

ŠOLSKI CENTER CELJE
SREDNJA ŠOLA ZA ELEKTROTEHNIKO IN KEMIJO
SREDNJE STROKOVNO IZOBRAŽEVANJE KEMIJSKI TEHNIK

VPLIV DODANEGA PIGMENTA NA LASTNOSTI KRISTALNEGA POLISTIRENA

RAZISKOVALNA NALOGA

Avtor: Damir Huremović

Razred: K-4.a

Mentor: Mojca Drofelnik Čerček, univ. dip. inž. kem.teh., Zlatko Svečko

marec, 2008

Zahvala

Zahvalil bi se podjetju Gorenje d.d in Šolskemu centru Celje ter mentorjema g. Zlatku Svečku in ge. Mojci Drofenik Čerček za pomoč pri izdelavi naloge. Prav tako se zahvaljujem ge. Berti Gregorc, g. Viliju Jakobu, ge. Mileni Gračner in g. Rudiju Mravljaku za pomoč pri opravljanju praktičnega dela naloge ter ge. Andreji Tkalec za lektoriranje naloge.

KAZALO

1. Povzetek	3
2. UVOD	4
2. UVOD	4
2.1 HIPOTEZA	4
3. TEORETIČNI DEL.....	5
3.1 POLIMERNI MATERIALI	5
3.2 DELITEV POLIMEROV GLEDE NA ZGRADBO	5
3.2.1 TERMOPLASTI	6
3.2.2 DUROPLASTI	6
3.2.3 ELASTOMERI.....	6
3.3 POLISTIREN IN KRISTALNI POLISTIREN	7
3.4 METODE, UPORABLJENE PRI TESTIRANJU	8
3.4.1 UDARNA ŽILAVOST PO CHARPY-EU	8
3.4.3 TRDOTA PO BRINELLU	9
3.4.4 UMETNO STARANJE S KSEONSKO LUČJO.....	10
3.4.5 NATEZNA TRDNOST IN RAZTRŽNI RAZTEZEK.....	11
3.5 PREDELOVANJE PLASTIKE	11
3.5.1 TEHNOLOGIJE PREDELOVANJA TERMOPLASTOV.....	11
4. PRAKTIČNI DEL.....	13
4.1 BRIZGANJE VZORCEV	14
4.2 TESTIRANJA	14
4.2.1 UDARNA ŽILAVOST	14
4.2.2 UDARNA ŽILAVOST NA ZAREZO.....	15
4.2.3 TRDOTA PO BRINELLU	15
4.2.4 UMETNO STARANJE S KSEONSKO LUČJO.....	15
4.2.5 NATEZNA NAPETOST IN RAZTRŽNI RAZTEZEK.....	15
4.3 MERITVE	16
4.3.1 UDARNA ŽILAVOST	16
4.3.2 UDARNA ŽILAVOST NA ZAREZO.....	18
4.2.3 TRDOTA PO BRINELLU	21
4.2.4 UMETNO STARANJE.....	22
4.2.5 NATEZNA NAPETOST IN RAZTRŽNI RAZTEZEK.....	22
5 REZULTATI.....	24
6 ZAKLJUČEK.....	26
7 LITERATURA.....	26
7.1 VIRI SLIK.....	27

1. Povzetek

Polimerni materiali se dandanes zelo uporabljajo. Najdemo jih na vseh področjih in povsod okoli nas. Polimerni materiali ponavadi niso 100% materiali, ampak se jim dodajajo razni dodatki (barvila, pigmenti, trdilci, antistatiki...) z namenom, da jim izboljšamo izgled in druge lastnosti. V nalogi je prikazano, kako dodajanje pigmenta vpliva na mehanske lastnosti polimernega materiala. Raziskave so pokazale, da določen % pigmenta materialu izboljša lastnosti, določen pa jih poslabša.

Ključne besede: polimer, polistiren, pigment.

