie
PS (polystyrén)	tvrdý, krehký, priesvitný biely	topí sa, horí s čiernym dymom	sladkastý, aromatický	čierny sadzovitý zvyšok	neutrálne	bohatý čierny dym, na stebe skúmavky sa usádza kondenzát
PA (polyamid)	tvrdý, lesklý	topí sa, pení, ťahá vlákna	po spálených vlasoch	hnedý až čierny zvyšok	mierne kyslé až neutrálne	typický bielkovinový zápach
PMMA (polymetylmetakrylát)	tvrdý, číry, sklovitý	topí sa, horí modrým plameňom	sladkastý	malý zvyšok	neutrálne až mierne zásadité	dymenie, mierne praskanie
PET (polyetyléntereftalát)	tvrdý, priehľadný, lesklý	topí sa, horí slabopení	sladkastý	mierne zuhoľnaté	mierne kyslé	tvorí nálet, hustý biely dym
PUR (polyuretán)	mäkký alebo tvrdý, penový	nehorí ľahko, pení	ostrý amoniakálny	veľký čierny zvyšok	kyslé	indikátor silno sčervenie
PTFE (polyterafluóretylén)	Biely, tuhý, voskovitý	Nehorí, rozkladá sa, tvorí biely dym	neprijemný, toxický	biely nálet, čierny zvyšok	silne kyslé	vysoká tepelná odolnosť

PC (polykarbonát)	tvrdý, žltkastý, priehľadný	topí sa pomaly, horí slab	fenolový, ostrý	čierny zvyšok	miern	tvorba hustého dymu
PVAI (polyvinylalkohol)	biely až priesvitný, tvrdší	topí sa pení, čierne zuhľntenie	po octe alebo alkohole	čierny zvyšok	kyslé	Veľa dymu, silné penenie, voda ho rozpúšťa
ABS (akrylonitrilbutadiénstyrén)	tvrdý, lesklý, farebný alebo sivý	topí sa, horí s čiernym dymom	gumový, fenolový	tmavý až čierny zvyšok	miern	hustý dym, zápach výrazný

Zadanie: Na základe skúšky v plameni (pomocou tabuľky 3) identifikujte vzorky neznámych polymérov.

3.2 Skúška v plameni

Skúška v plameni patrí medzi jednoduché kvalitatívne metódy používané na identifikáciu polymérnych materiálov. Vychádza zo sledovania správania sa vzorky pri jej priamom kontakte s plameňom. Táto metóda využíva skutočnosť, že vysoká teplota plameňa spôsobuje **tepelný rozklad makromolekulových látok** (polymérov), pri ktorom dochádza k **štiepeniu chemických väzieb** v polymérnom reťazci. Výsledkom sú degradačné reakcie, pri ktorých vznikajú monoméry, nízkomolekulové produkty alebo ďalšie rozkladné zložky.

Tieto produkty horia priamo v plameni, pričom **dochádza k charakteristickým javom**, ako sú zafarbenie plameňa, tvorba dymu a špecifický zápach. Každý polymér má pri horení svoj **typický priebeh a sprievodné znaky**, ktoré môžu slúžiť ako identifikačné kritériá. Medzi najvýznamnejšie faktory, ktoré sa počas skúšky sledujú, patria:

- horľavosť materiálu,
- rýchlosť zapálenia,
- farba, intenzita a vlastnosti plameňa,
- vzhľad, stúpavosť a farba dymu,
- charakteristický zápach vznikajúcich plynov a výparov,
- sprievodné tepelné efekty, ako odkvapkávanie, tavenie, zuhľntenie, penenie a tvorba bublín.

Princíp metódy

spočíva v **ponorení malej vzorky polyméru do oxidačnej časti plameňa**, zvyčajne plameňa liehového alebo metánového kahana. Ak vzorka po vybratí z plameňa **hneď alebo po krátkej chvíli zhasne**, ide o **samozhášavý materiál**. Ak však horí ďalej aj po vytiahnutí, klasifikujeme ju ako **horľavú**. Na základe času, ktorý uplynie od začiatku zahriatia do okamihu zapálenia, možno určiť **rýchlosť zapálenia**, ktorá sa používa na klasifikáciu plastov do kategórií: veľmi ťažko zápalné, pomaly zápalné, ľahko zápalné a prudko zápalné.

Farba a správanie sa plameňa sú ďalšími rozlišovacími znakmi. Niektoré polyméry plameň zafarbujú (napr. halogénované plasty môžu spôsobovať zelené sfarbenie), iné vytvárajú hustý čierny dym (napr. polystyrén alebo ABS). Zafarbenie dymu, jeho stúpavosť a zápach sú takisto dôležité identifikačné znaky. **Zápach vznikajúci pri horení** môže pripomínať známe chemikálie (napr. spálenú gumu, sladkastý

aromát, ocot, spálené vlasy), pričom sa odporúča nepričiuchávať priamo, ale **dlaňou si dym priviať k nosu** a vnímať ho postupne.

Správanie polymérov pri vyššej teplote závisí aj od ich **makromolekulovej štruktúry**. **Lineárne a rozvetvené polyméry** (napr. polyetylén, polypropylén) pri ohreve mäknú, topia sa, často odkvapkávajú a z taveniny možno ťahať vlákno. Po vychladnutí sa ich tvar a mechanické vlastnosti do značnej miery obnovia. **Zosieťované polyméry** (napr. termosety) sa správajú odlišne – pôsobením tepla praskajú, pľuzgierujú, uvoľňujú plynné produkty a zuhoľnatejú. Po ochladení už svoj pôvodný stav nezískajú. Aby sa správne rozpoznali optické javy pri skúške (napr. farba plameňa), je dôležité, aby **použitý plameň bol čistý a nezafarbený**. Na tento účel sa používa prednostne **plameň metánového horáka** alebo **liehového kahana**. Znečistený knôt alebo držiak môže spôsobiť nechcené zafarbenie, ktoré by skreslilo výsledky.

Vzorky na skúšku sa získavajú **vyrezaním z výrobku** pomocou zveráku a pilky, prípadne sú k dispozícii vo forme prášku alebo granulátu. Pri manipulácii s malými vzorkami sa často používa **očko z platínového drôtu**, ktoré umožňuje bezpečnú prácu v plameni.

Skúška v plameni je síce orientačná, ale v kombinácii s **tabuľkovými údajmi** (napr. rýchlosť zapálenia, farba dymu, vlastnosti zvyškov) a **pozorovanými javmi** umožňuje rýchle a pomerne presné **určenie typu polyméru**. Táto metóda je preto užitočná v laboratórnej praxi, najmä pri recyklácii plastov, kontrole kvality a v chemickej analýze polymérových materiálov.

Do protokolu sa zaznamenáva:

- vzhľad a opis pôvodnej vzorky,
- priebeh ohrevu,
- charakter rozkladných produktov,
- porovnanie so známymi údajmi (tab. 4) – určenie pravdepodobného typu polyméru,
- určenie, či ide o termoplast (mäkne, topí sa, nespáli sa ľahko) alebo reaktoplast (tvrdne, zuhoľnatie, nepružný).

Poznámky a bezpečnostné upozornenia

- Zápach sa hodnotí opatrne – len privedením pár k nosu, nie priamym nadýchnutím!
- Pracovisko musí byť dobre vetrané!

Tab. 4 Charakteristické znaky plastov pri skúške v plameni

Polymér	Horľavosť	Farba plameňa	Dym	Zápach	Správanie po vybratí z plameňa	Iné znaky
PE (polyetylén)	horľavý	modro-žltý	biely až sivý, málo dymí	parafrínový voskový	horí ďalej, odkvapkáva	z taveniny sa dá ťahať vlákno
PP (polypropylén)	horľavý	modro-žltý	svetlý, menej dymí ako PE	sladkastý	horí ďalej, odkvapkáva	podpbný PE
PVC (polyvinylchlorid)	samozhášavý	zelenkavý (obsah Cl)	hustý, biely, dráždivý	ostrý, chlórový	zhasne po vybratí z plameňa	silné dymenie, štipľavý dym
PS	horľavý	žltý, jasný	hustý,	sladkastý, po	horí ďalej,	kvapká,

(polystyrén)			čierny	muškátoch, aromatický (styrén)	tvorba sadzí	horí s praskaním
PA (polyamid)	horľavý	modro-žltý	sivý až biely	po spálených vlasoch, vlne	horí ďalej, tavia sa vlákna	po vychladnu tí materiál tvrdne
PMMA (polymetylmetakrylát)	horľavý	modrý, jasný	mierny, biely	sladký, po kvetinách	horí ďalej	topenie bez sadzí, iskrenie, napučiava
PET (polyetyléntereftalát)	samozhášavý /ťažko horľavý	modro-žltý	biely až sivý, môže byť hustý	sladkastý	často zhasne, len dymí	tvorí bublínky, nálet
PUR (polyuretán)	samozhášavý /ťažko horľavý	slabý, oranžovo- žltý	dráždivý, hustý dym	amoniakálny, ostrý	väčšinou zhasne	silne dymí, tvorí pľuzgiere
PTFE (polyterafluóretylén)	nehorí	bez sfarbenia	hustý, biely, toxický	ostrý, neprijemný	nehorí, iba sa rozkladá	fluórové výpary sú toxické
PC (polykarbonát)	samozhášavý	bledožltý	mierny, sivý	fenolový, ostrý	väčšinou zhasne	tavenina je viskózna
PVAI (polyvinylalkohol)	samozhášavý / slabo horľavý	bledý plameň	hustý, biely	po octe alebo alkohole	zhasína, silne dymí	pení, výrazne zapácha, okraj očadený
ABS (akrylonitrilbutadiénst yrén)	horľavý	žltý, dymivý	hustý, čierny	fenolový	horí ďalej, sadzí	praskanie, sadze, čierny dym

Zadanie: Na základe skúšky v plameni (pomocou tabuľky 4) identifikujte vzorky neznámych polymérov.

3.3 Mechanické skúšky plastov

Skúška ťahom

Skúška plastov ťahom je metódou zisťovania ich správania sa pri jednoosovom namáhaní, za účelom získania porovnateľných hodnôt, ktoré slúžia na kontrolu kvality skúšaného materiálu. Skúšobné telesá upravené v trhácom stroji sú vystavené namáhaniu pri konštantnou rýchlosťou sa meniacej deformácii. Namáhanie je vyvodzované až do pretrhnutia vzorky.

Pri skúške ťahom sa zisťuje sila, pri ktorej dochádza k pretrhnutiu vzorky a registruje sa pracovná krivka skúšky ťahom, čo je závislosť predĺženia skúšobného telesa od zaťažovacej sily. Na skúšku sa používajú skúšobné telesá, ktorých tvar je uvedený na obrázku 1. Skúšobné telesá sa pripravujú lisovaním, vstrekováním z granulátu alebo mechanickým opracovaním doskových polotovarov. Musia mať hladký rovinný tvar bez trhlín a iných viditeľných chýb. Na jeden údaj pevnosti je potrebné použiť 5 + 1 skúšobných

telies. Skúšobné zariadenie je mechanicky alebo hydraulicky ovládaný ťhací stroj vybavený meraním a registráciou veľkosti pôsobiacej sily a vyvolaného predĺženia pri meniacej sa rýchlosti deformácie.

Postup skúšky

Pred skúškou sa na telesách zmerajú potrebné rozmery – hrúbka telesa (na troch miestach), šírka telesa a dĺžka pracovnej časti telesa. Teleso sa uchyťí do ťhacieho stroja a ak je to potrebné, na teleso sa upevnia úchytky extenzometra. Spustí sa pohyb čelustí a počas skúšky sa zaznamenávajú hodnoty sily a pracovnej dĺžky telesa.

Pre vyhodnotenie skúšky platia nasledovné vzťahy:

Plocha pôvodného prierezu skúšobného telesa:

$$A_0 = a_0 \cdot b_0 \text{ [mm}^2\text{]}, \quad (1)$$

kde a_0 – šírka skúšobného telesa pred skúškou, b_0 – hrúbka skúšobného telesa pred skúškou

Zmena plochy prierezu skúšobného telesa:

$$A = a \cdot b \text{ [mm}^2\text{]}, \quad (2)$$

kde a – šírka skúšobného telesa po skúške, b – hrúbka skúšobného telesa po skúške

Relatívne predĺženie:

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0} * 100 \text{ [%]}, \quad (3)$$

kde l_0 – dĺžka pracovnej časti skúšobného telesa pred skúškou [mm],

l_1 – dĺžka pracovnej časti skúšobného telesa po skúškou [mm].

Pevnosť v ťahu pri pretrhnutí:

$$\sigma = \frac{F_{max}}{A_0} \text{ [MPa]}, \quad (4)$$

kde F_{max} – je maximálna sila pri pretrhnutí [N], A_0 – plocha pôvodného prierezu skúšobného telesa [mm²]

Stanovenie rázovej húževnatosti Charpyho metódou

Podľa Charpyho metódy je teleso podoprené ako horizontálny nosník, pričom dráha padajúceho kladiva prechádza stredom skúšobného telesa medzi opornými nosníkmi. Štandardné skúšobné teleso má rozmery 80x10x4 mm. Umiestnenie telesa v prístroji je možné dvoma spôsobmi – plochou 80x10 mm smerom k dopadajúcemu kladivu – na plocho, alebo plochou 80x4 mm smerom k dopadajúcemu kladivu – na hranu. V súčasnosti sa preferuje usporiadanie na hranu pre väčšinu testov, pokiaľ v minulosti sa väčšinou preferovala poloha telesa na plocho a usporiadanie na hranu sa používalo najmä pre skúmanie vplyvu vláknitej výstuže na rázovú húževnatosť. Usporiadanie na plocho sa v súčasnosti odporúča pre skúmanie vplyvu UV žiarenia alebo pôsobeniu chemikálií na rázovú húževnatosť. Test sa môže vykonávať na hladkom skúšobnom telese, vtedy hovoríme o rázovej húževnatosti, alebo na telese s vrubom, vtedy hovoríme o rázovej húževnatosti s vrubom. Na telese sa pred skúškou zmeria hrúbka h a šírka b , v prípade telesa s vrubom sa meria zostatková šírka pod vrubom. Kladivo sa zdvihne a upevní a do prístroja sa vloží skúšobné teleso. Po uvoľnení kladiva sa následne zaznamená energia, spotrebovaná na prerazenie telesa. Pri skúške môžu nastať tri typy zlomu:

C – úplný zlom – teleso sa rozdelí na dve časti,

H – visutý zlom – taký neúplný zlom, pri ktorom sú obe časti telesa spojené tenkou vrstvou materiálu bez zvyškovej tuhosti,

P – čiastkový zlom – neúplný zlom, pre ktorý neplatí definícia visutého zlomu,

NB – bez zlomu.