Polimer materials are today very widely used. We find them on all areas and all around us. There is so much products made of polimer materials, we don't even know they are from polimer material. Polimer materials are rarely used like 100% material. Most of them got additives (pigments, antistatiks, fillers...). The research shows how adding pigment affect to the polimer properties. The researches shown that the some % of pigment makes material stronger, the other % weakens it.

Key words: polymer, polystyrene, pigment.

2. UVOD

Danes poznamo ogromno polimernih materialov, ki jim izboljšujemo lastnosti z dodajanjem različnih aditivov. Zanimalo me je, ali dodajanje teh snovi vpliva na mehanske lastnosti polimernega materiala. Za raziskovanje sem izbral kristalni polistiren, iz katerega sem izdelal brizgane vzorce, ki so vsebovali 0, 2, 3, 4, in 5 % dodanega pigmenta in jim nato testiral udarno žilavost, udarno žilavost na zarezo, umetno staranje s kseonsko lučjo, trdoto po Brinellu, natezno trdnost in raztržni raztezek.

Raziskave so pokazale, da določen % pigmenta material okrepi, določen pa ga oslabi.

2.1 HIPOTEZA

Moja hipoteza v nalogi je, da z dodajanjem pigmenta dobimo produkt s čedalje slabšimi mehanskimi lastnostmi.

3. TEORETIČNI DEL

3.1 POLIMERNI MATERIALI

Plastične mase oziroma polimere srečamo danes na vsakem koraku. Zaradi tega pravimo, da živimo v dobi plastičnih mas. Polimere najdemo vseposod, iz njih so kozarci, vrečke, ohišja, okraski, igrače, orodja.

Beseda polimer je sestavljena iz grške besede **polys** in **meros**. Beseda »polys« pomeni mnogo, beseda »meros« pa enoto - del. Iz tega dobimo besedo **polimer** - mnogo enot. Polimeri so spojine - snovi z dolgo verigo in veliko molsko maso (več kot 10000 g/mol).

Polimeri sintetiziramo z:

- polikondenzacijo,
- poliadicijo,
- polimerizacijo.

Polikondenzacija je reakcija, v kateri se dva monomera vežeta preko reakcijske skupine, pri čemer se odcepi manjša molekula (ponavadi H_2O , NH_3 ..).

Poliadicija je reakcija, kjer se majhne molekule pripajajo na makromolekulo, pri čemer reagirajo funkcionalne spojine, ne da bi se odcepila manjša molekula.

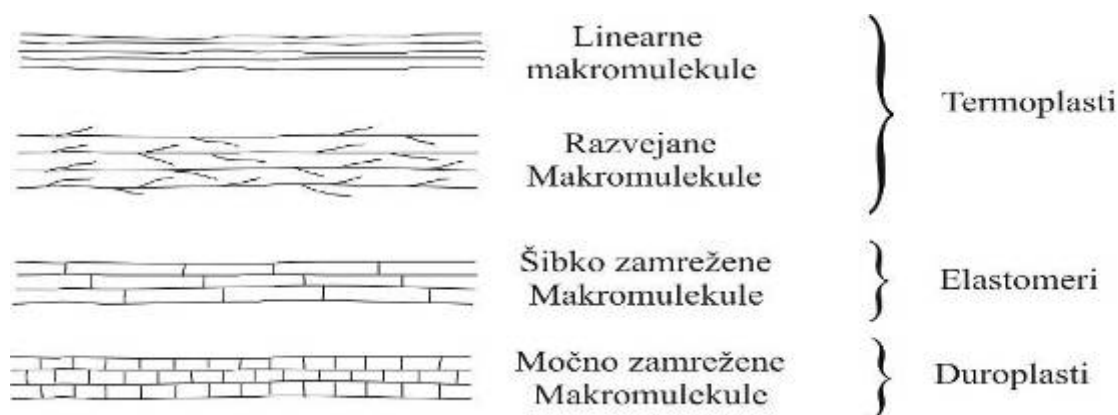
Polimerizacija je najbolj pogost način sinteze polimerov. Pri polimerizaciji pride do razpada dvojnih ali trojnih vezi, na katere se veže druga monomerna enota.

3.2 DELITEV POLIMEROV GLEDE NA ZGRADBO

Polimere delimo na:

- termoplaste,
- duroplase,
- elastoplaste.

Njihova struktura je razvidna na sliki 1.



Slika 1: Oblike verig polimerov.

3.2.1 TERMOPLASTI

Termoplasti so linearni razvejani polimeri, ki se največkrat predelujejo pri povišani temperaturi; takrat se zmečajo in stalijo. Po ohlajanju se termoplasti strdijo in obdržijo obliko. Ta proces lahko teoretično ponavljamo neskončno dolgo, kar pomeni, da jih lahko recikliramo. Reciklaža je tudi ena izmed dejavnikov, ki je poskrbela da so termoplasti najbolj razširjeni polimerni materiali.

Termoplaste delimo na amorfne in delno kristalinične. Za takšno delitev se strojniki največkrat odločajo zato, ker posamezna skupina močno vpliva na toleranco izdelka. Splošno se amorfni materiali po predelavi manj krčijo in so zato dimenzijsko manj problematični, poleg tega pa so tudi izotropični, za razliko od delnokristaliničnih materialov, ki se bolj krčijo, poleg tega pa so anizotropični¹.

Termoplaste najpogosteje predelujemo z ekstrudiranjem, brizganjem, pihanjem in termoformiranjem.

Primeri termoplastov so: ABS, PS, PVC, PMMA, PC, PBT, PET, POM, PP, PA.

3.2.2 DUROPLASTI

Duroplasti vsebujejo močno zamrežene makromolekule, ki tvorijo eno samo veliko prostorskozamreženo makromolekulo. Vezi nastale med makromolekulami s segrevanjem ne popustijo, ampak pri določeni temperaturi razpadejo. To daje boljšo temperaturno obstojnost in večjo trdnost, ampak za razliko od termoplastov, duroplastov ne moremo reciklirati. Zaradi nezmožnosti ponovne uporabe (recikliranja) vedno več duroplastov nadomeščajo s termoplasti.

Duroplaste delimo na:

- PF (fenolne smole),
- UF (urea smole),
- MF (melanin smole),
- UP (nenasičene poliesterske smole),
- EP (epoksi smole),
- PUR (poliureatane).

3.2.3 ELASTOMERI

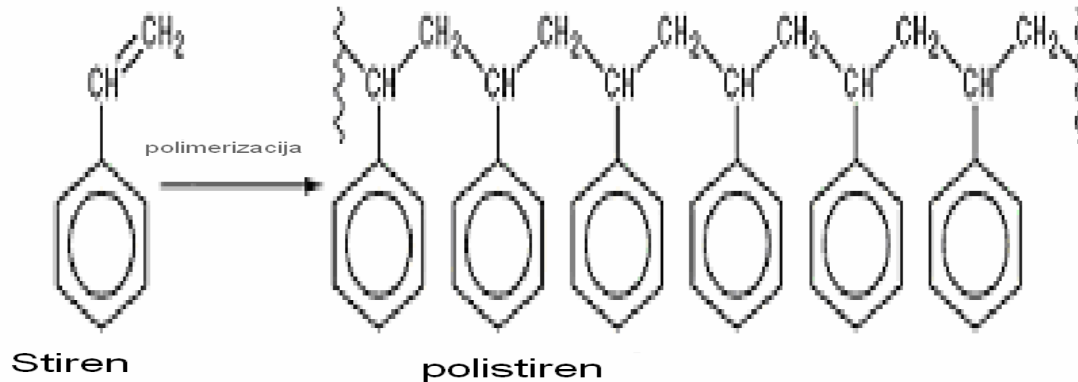
Po definiciji je elastomer material, ki se po deformaciji vrne v prvotno obliko.

Elastomeri so sestavljeni iz šibko zamreženih verig, katerih stopnja zamreženosti je nižja kot pri duroplastih. Med vozlišči so odseki polimerne verige močno zaviti. Pri delovanju zunanje sile se verige odvijajo in raztezajo, po razbremenitvi pa se ponovno zvijejo. Zato se lahko elastomeri močno elastično deformirajo, ne da bi pri tem trajno spremenili svojo začetno obliko. Makromolekulske verige so zavite, ker je takšno stanje zanje energetsko najbolj ugodno.