Namerané hodnoty C a H sa použijú na výpočet rázovej húževnatosti. Pri hodnotách P je potrebné uviesť poznámku o charaktere zlomu a hodnoty NB sa neberú do úvahy.

Rázová húževnatosť telies bez vrubu a_{cU} je definovaná ako rázová energia, absorbovaná telesom bez vrubu pri prerazení, vzťahnutá na pôvodnú plochu prierezu telesa:

$$a_{cU} = \frac{W}{h \cdot b} \cdot 10^3 \text{ [kJ/m}^2\text{]}, \quad (5)$$

W – energia spotrebovaná na prerazenie skúšobného telesa [kJ]

h – hrúbka telesa v mm

b – šírka telesa v mm

Zadanie 1: Urobte skúšku ťahom podľa EN ISO 527 na skúšobnej tyči obdĺžnikového prierezu a zistite tieto mechanické charakteristiky:

- a) pevnosť v ťahu pri pretrhnutí – σ ,
- b) relatívne predĺženie – ε ,
- c) nakreslite a popíšte pracovný diagram skúšky ťahom.

Výsledky spracujte do tabuľky/grafu.

Zadanie 2: Zistite odolnosť materiálu proti rázovému namáhaniu na skúšobných tyčiach podľa ISO 179 pri normálnej teplote.

Výsledky spracujte do tabuľky/grafu.

Zadanie 3: Na základe porovnania výsledkov skúšky ťahom a skúšky rázovej húževnatosti a materiálových listov vybraných polymérov, identifikujte polymér, ktorý bol použitý na prípravu skúšobných vzoriek. Definujte vlastnosti identifikovaného polyméru a uveďte možnosti jeho aplikácie v praxi.

Zadanie 4: Zodpovedajte nasledujúce otázky:

1. Pri dlhodobom zaťažovaní polymérov materiál vykazuje:
 - a) menšiu ťažnosť ako pri krátkodobom namáhaní,
 - b) väčšiu ťažnosť ako pri krátkodobom namáhaní,
 - c) väčšiu medzu pevnosti ako pri krátkodobom namáhaní.
2. V prípade, že sa diel po ukončení namáhania vráti do pôvodného tvaru, hovoríme o:
 - a) pružnej deformácii,
 - b) plastickej deformácii,
 - c) trvalej deformácii.
3. Medza pevnosti je totožná s napätím v okamihu porušenia skúšobného telesa:
 - a) pri krehkých polyméroch,
 - b) pri húževnatých polyméroch.
4. U nevystužených plastov sa medza pevnosti pohybuje najčastejšie do:
 - a) 100 MPa,
 - b) 10 MPa,

c) 500 MPa.

3.4 Stanovenie krivky tuhnutia

Plasty ako polymérne materiály vykazujú rozdielne správanie počas topenia a tuhnutia v závislosti od ich vnútornej štruktúry. Z hľadiska usporiadania makromolekúl ich delíme na **amorfné** a **semikryštalické** polyméry. Táto štruktúra zásadne ovplyvňuje priebeh fázových zmien, ako je tavenie a tuhnutie, ktoré možno analyzovať pomocou **krivky tuhnutia**.

Amorfné polyméry (napr. polystyrén – PS) nemajú usporiadanú kryštalickú štruktúru. Pri tuhnutí nemenia fázu náhle, ale dochádza k postupnému zvyšovaniu viskozity až do úplného stuhnutia. Preto je ich krivka tuhnutia **plynulá**, bez výrazného zdržania teploty. Naopak, **semikryštalické polyméry** (napr. polyetylén – PE) obsahujú kryštalické domény, ktoré sa pri tuhnutí formujú v presne definovanom teplotnom intervale. Počas kryštalizácie sa **uvoľňuje teplo (latentné teplo tuhnutia)**, čo spôsobí **časovú výdrž teploty** – tzv. **zádrž**. Táto zádrž sa prejaví ako horizontálna časť na grafe závislosti teploty od času.

Tento jav umožňuje **experimentálne rozlíšiť typ polyméru podľa tvaru jeho krivky tuhnutia**. Zaznamenaním teploty taveniny počas ochladzovania a jej znázornením do grafu získavame informácie o štruktúre a správaní daného plastu pri prechode z taveniny do pevného skupenstva.

Cieľom experimentu je porovnať krivky tuhnutia **semikryštalického** plastu a **amorfného** plastu. Vzorky polymérov sa najskôr **roztavia v olejovom kúpeli**, následne sa **ochladzujú na vzduchu** a v pravidelných časových intervaloch sa **odčítava teplota taveniny**. Získané údaje sa zaznamenávajú do tabuľky a **graficky spracujú** do krivky tuhnutia.

Pozornosť pri príprave vzoriek treba venovať **odstráneniu zvyškov vlhkosti**, pretože prítomnosť vody môže ovplyvniť priebeh tavenia a tuhnutia, napríklad bublinkovaním alebo nesprávnym vývojom teploty.

Získaná krivka tuhnutia poskytuje dôležité informácie nielen o **type polyméru**, ale aj o jeho **tepelných vlastnostiach, spracovateľnosti a kvalite**. Táto metóda sa využíva v technologickej praxi aj vo výskume plastov.

Pomôcky a chemikálie:

- varič,
- olejový kúpeľ,
- laboratórny stojan,
- 2 držiaky na skúmavky,
- 2 skúmavky,
- 3 teplomery,
- stopky,
- milimetrový papier,
- granule nízkotlakového PE a štandardného PS

Postup skúšky

Vážením si pripravíme 2 g vzorky dvoch polymérnych materiálov. V prvom kroku vzorky vysušíme do konštantnej hmotnosti. Môže prípadná vlhkosť ovplyvniť výsledok skúšky??? Pripravenú vzorku polyméru vložíme do skúmavky, ktorú vložíme do olejového kúpeľa a postupne zahrievame. Na olejovom kúpeli s teplomerom ohrejeme v skúmavke granulát PE na 140 °C a PS na 160 °C jednotlivo za sebou. Skúmavku s taveninou PE vyberieme z kúpeľa, prichytíme na stojan a necháme na voľnom vzduchu chladnúť. Každých 20 s odčítame teplotu taveniny a príslušnú hodnotu zaznamenávame do pripravenej

tabuľky. Meranie ukončíme až keď teplota taveniny dosiahne 70 °C. To isté zopakujeme pre PS. Graficky znázorníme časovú závislosť teploty tuhnutia (po stuhnutí plastu). U amorfnych plastov sa na rozdiel od semikryštalických plastov neobjaví časová výdrž na určitej teplote (zádržná čiara na grafe). Zádrž u semikryštalických plastov zodpovedá vzniku vnútorného tepla vplyvom vzniku zárodkov.

Zadanie 1: Pre vybraný semikryštalický termoplast (PE) a amorfný termoplast (PS) stanovte krivky tuhnutia. Z textu spracujte jednoduchý pracovný postup, zadané údaje pre dva rôzne polyméry vyhodnoťte a v závere dôkladne porovnajte.

Zadanie 2: Ako teoretický úvod spracujte vzvetlenie zadaných pojmov - kryštalizácia, sklovitý prechod, latentné teplo tuhnutia.

Zadanie 3: Aký termoplast by ste vybrali pre aplikáciu, kedy je požadované, aby diel bol priehľadný a vydržal by bez zaťaženia do teploty 110 °C? (ako pomôcku použite tabuľku 5).

Tab. 5 Charakteristické znaky plastov pri skúške v plameni

Polymér	Štruktúra	Názov	Skratka	T _g [°C]	T _m [°C]
TERMOPLAST	semikryštalické	Polyetylén nízkohustotný	PE-LD	-120	105-115
		Polyetylén vysokohustotný	PE-HD	-120	130-135
		Polypropylén	PP	-15	160-170
		Polyoxymetylén	POM	-50	165-185
		Polyamid 6	PA-6	50	215-225
		Polyamid 66	PA-66	50	250-260
		Polyetyléntereftalát	PET	75	250-260
		Polybutyléntereftalát	PBT	75	225-230
		Polytetrafluóetylén	PTFE	125	340-345
		Polyetereterketón	PEEK	145	335-345
	amorfné	Nemäkčený polyvinylchlorid	PVC-U	85	-
		Štandardný polystyrén	PS-GP	95	-
		Akrylonitrylbutadién styren	ABS	105	-
		Styrénakrylonitril akrylát	SAN	105	-
		Akrylonitrilstyrén akrytlát	ASA	100	-
		Polymetylmetakrylát	PMMA	110	-
		Polykarbonát	PC	150	-
		Polysulfón	PSU	190	-
		Polyimid	PI	>400	-
VULKANIZOVANÝ ELASTOMÉR	amorfné	Prírodný kaučuk	NR	-70	-
		Butadiénstyrénový kaučuk	SBR	-50	-
		Izoprénový kaučuk	IR	-55	-
		Butylkaučuk	IIR	-75	-
		Chloroprénový kaučuk	CR	-40	-
		Etylénpropyléndiénový terpolymér	EPDM	-60	-
		Silikónový kaučuk	Q	-85	-
REAKTIVNÝ TERMOPLAST		Epoxidová živica	EP	>75	-
		Fenolformaldehydová živica	PF	>150	-
		Novolaková epoxidová živica		>125	-
		Polyesterová živica	UP	>60	-

3.5 Stanovenie požiarlych charakteristík

Požiarne charakteristiky polymérnyh materiálov predstavujú dôležitý súbor vlastností, ktoré určujú ich správanie pri pôsobení otvoreného plameňa alebo zvýšenej teploty. S narastajúcim využívaním plastov v stavebníctve, elektrotechnike, doprave a spotrebnej technike rastie aj potreba hodnotenia ich horľavosti a požiarnej bezpečnosti. Horľavosť polymérov je vo väčšine aplikácií nežiaduca, pretože môže viesť k rýchlemu šíreniu požiaru, uvoľňovaniu toxických spodín horenia a ohrozeniu zdravia a majetku. Správanie polymérov pri horení závisí od ich chemickej štruktúry, mechanizmu tepelného rozkladu (pyrolýzy), druhu vznikajúcich plynných produktov a schopnosti materiálu samovoľne zhasínať. Tieto vlastnosti je možné ovplyvniť nielen výberom vhodného polyméru, ale aj použitím retardérov horenia, ktoré znižujú rýchlosť horenia alebo podporujú samozhášavosť materiálu.

Cieľom stanovenia požiarlych charakteristík je objektívne posúdiť horľavosť polymérnyh materiálov pomocou štandardizovaných skúšobných metód podľa platných technických noriem. Výsledky skúšok umožňujú klasifikovať materiály do príslušných tried horľavosti a slúžia ako podklad pre ich bezpečné technické využitie z hľadiska požiarnej ochrany.

Pomôcky a chemikálie:

- zdroj ohňa,
- stojan, svorky,
- stopky,
- vzorky polymérov.

Postup skúšky

Horľavosť polymérnyh materiálov začala nadobúdať značný význam najmä v období, keď polymérne materiály, hlavne plasty začali nachádzať čoraz väčšie uplatnenie v stavebníctve a v bytovej technike, ale aj takých technických oblastiach, kde sa ich nehorľavosť priamo vyžaduje (napr. izolanty v elektrotechnike). Horľavosť polymérov je vo všeobecnosti nežiaduca vlastnosť, ktorá sa do určitej miery dá potlačiť vhodným výberom polyméru v kombinácii s prídavkom látok, ktoré horľavosť polymérov znižujú, tzv. retardérov horenia.

S rozširovaním aplikácii plastov sa postupne vyvíjali aj metódy na hodnotenie ich horľavosti, pričom jednotlivé metódy odrážali zvyčajne špecifiká jednotlivých oblastí použitia polyméru. V súčasnosti je v STN zavedených šesť metód pre hodnotenie horľavosti polymérov:

1. STN 64 0756 Plasty. Stanovenie horľavosti metódou kyslíkového čísla. (ekvivalent ISO 4589)
2. STN ISO 1210 (64 0755) Plasty. Stanovenie požiarlych charakteristík horizontálnych a vertikálnych vzoriek, ktoré sú v styku s malým iniciátorom zapálenia.
3. STN 64 0757 Skúšanie plastov. Stanovenie horľavosti plastov vo forme fólií.
4. STN 64 0146 Skúšanie plastov. Odolnosť za tepla a zápalnosť pri skúške žeravým trňom.
5. STN ISO 871 (64 0760) Plasty. Stanovenie zápalnosti v teplovzdušnej peci.
6. STN ISO 181 (64 0750) Plasty. Stanovenie charakteristík horenia tuhých plastov vo forme malých skúšobných telies pri dotyku s rozžeravenou tyčou.

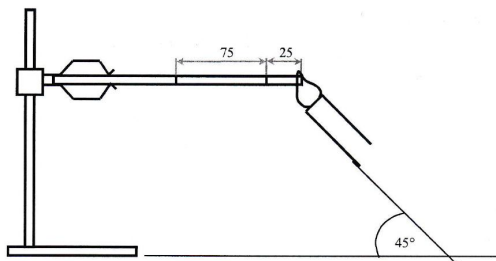
Podstata skúšky spočíva v tom, že horizontálne alebo vertikálne upevnené skúšobné teleso (tyčinka) sa vystaví špecifikovanému plameňu. Požiarna charakteristika sa potom stanoví ako lineárna rýchlosť horenia (metóda A) alebo ako doba samovoľného horenia, resp. žeravenia (metóda B). ako telesá sa používajú tyčinky o rozmeroch:

- dĺžka 125 mm

- šírka 13 mm
 - hrúbka 3 mm
- pričom sa pre každú skúšku použijú 3 telesá.

Horizontálne usporiadanie – metóda A

Plameň kahana sa nastaví tak, aby výška modrého plameňa v kolmej polohe kahana bola 20 mm. Skúšobné teleso so značkami vo vzdialenosti 25 a 100 mm od voľného okraja, sa upevní do držáka a plameň sa priblíži k voľnému okraju telesa tak, aby zasiahol do hĺbky 6 mm a nechá sa pôsobiť 30s. Usporiadanie skúšky je znázornené na obr. 1.