¹ Anizotropični material, je material, ki se ne krči enakomerno oziroma simetrično v vse strani.

3.3 POLISTIREN IN KRISTALNI POLISTIREN

Polistiren je leta 1839 odkril berlinski farmacevt Edvard Simon. Polistiren pridobijo s polimerizacijo stirena.



Slika 2: Polimerizacije stirena.

Polistiren uporabljajo za škatlice za cd in kasete, plošče, lončke ... Njegove lastnosti so prikazane v tabeli 1.

Tabela 1: Lastnosti polistirena

Gostota	1.05 g/cm ³
Električna prevodnost	10 ⁻¹⁶ S/m
Toplotna prevodnost	0.08W/(m*K)
Raztezek	3 – 4 %
T(tališča)	240 °C

Tudi kristalni polistiren dobimo s polimerizacijo, in sicer z metallocen² katalizirano reakcijo. Takšen polistiren je prosojen zaradi kristalinične oblike. Do kristalinične oblike pa pride zaradi katalizatorja, ki naredi polistiren sinotaktičen, fenilnoskupino pa uredi alternirajoče. Posledica tega je višje vrelišče, prosojnost in učinek kristalnega stekla. Kristalni polistiren najpogosteje uporabljajo za notranje dele hladilnih aparatov (slika 3).



Slika 3: Primer uporabe kristalnega PS.

² Metallocen = kovinski kompleks z eno ali več ciklopentadienil (C₅H₅⁻) skupinami.

Lastnosti kristalnega polistirena so podane v tabeli 2.

Tabela 2: Lastnosti kristalnega polistirena

Gostota	1.0 g/cm ³ – 1.1g/cm ³
Električna prevodnost	>10 ⁻¹⁶ S/m
Toplotna prevodnost	0.17 W/(m*K)
Raztezek	2 %
T(tališča)	270 °C

3.4 METODE, UPORABLJENE PRI TESTIRANJU

3.4.1 UDARNA ŽILAVOST PO CHARPYJU

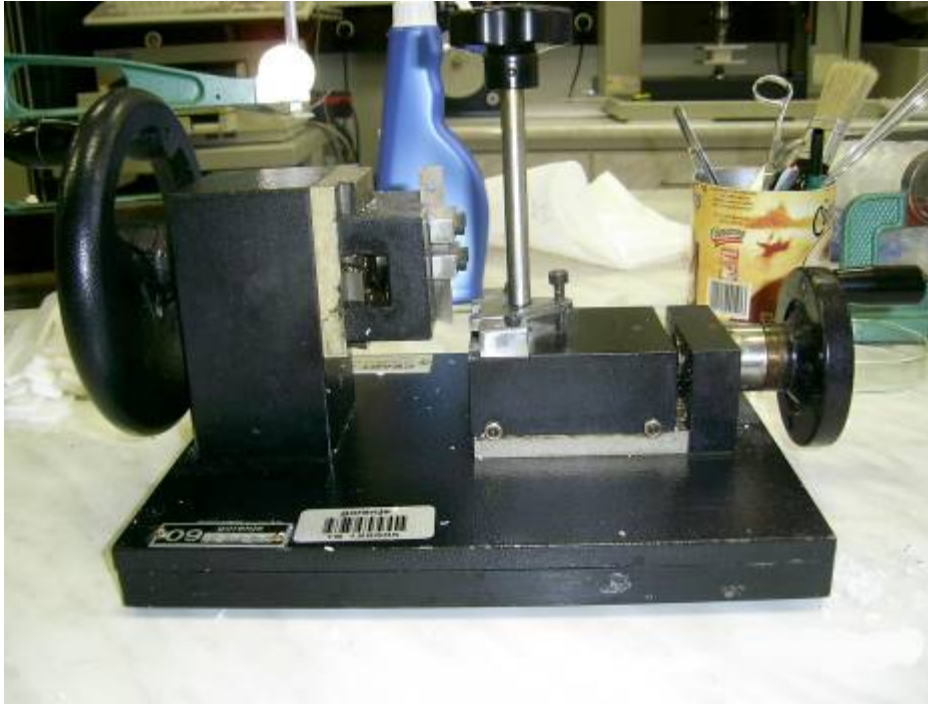
Udarne žilavost po Charpyju je uveljavljena metoda preizkušanja žilavosti v Evropi in ZDA. Izvaja se z Charpyjevim kladivom (slika 4). Test poteka tako, da kladivo postavimo v začetno lego in ga pustimo zanihati. Ob spustu pade kladivo na vzorec in ga prelomi. Po prelomu kladivo nadaljuje pot in premakne kazalec. Manj energije, kot se porabi za prelom, bolj se odmakne kazalec in obratno. Udarne žilavost matematično izračunamo po enačbi $ro = W/A$, pri kateri je W udarno delo in A prerez preizkušanca.