Obr. 1: Experimentálne usporiadanie pre horizontálnu skúšku požiarnych charakteristík

Kahan sa od telesa odtiahne po 30s, alebo ihneď, ako čelo plameňa dosiahne značku 25 mm (podľa toho, ktorá skutočnosť nastane skôr). Ak vzorka po oddialení plameňa horí plameňom alebo bez plameňa, zaznamenaná sa čas, za ktorý prejde čelo horenia od značky 25 mm po značku 100 mm a ako poškodená dĺžka sa stanoví 75 mm. Ak čelo horenia zastane medzi značkami, zaznamenaná sa čas horenia a poškodená dĺžka. Následne sa vypočíta lineárna rýchlosť horenia:

$$v = \frac{60 \cdot L}{t} \quad [\text{mm/min}], \quad (6)$$

kde v je lineárna rýchlosť horenia

L je zhorená dĺžka skúšobného telesa v mm

t je doba horenia v s.

Úbytok hmotnosti:

$$m_u = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 (\%), \quad (7)$$

kde: m_u – úbytok hmotnosti (%),

m_1 – hmotnosť vzorky pred testovaním (g),

m_2 – hmotnosť vzorky po testovaní (g).

Vertikálne usporiadanie – metóda B

Vertikálne usporiadanie je znázornené na obr. 2. Plameň kahana, ktorý sa nastaví ako pri metóde A, sa nechá pôsobiť na stred spodného okraja telesa, tak aby horný okraj kahana bol 10 mm pod vzorkou. V tejto vzdialenosti sa kahan pridrží po dobu 10 s. potom sa kahan odtiahne a zmeria sa doba horenia t_1 . Ak vzorka zhasne po odtiahnutí kahana, kahan sa znovu priloží na dobu 10 s a po odtiahnutí sa opäť zmeria doba horenia t_2 a doba žeravenia vzorky t_3 . Okrem toho sa sleduje, či zo skúšobného telesa odkvapkáva roztavený polymér a či tento zapáli podloženú vatú. Meranie sa opakuje min. na piatich telesách. Vypočíta sa celková doba horenia t_h :

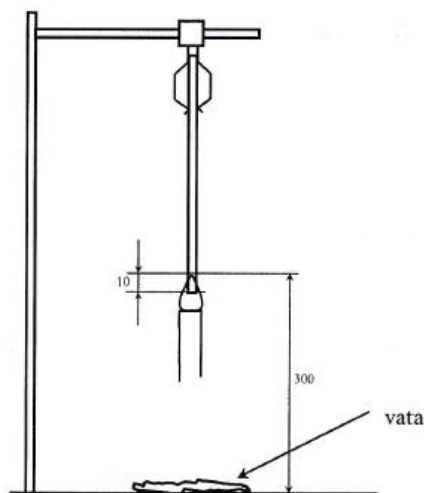
$$t_h = t_1 + t_2 \quad (8)$$

kde: t_h – čas horenia (s),

t_1 – čas horenia od 1. zapálenia vzorky (s),

t_2 – čas horenia od 2. zapálenia vzorky (s).

Na základe výsledkov skúšok podľa oboch metód sa triedia materiály do tried podľa metódy A na triedy FH1 až FH4 a podľa metódy B na triedu FV0, FV1 a FV2 podľa výsledkov dosiahnutých pri skúške.



Obr. 2: Experimentálne usporiadanie pre vertikálnu skúšku požiarnych charakteristík

Tab. 6 Vzťah medzi štruktúrou pyrolýznych produktov a vlastnou retardáciou horenia plastov

Polymér	Produkt pyrolýzy	Produkty spálenia	Teplota vznietenia [°C]	LKČ	Rýchlosť horenia [cm . min ⁻¹]
POM	formaldehyd	CO, CO ₂		16,2	2,5
PA	akrylové monoméry	CO, CO ₂	338	17,3	1,2 – 5,0
polyolefíny	alkény, alkány, alicyklické uhľovodíky	CO, CO ₂	343	17,4	1,75 – 2,5
acetát celulózy	CO, CO ₂ , kys. octová	CO, CO ₂ , kys. octová	327	25,0	1,2 – 5,0
PA66	amíny, CO, CO ₂	CO, CO ₂ , NH ₂ , amíny	424	28,7	samozhášavý
PVC	HCl, aromatické uhľovodíky	HCl, CO, CO ₂	454	47,0	samozhášavý
PETP	alkény, kys. benzoová				
PC	CO ₂ , fenol	CO, CO ₂	482		samozhášavý
fenoplasty	fenol, formaldehyd	CO, CO ₂	482		samozhášavý
nenasýtené PES	styren, kys. benzoová	CO, CO ₂	485		samozhášavý
MF	NH ₃ , amíny		602		samozhášavý
PS	styén, diméry, triméry	CO, CO ₂	360	18,3	2,5 – 3,7

Klasifikácia:

Metóda A – vlastnosti vzorky možno klasifikovať do jednej zo 4 tried:

FH -1 – plameň nie je viditeľný po oddialení iniciátora zapálenia, alebo čelo horenia neprejde cez 25 mm značku,

FH-2 – čelo horenia prejde cez 25 mm značku, ale neprejde cez 100 mm značku. Dĺžka zhorenej plochy sa doplní k označeniu triedy (napr. FH -2-70 mm).

FH-3 – čelo horenia prejde cez 100 mm značku a lineárna rýchlosť horenia neprekročí 40 mm/min. pre vzorky s hrúbkou menšou ako 3 mm. Rýchlosť horenia sa doplní k označeniu triedy (napr. FH-3-30 mm).

FH-4 – rovnako ako FH-3, až na to, že lineárna rýchlosť horenia prekračuje uvedenú hodnotu. Rýchlosť horenia sa doplní k označeniu triedy (napr. FH-4-60 mm/min.)

Metóda B – vlastnosti vzoriek možno klasifikovať jednou z tried uvedených v tab. 7 (FV – horenie vo vertikálnej polohe) pomocou zvolenia príslušného stĺpca na základe výsledkov skúšky a odpoveďou na podmienkové otázky.

Tab. 7 FV triedy

Podmienky	Trieda			
	1	2	3	4
1. Ak je doba horenia t_1 alebo t_2 všetkých vzoriek	$\leq$ 10 s	$\leq$ 30 s	$\leq$ 30 s	$>$ 30 s
2. a doba horenia pre celú sadu t_f pre akékoľvek kondicionovanie	$\leq$ 30 s	$\leq$ 90 s	$\leq$ 90s	$>$ 90 s
3. a doba horenia a žeravenia každej vzorky po druhej aplikácii plameňa ($t_1 + t_2$)	$\leq$ 30 s	$\leq$ 60 s	$\leq$ 60 s	$>$ 60s
4. a vzorka horí alebo žeravie až po prídržnú svorku	nie	nie	nie	áno
5. a filtračný papier sa zapáli horiacimi čistočkami alebo kvapkami	nie	nie	áno	áno alebo nie
6. tak je kategória	FV-0	FV-1	FV-2	-
1) najväčšie číslo, v ktorom daná vzorka spĺňa všetky uvedené kritériá. 2) Ak len jedna vzorka zo súboru piatich vzoriek pre daný spôsob kondicionovania nespĺňa požiadavky pre danú kategóriu, odskúša sa ďalší súbor 3 vzoriek kondicionovaných tým istým spôsobom. Všetky vzorky z druhého súboru musia vyhovovať príslušným požiadavkám pre danú kategóriu. 3) Minimálna hrúbka v mm s presnosťou na 0,1 mm, ktorá spadá do tejto triedy. 4) Materiál nemožno klasifikovať metódou B, použije sa metóda A na klasifikáciu požiarnej charakteristiky materiálu.				

Zadanie: Vykonajte skúšku požiarnych charakteristík pre PP. Výsledky porovnajte, vyhodnoťte, zaradte do tried a na základe výsledkov navrhnete použitie z hľadiska požiarnej bezpečnosti.

3.6 Identifikácia textilných vlákien

Identifikácia textilných vlákien je základným krokom pri hodnotení vlastností textilných materiálov, ich kvality, pôvodu a vhodnosti pre konkrétne použitie. Druh vlákna výrazne ovplyvňuje mechanické, fyzikálne, chemické aj úžitkové vlastnosti textílií, ako sú pevnosť, pružnosť, hygroskopickosť, horľavosť či odolnosť voči chemikáliám. Správne určenie zloženia textilného materiálu je preto dôležité nielen v oblasti výroby a kontroly kvality, ale aj v spotrebiteľskej praxi, forenzej analýze a pri hodnotení bezpečnosti výrobkov.

Na identifikáciu textilných vlákien sa využívajú jednoduché orientačné aj presnejšie laboratórne metódy, medzi ktoré patria spaľovacia skúška, mikroskopická analýza a chemické skúšky. Spaľovacia skúška poskytuje rýchlu informáciu o základnej skupine vlákien na základe ich správania pri horení, charakteristického zápachu a zvyškov po horení. Mikroskopická skúška umožňuje detailné pozorovanie povrchovej a tvarovej štruktúry vlákien, ktorá je pre jednotlivé druhy vlákien typická. Doplnkovou súčasťou hodnotenia textilných materiálov je aj stanovenie hmotnostných a vlhkosťových ukazovateľov, ktoré majú významný vplyv na spracovanie, skladovanie a úžitkové vlastnosti textílií.

Cieľom tejto úlohy je pomocou uvedených experimentálnych metód identifikovať jednotlivé typy textilných vlákien a stanoviť základné hmotnostné charakteristiky textilného materiálu vrátane výpočtu jeho vlhkosti.

Pomôcky a chemikálie:

- vzorky vlákien,
- nehorľavá podložka,
- zápalky,
- liehový kahan,
- pinzeta,
- kliešte,
- kadičky,
- voda,
- varič,
- kyselina sírová (75%, 97%), hydroxid sodný (5%) za varu, kyselina chlorovodíková (37%) za varu,
- mikroskop,
- podložné a krycie sklíčka,
- pinzeta,
- ihla,
- nožničky,
- kadička s vodou (glycerínom),
- sklenená tyčinka,
- kvapkadlo.

Postup skúšky

Spaľovacia skúška – umožňuje zhruba stanoviť príslušnosť textilného vlákna do určitej skupiny vlákien podobného zloženia. Pri stanovení druhu textilného vlákna na základe spaľovacej skúšky sa využívajú ľudské zmysly, najmä čuch. Cieľom skúšky je pokúsiť sa pomocou spaľovacej skúšky a popisu chovania jednotlivých druhov vlákien pri spaľovacej skúške (tab.1) určiť jednotlivé druhy vlákien. Pri spaľovacej skúške sa posudzuje:

- Spôsob a rýchlosť spaľovania a zmena skupenstva vlákna pred spaľovaním a počas neho – môžu nastať nasledovné prípady: vlákna účinkom plameňa veľmi dobre horia, alebo zhasnú, nehoria alebo sa tavia.

- Zápach pri spaľovaní – vlákna vzhľadom na svoje chemické zloženie sa môžu prejavovať rôznymi špecifickými zápachmi. Na zistenie zápalu treba na skúšku použiť väčšie množstvo vzorky. Výnimkou sú vlákna na podklade bielkovín, ktoré so zreteľom na svoj prenikavý zápach po spálenej rohovine možno identifikovať dostatočne presne i v zmesiach s malou koncentráciou bielkovín.

- Vzhľad zvyšku po horení – v podstate ide o popol, škvaru alebo taveninu.

Postup práce – rozvlákni sa textilný materiál, tak aby vlákna boli dlhé niekoľko centimetrov (približne asi 5 cm). Uchopí sa zväzok vlákien do pinzety a konce vlákien sa pomaly spaľujú nad plameňom liehového kahana. Počas spaľovania sa sleduje intenzita horenia, vzhľad horenia, spôsob horenia, zápach vznikajúci počas horenia a výsledný produkt horenia. Pozorované skutočnosti sa zaznamenávajú do tabuľky. Zvyšky po skúške sa vložia do priehľadných obalov a priložia k protokolu. Na základe vlastných teoretických znalostí a tabuľky 1 s popisom správania sa jednotlivých druhov vlákien sa identifikuje druh textilného materiálu.

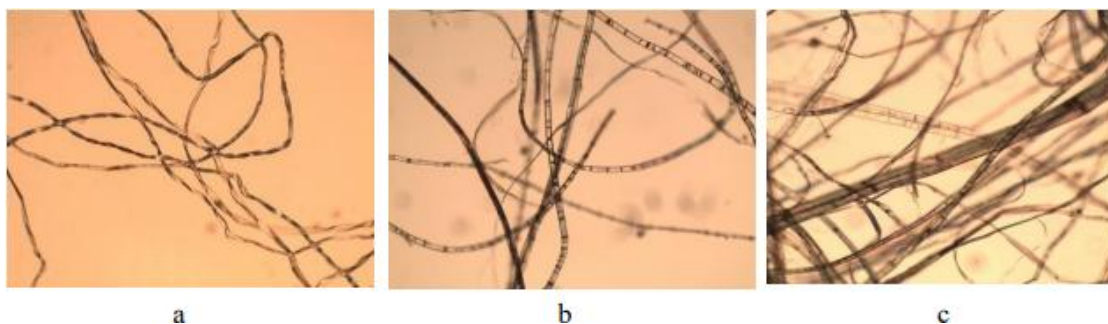
Vyhodnotenie výsledkov skúšky – protokol o skúške musí obsahovať tieto údaje: popis hodnotenej metódy a vzoriek, zvyšky vlákien po skúške, spracovanie získaných výsledkov do tabuľky.

Mikroskopická skúška – cieľom skúšky je určiť jednotlivé druhy vlákien ich pozorovaním pod mikroskopom pri minimálne 200 násobnom zväčšení. Vzhľad vlákien pod mikroskopom:

- bavlené vlákna vyzerajú ako skrútená stužka so zhrubnutými okrajmi. Vláknó bavlny je jednobunečné, splošteného tvaru, skrútené šróbovitým zákrutom s mierne zosilnenými okrajmi. Čím je vláknó staršie, tým má menej zákrutov. Povrch vlákna je potiahnutý jemnou pevnou pokožkou, kutikulou, obsahujúce vosky a pektíny.

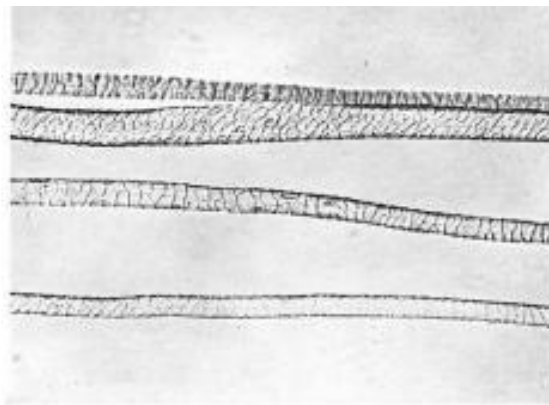
- ľan má na povrchu priečne trhlínky a kolienka. Ľanové technické vlákna dĺžky 600 až 800 mm sa skladajú z veľkého množstva elementárnych vlákien s priemernou dĺžkou 25 až 30 mm a priemerom 15 až 18 μm . Charakteristickým mikroskopickým znakom sú zosilnené miesta tzv. kolienka.

- konope - vláknó konope je jemne pozdĺžne ryhované s početnými kolienkami, ktoré sú však menej výrazne ako u ľanu. Prirodzený koniec elementárnych vlákien je zaoblený, niekedy býva aj rozvetvený.



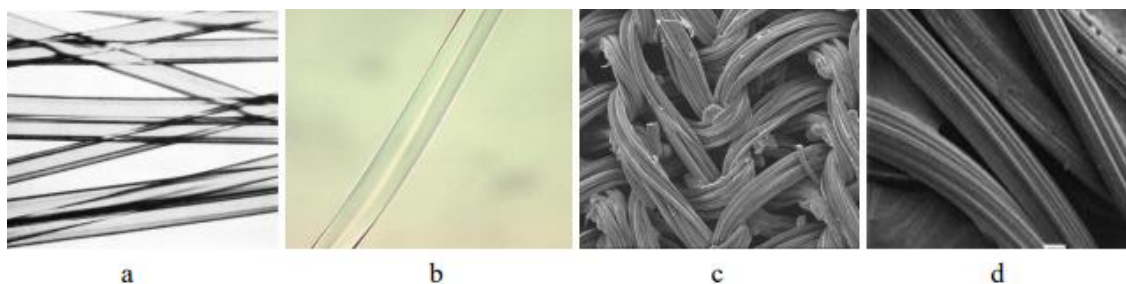
Obr. 3 Mikroskopický obraz a) bavlnených textilných vlákien b) ľanových textilných vlákien c) konopných textilných vlákien v prechádzajúcom svetle, zväčšenie 100x

- vlna má na povrchu šupinky, ktoré sa navzájom prekrývajú. Rovnaký charakter majú aj ostatné vlákna zo srsti.



Obr. 4 Mikroskopický obraz vlnených vlákien v prechádzajúcom svetle, zväčšenie, zväčšenie 250x

- viskózové vlákna sú jemne pozdĺžne ryhované,
- syntetické vlákna vyzerajú pod mikroskopom ako tyčinky, ktoré majú hladný povrch alebo aj pozdĺžne ryhovanie.



Obr. 5 Mikroskopický obraz a) polyamidových vlákien, zväčšenie 300x, b) akrylového vlákna, zväčšenie 400x, c) textílie utkanej z PU vlákien (lycra), zväčšenie 200x, d) viskózových vlákien (rayon), zväčšenie 1000x

Postup práce – z textilného materiálu sa oddelí jedna niť, ktorá sa následne pomocou ihly rozvlákni na jednotlivé vlákna. Nastrihajú sa na vlákna s dĺžkou 1 – 2 mm a položia sa na podložné sklíčko. Pomocou kvapkadla sa kvapne kvapka vody (glycerínu) na kúsky vlákien na podložnom sklíčku. Na takto pripravenú vzorku sa priloží krycie sklíčko. Pripravená vzorka sa vloží na stolík mikroskopu a pozorujú sa vlákna pri minimálne 200 – násobnom zväčšení. Vlákna sa analyzujú a identifikujú na základe teoretických znalostí o hrubej povrchovej štruktúre vlákien. Protokol o skúške musí obsahovať tieto údaje: popis hodnotenej metódy a vzoriek, grafické znázornenie mikroskopického vzhľadu vzoriek.

Stanovenie merných ukazovateľov hmotnosti textílií – vzorka s hmotnosťou zistenou pri odbere vzorky sa umiestni do prístroja, vysuší sa do konštantnej hmotnosti vzduchom s konštantnou vlhkosťou, teplotou a prietokom, stanoví sa štandardná suchá hmotnosť vzorky a vypočíta sa vlhkosť vzorky.

Štandardná suchá hmotnosť vzorky (M_{dtr}) v gramoch je hmotnosť textilného materiálu, vysušeného vzduchom s parametrami zodpovedajúcej norme. Udáva sa v gramoch a vypočíta sa podľa vzorca na 4 desatinné miesta:

$$M_{dtr} = \frac{M_{tr}}{1+K} \quad (9)$$

kde: K je korekčný faktor, ktorý sa vypočíta s presnosťou na 2 desatinné miesta podľa vzorca:

$$K = c \cdot (X - 9,5), \quad (10)$$

kde: c je konštanta, ktorá pre textilné materiály má takéto hodnoty: vlna – 0,00053, bavlna – 0,00019, viskózoové, modifikované viskózoové, med'natoátomové, syntetické a acetátové vlákna – 0,00048.

Suchá hmotnosť vzorky (M_{tr}) je hmotnosť textilného materiálu, vysušeného vzduchom s ľubovoľným obsahom vlhkosti. Udáva sa v gramoch.

Vlhká hmotnosť vzorky (M_f) je hmotnosť textilného materiálu vrátane vlhkosti, ktorú obsahoval pri odbere vzorky. udáva sa v gramoch.

Vlhkosť vzorky (u) je obsah vlhkosti akéhokoľvek druhu textilného materiálu vyjadrenej v percentách štandardnej suchej hmotnosti textilného materiálu. Vypočíta sa podľa vzorca:

$$u = \frac{M_f - M_{dtr}}{M_{dtr}} \cdot 100 \%, \quad (11)$$

Obsah vlhkosti vzduchu pre sušenie (X) prepočítaný na normálny atmosférický tlak sa vypočíta v g.kg⁻¹ s presnosťou 0,1 g.kg⁻¹ podľa vzorca:

$$X = \frac{622 \cdot \varphi^l \cdot p_s}{100 - \varphi^l \cdot p_s}, \quad (12)$$

kde $\varphi^l = \varphi_0/100$, p_s je tlak nasýtenej pary v kPa pri teplote T podľa tabuľky 2, φ_0 je relatívna vlhkosť vzduchu privádzaného na sušenie v percentách (φ_0).

Tab. 8 Správanie sa jednotlivých druhov vlákien pri spaľovacej skúške

Druh vlákien	Spaľovanie a zmena skupenstva	Zápach	Zvyšok po horení
Rastlinné a viskózoové vlákna	Horí rýchlo jasným plameňom, netaví sa	Po spálenom papieri	Jemný sivobiely popol
Živočíšne vlákna a vlákna z regenerovaných bielkovín	Horia pomalšie, po oddialení plameňa zhasajú, škvaria sa	Intenzívny po spálení rohovine, vlasoch	Ľahko drobivá čierna škvara
Acetátové vlákna	Horia pri súčasnom tavení	Po kyseline octovej	Tvrde krehké čiastočky
Anorganické vlákna	Nehoria, sklo sa taví, azbest a čadič sa netavia	Bez zápachu	Vzhľad sa nemení
Polyamid	Najskôr sa taví, potom horí a po oddialení plameňa zhasne	Aromatický zápach	Tavenina
Polyester	Najskôr sa taví, potom horí a po oddialení plameňa zhasne	Sladkastý aromatický zápach	Tavenina
Polyetylén, polypropylén	Taví sa, pri horení biely dym	Po parafíne	Žltohnedá nepriehľadná tavenina
Polyvinylchlorid	Taví sa bez plameňa	Po kyseline chlorovodíkovej	Čierny krehký zvyšok
Polyuretán	Taví sa a horí aj po oddialení	Zatuchlý, štiplavý	Tvrдый, hnedý

	z plameňa		zvyšok
--	-----------	--	--------

Tab. 9 Relatívna vlhkosť vzduchu a tlak nasýtenej pary p_s pri stanovenej teplote

T (°C)	φ_u (%)	φ_0 (%)	p_s (kPa)	T (°C)	φ_u (%)	φ_0 (%)	p_s (kPa)
11	98,1	100,0	1,31	24	43,1	59,0	2,98
12	91,8	100,0	1,40	25	40,6	55,6	3,17
13	86,0	100,0	1,50	26	38,3	52,4	3,36
14	80,5	100,0	1,60	27	36,1	49,4	3,57
15	75,5	100,0	1,71	28	34,1	46,6	3,78
16	70,8	96,9	1,82	29	32,1	44,0	4,00
17	66,4	90,9	1,94	30	30,3	41,5	4,24
18	62,4	85,4	2,06	31	28,7	39,2	4,49
19	58,6	80,2	2,20	32	27,1	37,0	4,75
20	55,1	75,7	2,34	33	25,6	35,0	5,03
21	51,8	70,8	2,49	34	24,2	33,1	5,32
22	48,7	66,6	2,64	35	22,9	31,3	5,62
23	45,8	62,7	2,81				

Zadanie:

1. Pomocou experimentálnych metód identifikujte a popíšte jednotlivé typy vlákien a vypočítajte vlhkosť vzorky.
2. Vypočítajte štandardnú suchú hmotnosť vlnenej vzorky (M_{dtr}), ak vlhká hmotnosť vzorky (M_f) bola 6,01 g, suchá hmotnosť vzorky (M_{tr}) je 5,41 g a teplota sušenia (T) bola 32 °C.

3.7 Meranie viskozity Ubbelohdeho viskozimetrom

Viskozita je základná reologická vlastnosť kvapalín, ktorá vyjadruje mieru ich vnútorného odporu proti tečeniu. Je významným fyzikálnym parametrom ovplyvňujúcim správanie kvapalín pri prúdení, miešaní a spracovaní. V oblasti spracovania polymérov a plastov má viskozita taveniny zásadný vplyv na technologické procesy, ako sú vytlačanie, vstrekovanie či liatie, ako aj na výslednú kvalitu a vlastnosti hotových výrobkov.

Kinematická viskozita sa stanovuje ako pomer dynamickej viskozity a hustoty kvapaliny a jej hodnota výrazne závisí od teploty. So zvyšujúcou sa teplotou viskozita väčšiny kvapalín klesá, čo má priamy vplyv na ich spracovateľnosť. Na experimentálne stanovenie kinematickej viskozity sa často používa Ubbelohdeho viskozimeter, ktorý umožňuje presné meranie prietokovej doby kvapaliny za presne definovaných podmienok.

Cieľom tejto úlohy je stanoviť kinematickú viskozitu roztokov glycerínu a vody pri rôznych zloženiach a teplotách, porovnať získané hodnoty a posúdiť vplyv viskozity a teploty taveniny na kvalitu plastových výrobkov.

Pomôcky a chemikálie

- Ubbelohdeho viskozimeter,
- glycerín,
- voda,

Do viskozimetra nalejte trubicou **1** toľko vzorky, aby hladina v nádobe **8** bola medzi značkami plnenia **C – D**. Po vytemperovaní vzorky nasadíme na koniec trubice **2** čistú hadicu, trubicu **3** zapcháme prstom a vzorku bez vzduchových bublín nasajeme nad značku **A**, najviac však do polovice banky **4**. Potom uvoľníme otvory trubíc **2** a **3**, vzorku necháme voľne stekať a zmeriame čas prechodu menisku medzi značkami **A** až **B**.

a) podľa všeobecného vzťahu

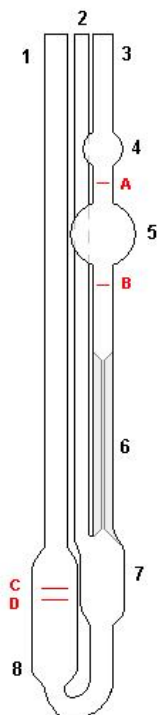
$$v = K^* t - B/t, \quad (13)$$

$$v = K^*t', \quad (14)$$

rovná sa $t - B/K.T$

V prvom stĺpci tabuľky vyhladáme hodnotu najbližšej vyššie zmeranej prietokovej doby t a oproti nej v príslušnom stĺpci podľa použitého viskozimetra potrebujú korekciu. Túto odpočítame od priemeru výtokových dôb t . Pri požadovanej väčšej presnosti zistíme presnú korekciu interpolácií, hodnôt v tabuľke alebo zo vzťahu $B/K.t$, ktorý použijeme tiež pri meraní mimo rozsah stupnice.

[illegible]



Obr. 6 Ubbelohdeho viskozimeter

Tab. 11 Viskozita niektorých kvapalín pri teplote 18 °C

Látka	Viskozita [N.s/m ²]
Anilín	$4,6 \cdot 10^{-3}$
Benzén	$0,67 \cdot 10^{-3}$
Etylalkohol	$1,25 \cdot 10^{-3}$
Glycerín	$1656 \cdot 10^{-3}$
Kyselina sírová	$32 \cdot 10^{-3}$
Olej olivový	$80,8 \cdot 10^{-3}$
Pentan-n	$0,23 \cdot 10^{-3}$
Ortuť	$1,57 \cdot 10^{-3}$
Toluén	$0,60 \cdot 10^{-3}$
Voda	$1,06 \cdot 10^{-3}$
Xylén-m	$0,63 \cdot 10^{-3}$

Zadanie: Odmerajte, vypočítajte a porovnajte viskozitu roztoku (glycerín:H₂O – dva rôzne pomery) pri 2 rôznych teplotách (23 °C a 40°C). V závere vyhodnoťte, ako vplýva viskozita a teplota taveniny na kvalitu plastových výrobkov.

3.8 Stanovenie vlastností recyklátu

Recyklácia plastov predstavuje významný nástroj na znižovanie environmentálnej záťaže a efektívne využívanie materiálových zdrojov. Vlastnosti recyklovaných polymérnych materiálov sa však môžu výrazne líšiť od vlastností primárnych granulátov v dôsledku opakovaného spracovania, mechanického namáhania, tepelnej degradácie a prítomnosti nečistôt alebo prísad. Z tohto dôvodu je nevyhnutné recykláty podrobne charakterizovať pred ich opätovným použitím vo výrobnom procese.

Stanovenie vlastností recyklátu z polyetylénu zahŕňa hodnotenie fyzikálnych a morfológických parametrov, ktoré majú priamy vplyv na jeho spracovateľnosť, transport v technologických zariadeniach a kvalitu finálneho výrobku. Medzi kľúčové charakteristiky patria distribúcia veľkosti častíc, sypná hmotnosť, obsah prchavých látok a tvar častíc. Tieto vlastnosti sú definované a hodnotené v súlade s normou STN EN 15 344, ktorá stanovuje požiadavky na charakterizáciu recyklátov z polyetylénu.