Slika 4: Števnica Charpyjevega kladiva.

3.4.2 UDARNA ŽILAVOST NA ZAREZO PO CHARPYJU

Udarne žilavost na zarezo poteka enako kot navadna udarna žilavost, le da na sredini materiala prerežemo do $\frac{1}{3}$ debeline vzorca. To zarezo naredimo s posebnim aparatom za izdelavo zarez (slika 5).



Slika 5: Aparat za izdelavo zarez.

3.4.3 TRDOTA PO BRINELLU

Ena izmed metod za preizkušanje trdote je trdota po Brinellu. Metodo je leta 1900 razvil švedski znanstvenik Johan August Brinell. Pri tej metodi v površino preizkušane materiala vtiskamo kroglico iz kaljenega jekla z določeno obremenitvijo. Silo zvezno povečujemo (brez udarca) do končne vrednosti. Za največ materialov pustimo obremenitev delovati 30 s.

Trdota se izračuna iz sile in površine odtiska po enačbi

$$HB = 0,102 \frac{F}{A},$$

Dobljeno število HB je brezrazsežno število. Višje, kot je število, višja je trdota. Aparat za testiranje trdnosti po Brinellu je prikazan na sliki 6.



Slika 6: Aparat za testiranje trdnosti po Brinellu.

3.4.4 UMETNO STARANJE S KSEONSKO LUČJO

Umetno staranje s ksenonsko lučjo (300 – 800 nm) uporabljajo za vzorce, ki so izpostavljeni dolgoletnemu svetljenju z lučmi oz. soncu. Ta test opravimo tako, da želene vzorce primerno označimo in damo v aparat (slika7). V aparatu nastavimo željen čas in moč osvetljevanja. Moč nastavimo v W/m^2 , ki naj jo prejme vzorec.



Slika 7: Aparat za umetno staranje s ksenonsko lučjo.

3.4.5 NATEZNA TRDNOST IN RAZTRŽNI RAZTEZEK

Natezno trdnost in raztržni raztezek ugotavljamo z nateznim preizkusom. Natezni preizkus je temeljni mehanski preizkus. Preizkušane obremenimo z natezno napetostjo, ki počasi, enakomerno narašča. Oblika teh vzorcev je definirana po standardu DIN EN ISO 527. Na vzorec nanese dve oznaki iz odbojnega materiala na razdalju 50mm, katere zazna optični ekstenziometer, ki potuje enakomerno z raztezanjem in meri razdaljo. Aparat za merjenje trdnosti ter tržnega raztezka je prikazan na sliki 8



Slika 8: Aparat za merjenje trdnosti ter tržnega raztezka

3.5 PREDELOVANJE PLASTIKE

Tu so opisane temeljne tehnologije za predelovanje plastike.