Cieľom tejto laboratórnej práce je porovnať vlastnosti primárneho PE granulátu a mechanicky recyklovaného PE materiálu, posúdiť zmeny vzniknuté v dôsledku recyklačného procesu a zhodnotiť ich možný vplyv na ďalšie spracovanie a použitie recyklátu v praxi.

Pomôcky a chemikálie:

- recyklát,
- súprava sít,
- váhy,
- sušiareň,
- kadičky,
- hodinové sklíčko,
- navažovačka,
- exikátor,
- lievik,
- odmerný valec,
- mikroskop.

Postup skúšky

Laboratórna práca je zameraná na porovnanie a zhodnotenie vlastností dvoch typov vzoriek, a to primárneho granulátu PE s prísadou, určeného na výrobu plastových výrobkov a mechanicky recyklovaná drvína zvyškov z výroby prevažne zložená z PE s pridaným množstvom prísad. Podstatou práce je zistenie, akým zmenám vlastností u týchto vzoriek na makroskopickej úrovni prišlo a posúdenie, či by tieto zmeny mohli mať vplyv na fázu výroby. Sledovanými vlastnosťami budú distribúcia veľkosti častíc a sypná hmotnosť granulátu a recyklovaného materiálu PE, ktoré patria do požadovaných vlastností pre charakterizáciu recyklátov z PE v súlade s normou *STN EN 15 344 Plasty. Recyklované plasty. Charakterizácia recyklátov z polyetylénu (PE)*.

Na určenie veľkostí častíc bude použitá sitová analýza a na určenie sypnej hmotnosti bude použitá príslušná metóda na určovanie sypnej hmotnosti. Dôvodom použitia sitovej analýzy je rôzna distribúcia veľkosti častíc recyklátu v porovnaní s granulátom, ktorá by mohla spôsobiť komplikácie vo výrobe. Výsledky merania sypnej hmotnosti, by mohli odhaliť vplyv veľkosti a tvaru častíc na transport suroviny v rámci výrobného zariadenia. Ďalšou sledovanou vlastnosťou bude obsah prchavých látok vo vzorkách (podľa normy STN EN 15 344 je zvyšková vlhkosť voliteľnou vlastnosťou pre charakterizáciu recyklátov PE), ktorý môže ovplyvniť kvalitu výsledného výrobku a analýza tvaru častíc.

Vlastnosti vzoriek

Typické podmienky pre formovanie materiálu skúšobných vzoriek PE (LLDPE) sú: teplota materiálu: od 193 do 232 ° C, teplota formy: 5 - 30 ° C. Ďalšie vlastnosti sú zhrnuté v tabuľke 12.

Tab. 12 Vlastnosti vzoriek

Vlastnosti	Jednotky SI	Hodnoty	Testovacie metódy
<i>Polymérne vlastnosti</i>			
Index toku taveniny (MFR)			ASTM D 1238
pri T = 190 °C, mnom= 2.16 kg	g/10 min	20	
Hustota	kg/m ³	924	ASTM D 1505
<i>Mechanické vlastnosti</i>			
Skúška ťahom			ASTM D 638
Medza klzu	MPa	12	
Pevnosť	MPa	8,5	
Pomerné predĺženie	%	450	
Izod rázová húževnatosť (vrubová, pri 23 °C)	J/m	540	ASTM D 256
Tvrdosť – stupnica výstuže D	-	55	ASTM D 2240
ESCR (100% Igepal), F50	h	24	ASTM D 1693A
<i>Tepelné vlastnosti</i>			
Bod mäknutia VICAT			ASTM D1525
pri 10 N (VST/A)	°C 94	94	
Bod skrehnutia materiálu	°C	< -75	ASTM D 746

Sitová analýza

Sitová analýza je založená na princípe prepadu materiálu cez sústavu sít so známou veľkosťou otvorov, ktorá sa zostavuje v smere gravitačného transportu analyzovanej látky do bloku s postupne zmenšujúcou sa veľkosťou otvorov. Tuhé látky je možné analyzovať buď v suchom stave alebo vo forme suspenzie. Po ukončení frakcionácie sa na každom site zachytí určitá časť z pôvodnej vzorky, ktorá obsahuje častice v medziach určených veľkosťou otvorov horného a dolného sita. Zvyšok na site sa odváži a výsledok sa vyhodnocuje ako hmotnosť frakcií s definovaným rozmedzím veľkosti častíc. Výsledok sitových analýz v podobe hmotnostného obsahu jednotlivých frakcií a zároveň zisk reálnej vzorky s definovaným rozmerom častíc patria k najväčším výhodám tejto metódy. Nevýhodami sitovej analýzy je časová náročnosť a deštruktívnosť vzhľadom na zrnitosť zloženia vzorky. Druhá nevýhoda sa vyskytuje najmä u látok s nízkou mechanickou pevnosťou, u ktorých dochádza počas preosievania v dôsledku oteru zrn k výraznému znižovaniu veľkosti častíc. To znamená, že výsledok analýzy nezodpovedá reálnemu zloženiu prášku pred analýzou.

Zariadenia na sitovú analýzu

Na bežných zariadeniach určených na analýzu suchých látok, je séria kovových sít umiestnená na vibračnom stojane, ktorý je často vybavený reguláciou frekvencie a amplitúdy kmitov. Analytické sitá sú obvykle zapuzdrené do kruhových kovových rámov a spojenie medzi susednými sitami je riešené tak, aby blok sít tvoril rigidný súbor navzájom sa nepohybujúcich segmentov a zároveň, aby sa eliminoval únik vzorky cez priestor medzi jednotlivými sitami, preto je často toto spojenie riešené ako vzduchotesný spoj.

Popis merania

Vopred očistené analytické sítá a zásobník sa na seba poskladajú tak, aby boli vo vzostupnom poradí podľa veľkostí ôk; sito s najväčšími veľkosťami ôk bolo navrchu sady. Zo vzorky navážime približne 120 g a naváženu hodnotu zapíšeme s presnosťou na tisícinu gramu. Vzorku preniesiem na otvorené sito, tak aby sa nepreplnilo. Sadu sít prikryjeme viečkom a upevníme do vibračnej preosievačky. Čas preosievania nastavíme na 25 min (pri granuláte na 10 min). Po uplynutí času preosievania sa sítá opatrne oddelia tak, že začneme odvrchu a obsah každého sita vysypeme na vhodnú podložku a odvážime s presnosťou na tisícinu gramu.

Stanovovanie a vyjadrovanie výsledkov

Cieľom metódy je vypočítanie percentuálneho podielu zadržanej vzorky na každom site a v zásobníku. Percentuálny podiel skúšobnej vzorky zadržanej na každom site alebo v zásobníku sa vypočíta nasledovne:

$$R_i = \frac{m_i}{m_v} \times 100 [\%], \quad (15)$$

kde

R_i je percento drviny zadržanej na site alebo v zásobníku;

m_v hmotnosť skúšobnej vzorky v gramoch;

m_i hmotnosť drviny zadržanej na každom site alebo v zásobníku.

Celkový súčet týchto hodnôt pre sadu sít, ako aj zásobník, musí byť väčší ako 99 %. V prípade, ak tak nie je, skúšobná metóda sa má opakovať.

Namerané hodnoty zapíšeme do tabuľky:

Rozmery oka[mm]	m_i [g]	R_i [%]
6.3		
4		
3.15		
2		
1		
zásobník		
Σ		
straty		

Stanovenie obsahu prchavých látok

Skúška je založená na stanovení zmeny hmotnosti skúšaného materiálu po sušení v sušiarňi

Rozdielom hmotností látky pred a po skúške sa zistí hmotnosť prchavých látok v materiáli.

Použité prístroje a pomôcky

- analytické váhy RADWAG AS 310/C/2, ($d = 0,1$ mg; $m_{\max} = 310$ g);
- sušiareň zabezpečujúca teplotu $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$;
- navažovačka s priemerom približne 85 mm a výškou približne 30 mm;
- exikátor.

Popis merania

Meranie bolo uskutočnené podľa normy STN 64 0316, ktorá predpisuje nasledovný postup:

1. Navažovačka sa suší počas 1 hodiny pri teplote $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$ a potom sa chladí v exikátore počas 1 hodiny do teploty $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ a odváži sa s presnosťou 0,0002 g.
2. Do vysušenej a odváženej navažovačky sa umiestni (20 ± 1) g skúšaného materiálu, odváži sa s tou istou presnosťou a suší sa pri teplote $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$ počas 2 h.
3. Potom sa navažovačka s návažkom chladí počas 1 hodiny v exikátore na teplotu $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ a odváži sa.

Vyjadrovanie výsledkov

Obsah prchavých látok X v percentách sa vypočíta podľa vzorca:

$$X = \frac{m - m_1}{m - m_2} \times 100 [\%], \quad (16)$$

kde m je hmotnosť navažovačky so vzorkou pred sušením v g;

m_1 je hmotnosť navažovačky so vzorkou po sušení v g;

m_2 hmotnosť prázdnej navažovačky v g.

Za výsledok skúšky sa berie aritmetický priemer dvoch paralelných vzoriek, medzi ktorými nesmie byť rozdiel stanovenia väčší ako 0,02 %.

Stanovenie sypnej hmotnosti

Sypná hmotnosť je definovaná ako hmotnosť štandardného objemu voľne sypaného materiálu. Zhusťovacie charakteristiky vzorky závisia od veľkosti častíc, veľkostnej distribúcie a od tvaru častíc. Objem, ktorý zaberá dané množstvo zväčša závisí od toho, ako sa častice umiestňujú počas sypania, t.j. či sa budú vytvárať póry v dôsledku vzájomného podopierania a mechanického blokovania, alebo či malé častice, ktoré sú prítomné sa budú umiestňovať interstiticky v medzerách medzi veľkými časticami.

Sypnú hmotnosť ovplyvňujú nasledujúce faktory:

- teplota,
- objemová hmotnosť častíc,
- vlhkosť častíc,
- veľkosť častíc,
- tvar častíc (ak sú guľovitého tvaru, lepšie sa uložia pri nasypaní),
- kvalita povrchu častíc (lepšie sú hladké povrchy, pri drsných vznikajú väčšie vzduchové medzery),
- spôsob nasypania.

Nevýhodou pri použití analýzy na pomerne hrubozrnné materiály je získanie dost' premenlivých výsledkov kvôli zavedenej chybe, keď sa zarovnávacou lištou zarovnáva vrch valca. Poznanie sypnej hmotnosti je limitujúcou hodnotou pri odhade nakyprenia alebo zhutnenia materiálov spracovávaných tvárnením, pokiaľ nie sú hustoty týchto materiálov za podmienok tvárnenia približne rovnaké. Z toho dôvodu poskytuje celkom dobrú predstavu o stabilite miešania, prítomnosti vlhkosti a stálosti medzi dávkami (zhodnosť).

Popis metódy

Lievik zvislo podoprieme tak, aby jeho spodný otvor bol vo vzdialenosti 100 mm nad odmerným valcom a aby boli v jednej osi. Vzorku pred stanovením dobre premiešame. Do lievika, ktorého spodný otvor bol uzavretý pomocou dosky, umiestnime približne 300 ml vzorky. Zarážku rýchlo otvoríme a vzorka sa voľne presype do odmerného valca. Keď je odmerný valec plný, prebytok vzorky odstránime zarovnaním vrchu odmerného valca hranou vhodnej lišty. Obsah odmerného valca odvážime na váhach s presnosťou na 0.001 g. Postup opakujeme dovtedy, kým sa kompletne vykonajú najmenej dve stanovenia skúšobnej vzorky.

Vyjadrovanie výsledkov

Sypná hmotnosť skúšobného materiálu sa udáva v gramoch na mililiter podľa vzorca:

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ [g} \cdot \text{cm}^{-3}\text{]}, \quad (17)$$

kde m je hmotnosť obsahu odmerného valca v gramoch; V objem odmerného valca v mililitroch.

Výsledkom je aritmetický priemer výsledkov stanovení získaných podľa popisu metódy.

Analýza tvaru častíc

Tvar častíc je jednou z vlastností, ktoré požaduje norma *STN EN 15 344 Plasty. Recyklované*

plasty. Charakterizácia recyklátov z polyetylénu (PE). Táto charakteristika ovplyvňuje technologické vlastnosti ako je sypná hmotnosť, tekutosť a lisovateľnosť. S tvarom častíc súvisí i povrchová energia, ktorá je tým väčšia, čím je väčší celkový povrch častíc a čím sú častice členitejšie.

Popis metódy

Z dobre premiešaného materiálu bola odobratá náhodná vzorka, v ktorej zisťujeme, ktoré tvary častíc sa v nej vyskytujú a následne podľa vzorov na obrázku 29 častice zatried'ujeme.

Potom častice jednotlivých tvarov zrátame a zhotovíme graf s percentuálnym obsahom jednotlivých tvarov:



Obr. 7 Vzory tvarov častíc a odporúčaný kvalitatívny opis

Zadanie: Vykonajte, spracujte a vyhodnoťte analýzu recyklátu.

3.9 Stanovenie teploty topenia polymérov

Teplota topenia patrí medzi základné fyzikálne vlastnosti látok a predstavuje teplotu, pri ktorej sa tuhá fáza nachádza v rovnováhe s kvapalnou fázou za daného tlaku. Pri zohrievaní tuhej látky rastie kinetická energia častíc, čím sa oslabujú väzby v kryštálovej mriežke a dochádza k jej porušeniu. Výsledkom je prechod látky z tuhého do kvapalného skupenstva. Teplota topenia je charakteristická konštanta čistej látky a jej hodnota závisí najmä od chemického zloženia a štruktúry materiálu.

V oblasti polymérnych materiálov má stanovenie teploty topenia veľký význam, pretože ovplyvňuje ich spracovanie, použitie a výsledné vlastnosti výrobkov. Kryštalické a čiastočne kryštalické polyméry vykazujú jasne definovaný interval topenia, zatiaľ čo amorfné polyméry nemajú presnú teplotu topenia, ale skôr teplotu sklovitého prechodu. Znečistenie alebo zmeny v štruktúre polyméru môžu viesť k zníženiu teploty topenia a k jej rozšíreniu do širšieho teplotného intervalu.

Stanovenie teploty topenia sa v laboratórnej praxi často realizuje mikroskopickou metódou pomocou Koflerovho bloku, ktorá umožňuje priame pozorovanie fázových zmien vzorky pri postupnom zohrievaní. Táto metóda je vhodná najmä na identifikáciu plastov, porovnanie ich vlastností a posúdenie čistoty materiálu. V kombinácii so stanovením hustoty poskytuje dôležité informácie potrebné na rozpoznanie neznámych polymérnych vzoriek.

Stanovenie teploty topenia

Pomôcky a chemikálie

- Koflerov blok,

- vzorky plastov,
- podložné a krycie sklíčko,
- mikroskop

Postup skúšky

Pri zohrievaní tuhej kryštalickej látky sa zvyšuje kinetická energia kmitavého pohybu častíc obsadzujúcich kryštalovú mriežku. Tým sa zoslabuje vzájomná súdržnosť častíc a pri určitej teplote dochádza k zmene štruktúry látky, pričom sa môže:

- vytvoriť nová kryštalová štruktúra
- zmeniť skupenský stav
- zmeniť zloženie pôvodnej látky

Niektoré látky toho istého zloženia existujú v závislosti od vonkajších podmienok v rôznych kryštalických formách. Každá modifikácia je stála len v určitom rozmedzí teploty a tlaku. Teplota, pri ktorej za daného tlaku jedna modifikácia prechádza na druhú, sa nazýva teplota premeny.

Najčastejším prípadom pozorovaných zmien pri zohrievaní tuhých látok je ich topenie. Teplota, pri ktorej je v rovnováhe tuhá a kvapalná fáza danej látky sa nazýva teplota topenia a závisí jedine od vonkajšieho tlaku. Teplota topenia je charakteristická konštanta každej čistej látky a jej stanovenie sa využíva na identifikáciu látky, ale aj ako kritérium čistoty látky. Znečistenie spôsobuje spravidla zníženie teploty topenia, pričom sa látka topí obyčajne v širšej oblasti teplôt. Opačným procesom je tuhnutie kvapalín, ktoré prebieha, ak nedochádza k vzniku metastabilných stavov, pri tom istom tlaku a pri rovnakej teplote ako topenie.

V bežnej laboratórnej praxi sa teplota topenia stanovuje priamym pozorovaním fázových zmien pri postupnom zohrievaní malého množstva vzorky skúmanej látky. Stanovenie sa uskutočňuje v kapiláre alebo pod mikroskopom. Pri stanovení prvým spôsobom sa sleduje správanie vzorky pri zohrievaní v kapiláre umiestnenej v sklenom bodotávku alebo v Thieleho kovovom bloku. Teplota topenia sa odčítava na teplomeri vloženom do bodotávku alebo bloku. Pri stanovení pod mikroskopom sa sleduje teplota, pri ktorej sa začnú topiť kryštály umiestnené medzi tenkými sklíčkami na elektricky vyhrievanej kovovej platničke.

Popis zariadenia

Prístroj je zložený z okrúhlej elektricky vyhrievanej platne – výhrevného stolíka s posuvným zariadením a špeciálneho mikroskopu. Ďalšou súčasťou prístroja je reostat a súprava teplomerov. Blok je elektricky vyhrievaný dutý valec, zakrytý ochrannou tepelnou manžetou. Do bloku je vyvŕtaný kanál, do ktorého sa zasúva teplomer. Rýchlosť ohrievania je regulovaná reostatom.

Pracovný postup

Pri mikroskopickom stanovení teploty topenia v Koflerovom bloku postupujeme nasledovne:

Veľmi malé množstvo látky dáme na podložné sklíčko a zakryjeme krycím sklíčkom. Jemným krúživým pohybom krycieho sklíčka rozdrobíme kryštáliky tuhej látky a sklíčka so vzorkou položíme na vyhrievací blok. Blok zakryjeme ochrannou tepelnou manžetou, mikroskop zaostríme na preparát a posunom vodiaceho rámika vyhladáme najvhodnejšiu časť preparátu. Na reostate nastavíme jazdcom na stupnici očakávanú teplotu topenia a zapneme vyhrievanie. Zmeny pri ohrievaní a topení kryštálov, ako aj teploty pozorujeme súčasne v zornom poli mikroskopu. Na začiatku intervalu teploty topenia pozorujeme, že pôvodné ostré hrany a rohy kryštálikov sa najprv čiastočne zaoblia. Koniec topenia je indikovaný vznikom kvapôčok taveniny. Interval medzi začiatkom a koncom teploty topenia čistej látky má byť 0,5 až 1 °C. Po skončení stanovenia vypneme vyhrievanie, zložíme ochrannú tepelnú manžetu, sklíčko a blok necháme vychladnúť.

Meranie hustoty tuhých látok pyknometricky

Pri teoretických aj praktických prácach je potrebné charakterizovať používaný plast hmotnosťou materiálu, ktorý sa nachádza v objemovej jednotke. Túto vlastnosť môžeme vyjadriť týmito názvami: hustota (merná hmotnosť) a objemová hmotnosť.

Hustota – znamená hmotnosť (m) materiálu bez dutín a vrúsenín, vyjadrenú v kg , ktorý sa nachádza v objeme $1\ m^3$. Vyjadruje sa gréckym písmenom ρ (ró) a vypočíta sa podľa vzťahu:

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ [g} \cdot \text{cm}^{-3}\text{]}, \quad (18)$$

Objemová hmotnosť sa používa na vyjadrenie vlastností nehomogénnych materiálov, ako sú ľahčené plasty. Je to hmotnosť objemovej jednotky vyjadrená v $kg \cdot m^{-3}$.

Stanovenie hustoty kvapalných aj tuhých látok sa robí tiež v pyknometroch. Sú to sklené duté aparáty, ktoré majú presný objem s možnosťou uzatvárania. Pre stanovenie hustoty pevných látok sa používajú špeciálne širokohrdlé pyknometre.

Metóda pyknometrická spočíva v tom, že sa pyknometer naplní kalibračnou kvapalinou tak, aby sa meniskus dotýkal rysky. Na analytických váhach odvážime vzorku skúšobného telesa – m_1 , pyknometer naplnený vodou (kalibr. Kvapalina a hustotou ρ_2) – m_2 a pyknometer s vodou + v nej ponorenú vzorku – m_3 . Zo vzťahu vypočítame mernú hmotnosť daného skúšobného telesa. Chyby stanovenia hustoty pevných látok vznikajú najčastejšie uchytiením vzduchových bublín na povrchu. Najčastejšie sa odstraňujú prídavkom zmáčadla alebo liehu k mernej kvapaline.

$$\rho = \frac{m_1}{m_1 + m_2 - m_3} \rho_2 \text{ (g/cm}^3\text{)}, \quad (19)$$

Tab. 13 Hustoty a teploty topenia vybraných polymérov

Polymér	Hustota [g/cm ³]	Teplota topenia [°C]
PE	0,918 – 0,970	104 – 140
PP	0,90 – 0,91	150
PS	1,05 – 1,07	270
PVC	1,34 – 1,40	150
PMMA	1,19 – 1,20	125
PA-6	1,13	205 – 220
PC	1,20	267
PETP	1,38	327

Zadanie: Vykonajte, spracujte a vyhodnoťte teplotu topenia vzoriek plastov. Zistite hustotu neznámej vzorky. Na základe nameraných výsledkov a tabuliek identifikujte vzorku polyméru.

3.10 Chemické vlastnosti polymérov - rozpustnosť

Charakteristiky potrebné pre identifikáciu plastu sa skúmajú zo správania sa skúšaného materiálu voči testovacím rozpúšťadlám a zistené údaje sa upresňujú alebo potvrdzujú rozpúšťaním v selektívnych rozpúšťadlách.

Lubovoľná látka sa môže rozpúšťať v rozpúšťadlách len vtedy, keď príťažlivé sily medzi rozpúšťadlom a rozpúšťanou látkou sú väčšie ako medzi čiastočkami rozpúšťanej látky. Rozpúšťať sa môžu látky podobnej vnútornej stavby. Ak rozpúšťadlo aj testovaná látka obsahuje skupiny rovnakej povahy, potom možno očakávať, že nastane rozpúšťanie. Rozdielna schopnosť rozpúšťať je určená polaritou molekúl. Polarita je spôsobená nerovnomerným rozdelením elektrónov v molekule, vyplýva teda z nepravidelnej stavby molekuly a je charakterizovaná dipólovým momentom. Dipólové momenty väčšiny rozpúšťadiel sa pohybujú v rozsahu od 0 do 7,48 D. Z tohoto rozsahu boli zvolené testovacie rozpúšťadlá (ďalej TR). TR sú zväčša lacné, dobre dostupné a približne rovnomerne pokrývajú celý rozsah dipólových momentov. Vyznačujú sa rozdielnou chemickou stavbou a rozdielnymi dipólovými momentami. Patrí sem benzén ($D=0$), chloroform ($D=1,15$), etylalkohol ($D=1,68$), acetón ($D=2,75$) a dimetylformamid ($D=3,85$). Stupeň pôsobenia TR možno charakterizovať slovne takto: nerozpúšťa (-), čiastočne rozpúšťa ($\pm$) a rozpúšťa (+). Podľa rozpustnosti a za pomoci tabuliek možno usudzovať na druh polyméru. Predbežný výsledok je treba potvrdiť skúškou rozpustnosti v selektívnom rozpúšťadle. Selektívne rozpúšťadlo je obyčajne zmes viacerých druhov rozpúšťadiel, ktoré rozpúšťajú len istý druh polyméru.

Prístroje a pomôcky

- sada testovacích rozpúšťadiel,
- stojan + 5 skúmaviek so zátkami,
- sklená tyčinka,
- hodinové sklíčko,
- tabuľka rozpustnosti polymérov v TR,
- sada rozpúšťadiel na prípravu selektívnych rozpúšťadiel.

Postup skúšky

Asi 0,5 až 1 g na drobno rozomletej vzorky sa vloží do piatich skúmaviek. Do každej sa pridá 10 ml testovacieho činidla. Skúmavky sa zazátkujú a za občasného miešania sa nechajú pri laboratórnej teplote stáť. Pri pozorovaní sa zisťuje, či sa vzorka rozpúšťa úplne, čiastočne či len napučiava alebo sa nerozpúšťa. Ak sa nevieme rozhodnúť o rozpustnosti, odoberie sa zo skúmavky časť rozpúšťadla, kvapne na hodinové sklíčko a rozpúšťadlo sa odparí do sucha. Podľa charakteru odparú sa usudzuje na rozpustnosť. Ak na hodinovom sklíčku nezostávajú stopy, je potvrdená nerozpustnosť. Ale ak zostáva film poukazuje to na čiastočnú alebo úplnú rozpustnosť polyméru.

Tab. 14 Rozpustnosť vysokomolekulových látok v testovacích a selektívnych rozpúšťadlách

Druh vysokomolekulovej látky	Testovacie rozpúšťadlo					Selektívne rozpúšťadlá
	acetón	benzén	dimetylformamid	etanol	chloroform	
Epoxidová živica nemodifikovaná	r	r	r	n	r	Dioxan, pyridín, Kyselina octová
Polyakryláty	r	r	r	č	r	Chloroform, benzén, acetón, dichlóretán
Polyamidy	n	n	n	n	č	Kyselina mravčia, fenoly
Polyetylén	n	n	n	n	n	Za varu toluén, tetralín, dekalín
Polyetyléntere- ftalát	n	n	č	č	n	Fenoly, nitrobenzén, benzylalkohol za tepla
Polyformaldehyd	n	n	n	n	n	Substituované fenoly pri 50 - 100 °C
Polykarbonáty	č	č	r	n	r	Krezol, metylénchlorid
Polymetylmetakrylát	č	č	n	č	r	
Polypropylén	n	n	n	n	n	Zavaru toluén, tetralín, dekalín
Polystyrén	č	r	r	n	r	Etylacetát, dioxan, tetrahydrofuran
Polytetrafluór- etylén	n	n	n	n	n	
Polytrifluórchlór- etylén	n	n	n	n	n	o- chlórbenzotri- fluorid pri 100 °C
Polyuretany (lineárne)	n	n	r	n	n	Fenoly, kyselina mravenčia
Polyvinylacetát	r	r	r	r	r	Dimetylketon, estery, uhľovodíky
Polyvinylalkohol	n	n	n	n	n	Voda, glycerín, glykol
PVC	n	n	r	n	č	Tetrahydrofuran, cyklohexanon, metylcyklohexanon
PVC chlórovaný	r	r	r	n	r	Etalacetán, dioxan

Zadanie: Vykonajte skúšku chemickej odolnosti polymérnych vzoriek a pomocou tabuľky 14 identifikujte neznáme polyméry.

3.11 Korózia polymérov v ohybe

Niektoré druhy kvapalných a plyných látok pôsobia na povrchy plastových výrobkov negatívne. Tento jav označujeme názvom korózia. Korózia plastov sa prejavuje v zmenách vzhľadu, akosti povrchu, hmotnosti, rozmerov a tiež v zmenách ostatných vlastností.

Účinok niektorých kvapalných alebo plyných látok, ktoré výrazne nenapadajú vysokomolekulovú látku a ani s ňou nereagujú, sa často prejavuje vznikom krehkých povrchových trhlín, ktoré sa môžu zmeniť na lomové trhliny zasahujúce až do stredu výrobku. Tieto potom spôsobia jeho mechanickú deštrukciu. Nutnou podmienkou vzniku tohto javu je okrem účinku okolitého prostredia aj stav napätosti skúšaného plastu alebo výrobku z neho zhotoveného. Táto povrchovo iniciovaná tvorba otvorených trhlín v plaste, vyvolaná súčasným pôsobením okolitého prostredia a ťahového namáhania sa nazýva korózia za napätia. V literatúre sa označuje ako „okolitým prostredím vyvolaná korózia za napätia“ a všeobecne je označovaná skratkou ESC (environmental stress cracking).

Keď plastový výrobok pracuje v stave mechanickej napätosti v nejakom prostredí, ktoré sa pri skúške koróznej odolnosti prejavilo ako neagresívne, vytvárajú sa na jeho povrchu trhliny, zapríčínujúce predčasné znehodnotenie zlomením. Príčina spočíva v združenom účinku okolitého, tzv. tenzoaktívneho prostredia a ťahového namáhania.

Každé prostredie, ktoré spôsobuje vznik povrchových trhlín na výrobku v stave napätosti sa označuje názvom „tenzoaktívne prostredie“. V skúšobníctve plastov sa týmto názvom označuje tiež 5 % vodný roztok detergentu Nekalínu extra, ktorý zvlášť účinne vyvoláva koróziu za napätia.

Proces zhodnotenia začína tvorbou povrchových trhlín. Povrchové trhliny vznikajú popraskaním, spôsobeným koróziou za napätia a sú situované vždy v kolmom smere na smer ťahového napätia.