3.5.1 TEHNOLOGIJE PREDELOVANJA TERMOPLASTOV

Predelovanje termoplastov se razlikuje od predelovanja kovin, lesa, stekla. Konvencionalnih metod, kot sta vlivanje in kovanje, pri termoplastih zaradi speifičnih lastnosti materiala ne moremo izvajati. Vlivati jih ne moremo, ker imajo staljeni termoplasti visoko viskoznost in je potreben visok naddtlak. Tudi kovanje se pri termoplastih ne obnese, ker ostanejo na materialu lise, ostružki ... Zaradi tega so bili predelovalci polimerov prisiljeni uveljaviti nove metode predelovanja. V Sloveniji in svetu se za predelavo plastike uporabljajo naslednje tehnologije:

- brizganje,
- termoformiranje,
- ekstrudiranje,
- stiskanje.

Izbor tehnologije predelave je odvisen od materiala in od končnega produkta.

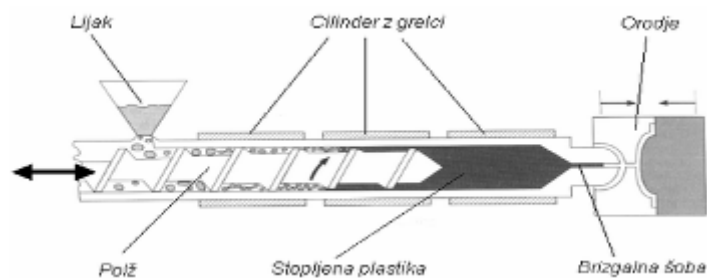
3.5.1.1 BRIZGANJE

Poznamo dva glavna načina brizganja: injekcijsko brizganje in brizganje s plinom. Injekcijsko brizganje uporabljamo za enotne, polne vzorce, brizganje s plinom pa uporabljamo za votla telesa.

3.5.1.1.1 INJEKCIJSKO BRIZGANJE

Injekcijsko brizganje (slika 9) je najbolj razširjen postopek predelave termoplastov. Pri tem procesu potisnemo staljeno plastiko z nadtlakom v orodje, kjer termoplast ohladimo in pri izmetu iz orodja dobimo končni izdelek. Postopek predelave je sestavljen iz šestih korakov, ki si sledijo po tem vrstnem redu:

1. zapiranje orodja,
2. brizganje,
3. dodatno doziranje,
4. ohlajanje,
5. odpiranje orodja,
6. izmet izdelka.



Slika 9: Shematski prerez injekcijskega brizganja.

Opis posameznega koraka:

1. Pri tem delu zapiralna enota zapre orodje.
2. Granule, ki smo jih nasuli v lijak, padejo na polžnico. Polžnica zrnca zmeša in stali ter premika naprej proti orodju. Ko imamo zadostno količino staljenega materiala, se polžnica pomakne naprej (deluje kot bat) in z določenim nadtlakom potisne talino v orodje.
3. Ta korak je identičen drugemu koraku le, da so količine manjše. Ta korak služi zapolnitvi prostora, nastalega zaradi krčenja »prvotne« mase v orodju in, da iztisnemo zadnje morebitne mehurčke zraka.
4. Plastiko ohladimo, da se strdi in ostane v obliki kalupa.
5. Ena polovica orodja se odmakne od druge.
6. Izdelek vzamemo iz orodja, ocenimo kakovost in obrežemo morebitne nepravilnosti, ali pa izdelek zavržemo in ga recikliramo.

Injekcijsko brizganje jezelo razširjeno zaradi dobrih lastnosti, kot so:

- majhna količina odpadkov,
- majhna potreba po dodatnem obdelovanju,
- prilagodljivost za večino materialov,
- lahko upravljanje,
- ponovljiva kvaliteta.

Med slabšimi lastnostmi prevladuje predvsem visoka cena aparata.

Na sliki 10 je prikazana polovica orodja s končnim izdelkom.



Slika 10: Polovica orodja s končnim izdelkom

3.5.1.1.1 OCENITEV KAKOVOSTI IZDELKA

Kot pri vsakem predelovanju lahko pride tudi pri injekcijskemu brizganju do napak. Zaradi tega je pri aparatu vedno oseba, ki pregleduje kakovost izdelka. Pri pregledu se vsak izdelek opazuje in ocenjuje glede na:

- estetiko,
- zvitost,
- počenost,
- nianso,
- nabrizganost.