Vznik povrchových trhlín je podmienený veľkosťou ťahového napätia v skúšanej vzorke. Pri nulovom napätí trhliny nevznikajú, ale od istej hranice napätia sa začínajú objavovať. Úlohou je zistiť medznú hodnotu napätia, nad ktorou je už možno pozorovať vznik povrchových trhlín.

Určenie napätia, pri ktorom vznikajú trhliny pri korózii za napätia, je komplexnou úlohou, ktorú ovplyvňujú mnohé premenné. Medzi ne patria:

- geometrický tvar skúšobného telesa,
- stav materiálu, ako je orientácia, fázová štruktúra, vnútorné napätia,
- veľkosť vonkajšieho napätia alebo vyvolaných deformácií,
- teplota tenzoaktívneho prostredia počas expozície,
- zloženie tenzoaktívneho prostredia a koncentrácie jeho aktívnej zložky,
- dĺžka doby trvania expozície.

Metódy zisťovania náchylnosti plastu na koróziu za napätia rozdeľujeme na:

- informatívne,
- exaktné, kde sa zisťuje odolnosť plastu proti ESC.

Informatívna skúška korózie za napätia

Princíp metódy – kvapnutím kvapky tenzoaktívneho prostredia na vzorku skúšaného plastu, v ktorom bolo vyvolané ťahové napätie, vznikajú už po niekoľkých sekundách pôsobenia na jeho povrchu trhliny, ktoré sa rýchlo zväčšujú, až nastane deštrukcia vzorky prelomením.

Prístroje a pomôcky

Na vykonanie skúšky sa použijú skúšobné telesá tvaru hranola rozmerov 10 mm x 10 mm x hrúbka materiálu (2 – 3 mm), alebo fólie. Skúšať sa môžu aj hotové výrobky. Menšie výrobky sa skúšajú celé. Z výrobkov väčších rozmerov sa vyrezávajú skúšobné telesá, a to z tých častí, v ktorých predpokladáme stav napätosti. u vzoriek, vyrobených vstrekom, jedným z miest, odkiaľ sa zhotovuje vzorka, býva miesto v blízkosti vtoku, druhým je najvzdialenejšie miesto od vtoku. Ďalšie pomôcky tvorí zverák, sklenená tyčinka, sklenená nádoba s hrdlom zabruseným do roviny a testovacia kvapalina.

Tab. 15 Testovacie kvapaliny pre dôkaz korózie za napätia rozličných vysokomolekulových látok

Plast	Testovacia kvapalina
PE, PP	5 % vodné roztoky zmáčadiel alebo Nektínu (BASF), petroléter, normalbenzín
PS	n-heptán, etylalkohol, acetón, normalbenzín
PMMA	metylalkohol, 90 % etylalkohol, zmes n-heptán-toluén, etylacetát
PC	toluén : n-propanol = 1:1, chlorid uhličitý
PA, POM	zriedené minerálne kyseliny, napr. 10 % HCl, 35% HCl, 65% HNO ₃ , 96% H ₂ SO ₄
PETP	benzén, tetralín, xylén, metylalkohol

Chloroform

Pracovný postup - skúšobné teleso upevníme do zveráku a vyvodíme naň ohybové napätie. Na strane, kde pôsobí ťah, kvapneme kvapku testovacej kvapaliny a pozorujeme, či nevznikajú povrchové trhliny. Pozorovanie je potrebné vykonávať obozretné, lebo často bezprostredne po kvapnutí a objavení trhliny nastane lom telesa. Kvapnutím testovacej kvapaliny na časť vzorky, kde nepôsobí ťah, sa trhliny netvoria, alebo vznikajú za veľmi dlhú dobu. Na vzorkách namáhaných ťahom zisťujeme dobu, ktorá uplynie do vzniku prvej trhliny. 35% HCl, 65% HNO₃, 96% H₂SO₄. Výstreky malých rozmerov ponoríme do testovacieho činidla celé a pozorujeme miesta, v ktorých sa objavujú trhliny a súčasne zisťujeme dobu ich objavenia. Do záznamu zaznačujeme aj smer pozdĺžnej osi trhlín.

Do záznamu o skúške sa uvádzajú údaje o skúšanom materiáli, skúšobných vzorkách (tvar, rozmery, označenie, hmotnosť, spôsob prípravy), o testovacom činidle, o dobe objavenia sa trhlín a ich rozmiestnení.

Zadanie: Vykonať informatívnu skúšku korózie polymérov a pomocou tabuľky 15 identifikujte neznáme polyméry.

3.12 Príprava lepidláz PS

Penový polystyrén (EPS) je ľahký polymérny materiál so širokým využitím v obalovej technike a stavebníctve. Jeho štruktúra je tvorená polystyrénovou maticou s vysokým podielom uzavretých pórov, čo mu dodáva nízku hustotu, ale zároveň obmedzuje mechanickú pevnosť. Polystyrén je dobre rozpustný v niektorých organických rozpúšťadlách, ako je dichlórmetán alebo acetón, ktoré narušujú jeho polymérnu štruktúru a umožňujú vznik viskóznej lepiacej hmoty.

Príprava lepidla rozpustením EPS v vhodnom rozpúšťadle je jednoduchým príkladom fyzikálno-chemického spracovania polymérov a zároveň ukážkou recyklácie plastového odpadu. Vzniknuté lepidlo tuhne odparovaním rozpúšťadla a vytvára spoj na princípe opätovného spevnenia polystyrénovej matice. Vlastnosti lepidla, ako sú viskozita, doba schnutia a pevnosť spoja, závisia najmä od pomeru EPS a rozpúšťadla, ako aj od typu lepených materiálov.

Vzhľadom na prchavosť a toxicitu použitých rozpúšťadiel je nevyhnutné dodržiavať prísne bezpečnostné opatrenia. Výsledky experimentu umožňujú posúdiť vhodnosť takto pripraveného lepidla pre rôzne aplikácie a poukazujú na jeho výhody, obmedzenia a možnosti zlepšenia jeho mechanických a aplikačných vlastností.

Použité materiály a chemikálie

- penový polystyrén (EPS) – kúsky z obalov,
- dichlórmetán / acetón – rozpúšťadlo,
- kadičky,
- sklenená tyčinka,
- štetec na nanášanie lepidla,
- forma,
- separačné činidlo,
- vzorky materiálov na lepenie
- rukavice,
- ochranné okuliare,
- digestor.

Postup - do sklenenej nádoby nalejte cca 50 ml rozpúšťadla a postupne pridávajte natrhávaný penový polystyrén (cca 2–3 g) a miešajte sklenenou tyčinkou, až kým sa EPS úplne nerozpustí a nevznikne homogénna lepidlová hmota. Ak je zmes príliš hustá, pridajte trochu rozpúšťadla; ak príliš riedka, pridajte viac EPS. Pomocou štetca naneste tenkú vrstvu lepidla na plochy vzoriek materiálov, ktoré chcete zlepšiť. Priložte druhú vzorku na lepidlo a pevne pritlačte na 2–3 minúty.

Nechajte spoj schnúť pri izbovej teplote 1–2 hodiny. Po zaschnutí mechanicky otestujte pevnosť spoja.

Vyhodnotenie

- Popíšte vzhľad a konzistenciu lepidla (farba, viskozita).
- Pozorujte dobu schnutia a pevnosť spoja (ľahko sa odlúči, pevný spoj, praská pri zaťažení).
- Zaznamenajte, či lepidlo poškodilo alebo zmenilo lepené materiály.
- Diskutujte o vhodnosti lepidla pre rôzne aplikácie.

Zadanie:

1. **Pripravte lepidlo z penového polystyrénu rozpustením EPS v dichlórmetáne/acetóne.**

2. **Otestujte lepidlo nanesením na vzorky EPS a iných materiálov a vyhodnoťte pevnosť spoja.**

3. **Zaznamenajte priebeh schnutia, pevnosť spoja a vizuálne vlastnosti lepidla.**

4. **Odpovedzte na otázky:**

- Aké bezpečnostné opatrenia treba dodržať pri práci s dichlórmetánom?
- Ako ovplyvňuje pomer EPS a rozpúšťadla konzistenciu lepidla?
- Aké sú výhody a nevýhody lepidla pripraveného z EPS?
- Ako by ste mohli zvýšiť pevnosť a odolnosť takéhoto lepidla?
- Prečo lepidlo z EPS nie je vhodné na všetky materiály?
- Môže sa takéto lepidlo použiť na lepenie iných plastov? Ak áno, akých?

Do kadičky nalejte cca 30 ml acetónu. Potom do kadičky vhodte kúsok penového polystyrénu. Po vhození penového polystyrénu do acetónu sa polystyrén začne rozpúšťať – tento proces prebieha veľmi rýchlo. Po chvíli z penového polystyrénu zostane len polotekutá hmota.

Tkaninu zo sklenených vlákien nastrohajte na štvorce o rozmeroch 3x3 cm a pripravte vrstvené kompozity. Vzorky vrstvených kompozitov budú obsahovať 1, 2 a 3 vrstvy sklenenej tkaniny. Naimpregnované tkaniny vložte do sušiarne a dôkladne vysušte. Na vysušených vzorky vykonajte skúšku chemickej odolnosti v nasledovných rozpúšťadlách: acetón, benzén, kyselina octová, hydroxid draselný (0,5 M). Otestujte a rázovú húževnatosť na zariadení Dynstat.

3.13 Príprava kompozitu s polymérnou maticou a textilnou výstužou

Kompozitné materiály predstavujú skupinu moderných materiálov, ktoré vznikajú kombináciou matrice a výstuže s cieľom dosiahnuť lepšie mechanické, fyzikálne a chemické vlastnosti, než majú jednotlivé zložky samostatne. V oblasti polymérnych kompozitov sa ako matrice často používajú termoplasty alebo termosety, zatiaľ čo výstuž zabezpečujú vlákna, najčastejšie sklené, uhlíkové alebo aramidové. Sklenené vlákna zvyšujú pevnosť, tuhosť a rázovú húževnatosť kompozitu, pričom si materiál zachováva relatívne nízku hmotnosť.

V tejto práci sa porovnávajú dva typy polymérnych matric vystužených sklenenou textíliou – polystyrénová matrica pripravená rozpustením penového polystyrénu v acetóne a epoxidová matrica

na báze modifikovanej epoxidovej živice. Rozpúšťanie EPS v acetóne je rýchly fyzikálno-chemický proces, pri ktorom vzniká viskózna hmota vhodná na impregnáciu sklených vlákien. Epoxidové živice naopak predstavujú termosetové materiály s vynikajúcimi mechanickými vlastnosťami, chemickou odolnosťou a stabilitou, ktoré sa po vytvrdnutí nedajú znovu roztaviť.

Porovnaním vlastností kompozitov pripravených z rôznych polymérnych matric je možné posúdiť vplyv typu matrice, počtu vrstiev výstuže a spracovateľských podmienok na výsledné mechanické a chemické vlastnosti kompozitných materiálov.

Použité materiály a chemikálie

- napenený polystyrén,
- epoxidová živica,
- tvrdidlo,
- acetón,
- sklenená textília,
- stierka,
- sklenená tyčinka,
- kadičky,
- forma,
- separačné činidlo,
- rukavice

Postup

• *PS + GF* - do kadičky nalejte cca 30 ml acetónu. Potom do kadičky vhodte kúsok penového polystyrénu. Po vhození penového polystyrénu do acetónu sa polystyrén začne rozpúšťať – tento proces prebieha veľmi rýchlo. Po chvíli z penového polystyrénu zostane len polotekutá hmota. Tkaninu zo sklených vlákien nastrihajte na štvorce o rozmeroch 3x3 cm a pripravte vrstvené kompozity. Vzorky vrstvených kompozitov budú obsahovať 1, 2 a 3 vrstvy sklenenej tkaniny. Naimpregnované tkaniny vložte do sušiarne a dôkladne vysušte. Na vysušených vzorky vykonajte skúšku chemickej odolnosti v nasledovných rozpúšťadlách: acetón, benzén, kyselina octová, hydroxid draselný (0,5 M). Otestujte a rázovú húževnatosť na zariadení Dynstat.

• *EP + GF* - laminačná zmes bez plniacich látok je určená na laminovanie materiálov zo sklenených, uhlíkových alebo kevlarových vlákien. Komerčná živica Letoxit Pr102 je vyrobená na báze modifikovanej epoxidovej živice dianového typu. Modifikačná prísada znižuje viskozitu, takže v zmesi s tužidlom EM 420 vykazuje dobré namáčanie laminačných tkanín a materiálov. Laminačná zmes je určená na výrobu dielov namáhaných v extrémnych podmienkach, napr. častí lietadiel, vetroňov, na stavbu modelov, športových člnov, karosérií dopravných prostriedkov a pod. Laminačná zmes je vhodná na všetky spôsoby výroby ako napr. ručné laminovanie, navíjanie, pri použití v tlaku aj vo vákuu. Optimálna teplota na spracovanie namiešanej zmesi je v rozpätí od 20 – 25 °C. Vyššia teplota spracovania je možná, ale skrakuje sa životnosť zmesi, približne sa dá povedať, že zvýšenie o 10 °C skrakuje životnosť o polovicu. Pomer miešania musí byť dodržaný čo najpresnejšie. Vyššie alebo nižšie dávkovanie tužidla nemá za následok urýchlenie alebo spomalenie reakcie, ale spôsobí nedokonalé vytvrdnutie a tým zhoršenie mechanických vlastností.

Zmiešanie musí byť dôkladné, miešajte tak dlho, pokiaľ zmes nebude mať jednotnú transparentnú farbu a nebude v nej viditeľne nerozmiešané tužidlo. Nemiešajte veľké množstvo, pretože pri exotermnom vytvrdnutí sa vyvíja veľké množstvo tepla, ktoré by mohlo spôsobiť prehriatie zmesi cez 200 °C a tým jej znehodnotenie.