Pri estetiki opazujejo dimenzije izdelka, robove ... Pri zvitosti opazujejo morebitno ukrivljenost izdelka. Pri počenosti opazujejo, ali je na izdelku vidna kakšna razpoka ali praska. Nianso opazujejo pri obarvanih izdelkih, pozorni so na lise ali neenakomerno obarvanje ... Pri nabrizganosti opazujejo dimezije izdelka in morebitni primanjkljaj materiala.

4. PRAKTIČNI DEL

V praktičnem delu je na kratko opisano, nabrizgavanje vzorcev, testiranje trdnosti po Brinellu, udarne žilavosti, udarne žilavosti na zarezo, raztržnega raztezeka in umetno staranje s ksenonsko lučjo.

4.1 BRIZGANJE VZORCEV

Za izdelavo vzorcev so potrebni naslednji pripomočki in materiali:

Pripomočki:

Brizgalni stroj, krpica, skalpel.

Materiali:

V tabeli 3 so navedeni materiali za brizganje vzorcev

Tabela 3: Kemikalije uporabljene pri brizganju

Kemikalija	Oznaka po proizvajalcu	Ident. številka	namen
Kristalni polistiren	143-E	666729	Za inj. brizganje in ekstrudiranje
Masterbatch (pigment)	PSC AZZ.TRASP.OP	98213	Za barvanje polistirena

Vzorci smo izdelali po naslednjem postopku:

Pred samim brizganjem vzamemo krpico in temeljito obrišemo orodje.

Pregledamo nastavitve oziroma stroj nastavimo na:

$T = 215 - 230 \text{ } ^\circ\text{C}$

$t \text{ (celotni)} = 39 \text{ s}$

$t \text{ (hlajenja)} = 18 \text{ s}$

$p \text{ (brizganja)} = 90 \text{ bar}$

Granulat pripravimo tako, da ga zatehtamo okoli 4 kg in mu dodamo predpisano količino barvila. Tako pripravljen granulat vsujemo v dozirnik, zapremo vrata na stroju in ga zaženemo. Ko je izdelek nabrizgan, odpremo vrata in ga snamemo iz orodja, zapremo vrata in postopek ponovimo.

Prvih nekaj vzorcev takoj zavržemo. Uporabimo zadnjih 10 odobrenih vzorcev. Posamezne vzorce po potrebi obrežemo s skalpelom.

4.2 TESTIRANJA

Vzorcem testiramo udarno žilavost, udarno žilavost na zarezo, trdoto po Brinellu, staranje s ksenonsko lučjo, natezno trdnost in raztržni raztezek.

4.2.1 UDARNA ŽILAVOST

Za določitev udarne žilavosti potrebujemo Charpyjevo kladivo in kljunasto merilo.

Pred testiranjem vsak vzorec premerimo s kljunastim merilom in se prepričamo, da je med vzorci manj kot 0.05mm razlike v debelini in širini.

Vstavimo ustrezno kladivo in potegnemo ročko, ki omogoči prosti pad. Odčitamo napako inštrumenta. Postavimo vzorec na sredino. Potegnemo ročko in odčitamo rezultat ter od njega odštejemo napako.

4.2.2 UDARNA ŽILAVOST NA ZAREZO

Za določitev udarne žilavosti na zarezo potrebujemo Charpyjevo kladivo, kljunasto merilo in aparat za izdelavo zarez.

Najprej premerimo vzorce in izračunamo velikost zareze - $1/3$ debeline. Vzorce vpnemo v aparat za izdelavo zarez. Spustimo rezilo in ga pomikamo proti vzorcu. Vzorec približujemo po črticah (z eno črtico naredimo en rez). Ena črtica meri 0.02 mm. Ko imamo prerezano $1/3$ vzorca, nadaljujemo testiranje kot pri »udarni žilavosti«.

4.2.3 TRDOTA PO BRINELLU

Za določitev trdote potrebujemo aparat za merjenje trdote po Brinelu.