Spracovanie:

Teplota pri spracovaní: 20 – 30 °C,

Zmiešavací pomer: hmotnostné diely 100 : 37 ± 2

objemové diely 100 : 44 ± 2

Životnosť zmesi: 50 – 60 minút pri teplote spracovania 25 °C

Viskozita zmesi: 200 – 100 mPa.s (pri 25 °C)

Vytvrdnutie: 24 hodín pri 20 - 25 °C

Dotvrdnutie: 15 hodín pri 50 °C.....až.....15 minút pri 150 °C

Vlastnosti vytvrdnutého kompozitu:

a) Bez výstuže: pri vytvrdnutí 24 hodín pri teplote 20 - 25 °C + 15 hodín pri 50 - 55 °C:

Hustota: 1,14 g/cm³ (25 °C)

Pevnosť v ohybe: 125 MPa

Ohybový modul: 3,5 MPa

Pevnosť v ťahu: 67 MPa

b) Vlastnosti vystuženého kompozitu: sklom vystužený kompozit – 12 vrstiev tkaniny 350 g/cm³ celková hrúbka 3 mm

Pevnosť v ohybe: 480 MPa

Ohybový modul: 55 GPa

Pevnosť v ťahu: 482 MPa

Teplotná odolnosť výsledného laminátu: teplota zoskelenia (T_g) dosiahne po vytvrdnutí pri 20 °C po dobu 24 hodín a následného dotvrdnutia tieto hodnoty:

Dotvrdnutie	10 h pri 40 °C	10 h pri 50 °C	10 h pri 60 °C	10 h pri 70 °C	10 h pri 80 °C
T _g	58 °C	65 °C	70 °C	72 °C	74 °C

Zadanie:

1. Pripravte kompozitné vzorky s polystyrénovou matricou (PS + GF) vystužené 1, 2 a 3 vrstvami sklenenej textílie rozpustením penového polystyrénu v acetóne a následnou impregnáciou výstuže.

2. Pripravte kompozitné vzorky s epoxidovou matricou (EP + GF) vystužené sklenenou textíliou laminovaním epoxidovej živice s tužidlom v predpísanom miešacom pomere.

3. Po vytvrdnutí vzoriek vykonajte skúšky chemickej odolnosti kompozitov v rôznych chemických prostrediach.
4. Experimentálne stanovte rázovú húževnatosť pripravených kompozitných materiálov na zariadení Dynstat.
5. Porovnajete vlastnosti polystyrénových a epoxidových kompozitov a zhodnotíte vplyv typu matrice a výstuže na mechanické a chemické vlastnosti výsledných materiálov.

3.14 Príprava PA vlákna

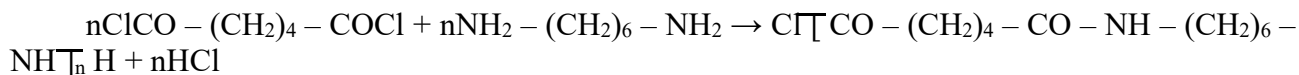
Polyméry sú makromolekulové látky tvorené veľkým počtom opakujúcich sa štruktúrnych jednotiek – monomérov, ktoré sú navzájom spojené kovalentnými väzbami. Vďaka svojej štruktúre vykazujú polymérne materiály jedinečné mechanické, fyzikálne a chemické vlastnosti, čo umožnilo ich široké uplatnenie v priemysle aj v každodennom živote. Významným míľnikom vo vývoji polymérnych materiálov bol vznik syntetických polyamidov, známych pod obchodným názvom nylon. Nylon 6,6 patrí medzi kondenzované polyamidy a vzniká reakciou diamínu a dikarboxylovej kyseliny alebo jej reaktívnejších derivátov. V laboratórnej praxi sa kyselina adipová nahrádza dichloridom kyseliny adipovej, ktorý s hexán-1,6-diamínom reaguje rýchlo už pri izbovej teplote. Reakcia prebieha na rozhraní dvoch nemiešateľných kvapalín a vedie k vzniku polyamidového vlákna, ktoré je možné kontinuálne vytáhať. Tento experiment názorne demonštruje princíp medzifázovej polykondenzácie a umožňuje pozorovať vznik syntetického vlákna priamo počas reakcie.

Použité materiály a chemikálie

- dichlorid kyseliny hexándiovej (adipovej),
- hexán-1,6-diamín,
- cyklohexán,
- metanol,
- acetón,
- etanol,
- destilovaná voda,
- kadičky,
- odmerné valce,
- pinzeta,
- sklenená tyčinka,
- Petriho miska.

Štruktúra makromolekulovej látky je tvorená z veľkého počtu opakujúcich sa štruktúrnych jednotiek, ktoré sa nazývajú monoméry. V roku 1856 reakciou nitrocelulózy a gáfru pripravil Alexander Parkes prvú polosyntetickú makromolekulovú látku – celuloid. Neobyčajné vlastnosti polymérnych látok, ako je hustota, pevnosť, toxicita, spôsobili prudký rozvoj ich skúmania a rozvoj chemického odvetvia nazývaného makromolekulová chémia.

Medzi polyméry so širokým využitím radíme aj nylony. Existuje ich niekoľko druhov, líšia sa najmä počtom uhlíka v monomérskej jednotke. Poznáme teda klasický nylon pripravený polymerizáciou kaprolaktámu či nylony pripravené kondenzáciou dikarboxylovej kyseliny a diamínu. Touto druhou reakciou je možné pripraviť aj nylon 6,6. Jeho štruktúru tvorí kyselina a amín so šiestimi uhlíkmi, teda kyselina adipová a hexándiamín. Pretože kyselina reaguje s diamínom veľmi pomaly a za zvýšenej teploty, takáto príprava nie je ako pokus príliš zaujímavá. Ak sa však nahradí kyselina adipová dichloridom kyseliny, reakcia je už veľmi rýchla a výsledok je efektívny. Samotná kondenzácia sa dá vyjadriť nasledovnou reakciou:



Postup A

Najprv prichystajte v 100 ml kadičkách roztoky. Prvý roztok pripravte rozpustením 2,5 g hexándiamínu a 10 g hydroxidu sodného v 40 ml vody. Druhý roztok pripravte rozpustením 2,5 g dichloridu kyseliny adipovej v 50 g cyklohexánu. Do 150 ml suchej kadičky nalejte najskôr roztok hexándiamínu vo vode a na neho opatrne nalejte po stene kadičky roztok dichloridu kyseliny adipovej. Vytvorí sa rozhranie medzi kvapalinami, ktoré je zvýraznené vznikom bielej látky – produktu kondenzácie. Tento jemný povlak vytvorený na rozhraní potom opatrne pomocou špičky pinzety alebo drôteného háčika pomaly zdvihnite cez vrstvu kvapaliny, pričom na rozhraní sa stále vytvára jemný povlak nylonu. Pomaly ťahajte vytvárajúce sa vlákno a môžete ho skúsiť navinúť na sklenenú tyčinku.

Postup B

Vo vyššej kadičke pripravíme prvý roztok – 0,22 g adipoylchloridu (dichlorid kyseliny adipovej) rozpustíme v 6 ml roztoku petroletheru alebo v cyklohexáne. Druhý roztok pripravíme tak, že 0,35 g hexametyléndiamínu rozpustíme v 6 ml vodného roztoku methanolu. K prvému roztoku vo vyššej kadičke opatrne po stene vlejete druhý roztok. Na rozhraní oboch fáz dochádza k reakcii, vznikne jemný film, ktorý uchopíte pinzetou, vytiahnete nad hladinu a opatrne namotávať na pinzetu alebo na sklenenú tyčinku ako súvislé syntetické vlákno.

Získané vlákno premyjeme v etanole, acetóne a niekoľko minút pod tečúcou vodou.

Zadanie:

1. Pripravte nylon 6,6 medzifázovou polykondenzáciou dichloridu kyseliny adipovej s hexán-1,6-diamínom podľa zvoleného pracovného postupu.
2. Pozorujte priebeh reakcie na rozhraní dvoch kvapalných fáz a zaznamenajte vznik polyamidového filmu a vlákna.
3. Získajte kontinuálne polyamidové vlákno jeho vytáňovaním a navíjaním na sklenenú tyčinku alebo pinzetu.
4. Premyte pripravené vlákno vhodnými rozpúšťadlami a vodou a posúďte jeho vzhľad a mechanické vlastnosti.
5. Vysvetlite princíp medzifázovej polykondenzácie a význam tejto reakcie pri výrobe syntetických polyamidov.

3.15 Termická stabilita PVC

Teplotná a teplotne oxidačná nestabilita prevažnej väčšiny polymérov ovplyvňuje spracovateľnosť polymérov natoľko, že ich nie je možné bez znalosti ich odolnosti a spôsobu ochrany prakticky spracovávať. Zmeny vo vlastnostiach polymérov vyvolané degradáciou dokážu výsledné produkty úplne znehodnotiť.

Účinok tepla sa môže na polyméroch prejavovať dvojakým spôsobom:

a) *Polymér mäkne, prípadne sa až topí* – kinetická energia reťazcov sa začne uplatňovať v takej miere, že prevýši medzimolekulové sily, prekonáva ich, plastická látka sa prejavuje ako kvapalina a účinkom vonkajších síl ľahko mení svoj tvar (prípadne dochádza k toku).

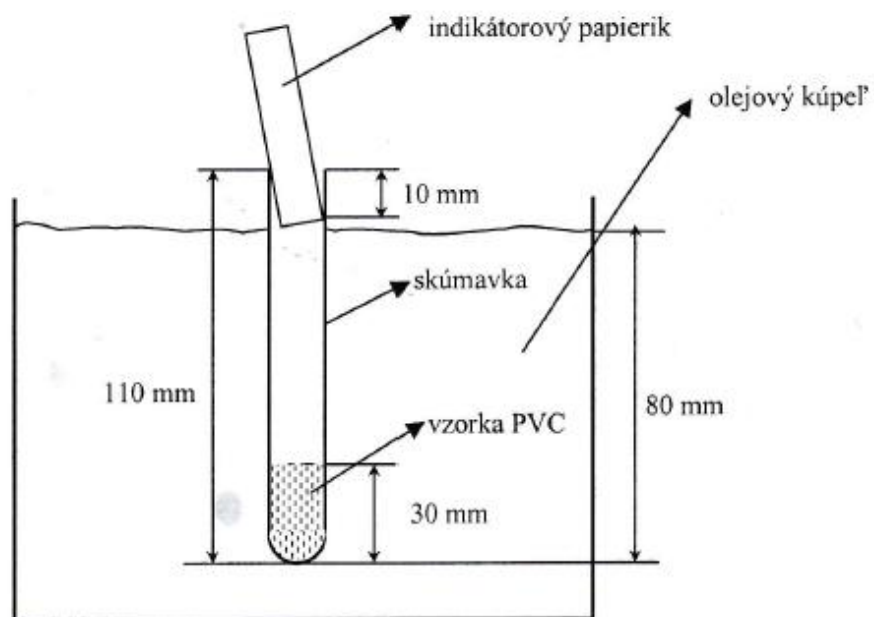
b) *Dochádza ku zmene štruktúry* – niektoré vysokomolekulové látky sa štiepia na nízkomolekulové produkty, prípadne až na monoméne stavebné jednotky, bez toho, aby sa zmenilo ich chemické zloženie (*depolymerizujú*). Iné odštiepujú nízkomolekulový produkt, pričom dochádza k zmene ich chemického zloženia. V oboch prípadoch ide o degradáciu polymérov.

PVC patrí medzi často používané technické plasty. Podstata skúšky termickej odolnosti PVC skúmkavkovou metódou je založená na tom, že degradácia PVC prebieha alylovým mechanizmom za odštiepovania nízkomolekulového produktu – HCl, ktorého vznik sa detekuje pomocou papierového acidobázického indikátora.

Pomôcky a chemikálie

- mikroskúmkavky,
- olejový kúpeľ,
- PVC,
- stopky,
- indikátorový papierik,
- teplomer.

Ako skúšobné zariadenie sa používajú mikroskúmkavky s priemerom 5 mm, hrúbkou steny 1 mm a s dĺžkou 110 mm, olejový kúpeľ s termostatom s možnosťou nastavenia teploty $200\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a stopky. Ako vzorka sa použije 50 ± 5 mg polyméru, odobratého z jedného alebo viacerých miest, podľa homogenity vzorky. Ak polymérny materiál nie je v práškovej forme alebo vo forme malých granuliiek, rozreže sa na menšie časti, ktorými sa naplní skúmkavka tak, aby vzorka nesiahala vyššie ako 30 mm odo dna skúmkavky. Skúmkavky sa uzavrujú označeným indikátorovým papierikom, ktorý sa zasunie do hĺbky 10 mm. Skúmkavky so vzorkami a indikátorovými papierikmi sa vložia do termostatu s olejom vyhriatym na požadovanú teplotu tak, aby minimálne 80 mm skúmkavky bolo ponorenej v oleji a spustia sa stopky. Počas merania sa vizuálne pozoruje zafarbenie indikátorového papierika a zaznamenáva sa čas, pri ktorom sa zmení zafarbenie papierika zo žltej farby na červenú, čo signalizuje vznik chlorovodíka. Zaznamenaný čas sa potom uvedie ako termická stabilita PVC. Schéma usporiadania skúšky je znázornená na obr. 8.



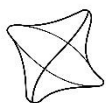
Obr. 8 Schéma usporiadania skúšky termickej stability PVC skúmavkovou metódou

Zadanie:

1. Pomocou skúmavkovej metódy zistíte, aká je termická odolnosť PVC.
2. Aký je rozdiel medzi tvarovou stálosťou za tepla a chemickou stálosťou za tepla polymérov?

4. PRÍLOHY

4.1 Titulný list laboratórneho protokolu



ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
Strojnícka
fakulta

Katedra materiálového
inžinierstva

TECHNOLÓGIA SPRACOVANIA A VLASTNOSTI PLASTOV

Číslo práce:		Názov práce:	
Dátum:	Št. skupina:	Meno a priezvisko:	Hodnotenie:

LITERATÚRA

- [1] Alexy, P.: *Skúšanie a testovanie polymérnych materiálov*, STU, Žilina, 2001, 159 s.
- [2] Gantner, I.: *Náuka o materiáli II – návody na cvičenia*, VŠD Žilina 1988, ISBN 80-7100-001-9, 188 s.
- [3] Lizák, P., Legerská, J.: *Náuka o materiáli*, Ružomberok 2009, ISBN 978-80-969610-2-3, 61s
- [4] Handbook of polymer testing, ed. Roger Brown, Marcel Dekker, New Your, 1999
- [5] STN EN ISO 527 Plasty - stanovenie ťahových vlastností
- [6] STN EN ISO 179-1 (64 0612) Plasty - stanovenie húževnatosti metódou Charpy
- [7] STN EN ISO 9773 Plasty - stanovenie potŕiarnych charakteristík
- [8] DIN 51562 Viskozimetria - stanovenie kinematickej viskozity pomocou Ubbelohdeho viskozimetra
- [9] STN EN ISO 22088 Plasty. Stanovenie odolnosti proti korózii za napätia vplyvom prostredia.