Najprej na stroju preverimo vzmet, ki jo bomo uporabili za odčitavanje iz tabele, in vzorce, da ne vsebujejo kakšnih mehurčkov, lis... ter mesto vtiskavanja kroglice označimo s črto, kar nam olajša odčitavanje premera. Vzorec položimo na aparat. Približamo kroglico in spustimo ročko. Merimo čas in po 30 s dvignemo ročko ter odčitamo premer vtiska. Iz tabele odčitamo HB število.

4.2.4 UMETNO STARANJE S KSENONSKO LUČJO

Za umetno staranje potrebujemo aparat suntest.

Pregedamo vzorce in izločimo tiste, ki imajo kakšne napake. Vsak vzorec ustrezno označimo. Vzorce položimo v suntest in nastavimo parametre:

- čas osvetljevanja,
- moč osvetljevanja,
- temperaturo v komori.

Aparat med delovanjem odpiramo in opazujemo razliko med slepim - izhodiščnim vzorcem in tistim, ki ga osvetljujemo. Ko opazimo prvo spremembo, pri vzorcu zapišemo, koliko časa je bil osvetljen in koliko energije je prejel (w/m^2). Tako izločimo vzorec za vsak % posebej. Vsak vzorec tudi preosvetlimo ter primerjamo z izhodiščnimi in testiranimi vzorci.

4.2.5 NATEZNA NAPETOST IN RAZTRŽNI RAZTEZEK

Za merjenje potrebujemo aparat za merjenje natezne napetosti in raztržnega raztezka ter aparat za lepljenje nalepk iz odbojnega materiala.

Pregedamo vzorce in izločimo tiste, ki imajo kakšne napake. Vzorec položimo na aparaturo za lepljenje nalepk iz odbojnega materiala, ki na vzorec nalepi nalepki. Nato vzorec vpnemo v celjust trgalnega stroja.in zaženemo stroj. Izpišemo podatke.

4.3 MERITVE

Meritve, dobljene po zgornjih metodah, so zbrane v tabelah.

4.3.1 UDARNA ŽILAVOST

Tabela 4: Meritve vzorcev z 0 % pigmenta.

Meritev	Širina	Debelina	Absorb. udarna energ. (kp cm)	Udarne žilavost (KJ/m ²)
1	5.9	3.9	3.63	15.8
2	5.9	3.9	2.84	12.3
3	5.9	3.9	2.48	11.0
4	5.9	3.9	3.62	15.7
5	5.9	3.9	2.5	10.9
6	5.9	3.9	2.83	12.3
7	5.9	3.9	3.72	16.2 *
8	5.9	3.9	2.13	9.3
9	5.9	3.9	2.01	8.7 *
10	5.9	3.9	3.72	16.2
Aritmetična sredna vrednost udarne žilavosti:				14

(* = najvišja in najnižja meritev, ki smo ju izločili)

Tabela 5: Meritve vzorcev z 2 % pigmenta.

Meritev	Širina	Debelina	Absorb. udarna energ. (kp cm)	Udarne žilavost (KJ/m ²)
1	5.9	3.9	5.51	23.9
2	5.9	3.9	5.74	25.0
3	5.9	3.9	5.8	25.2
4	5.9	3.9	5.79	26.6
5	5.9	3.9	6.12	22.7
6	5.9	3.9	5.22	29.1 *
7	5.9	3.9	6.7	27.3
8	5.9	3.9	6.29	19.6 *
9	5.9	3.9	4.5	23.6
10	5.9	3.9	5.44	25.2
Aritmetična sredna vrednost udarne žilavosti:				24.9

(* = najvišja in najnižja meritev, ki smo ju izločili)

Tabela 6: Meritve vzorcev z 3 % pigmenta.

Meritev	Širina	Debelina	Absorb. udarna energ. (kp cm)	Udarne žilavost (KJ/m ²)
1	5.9	3.9	5.34	23.2
2	5.9	3.9	3.45	15.0 *
3	5.9	3.9	4.25	18.5
4	5.9	3.9	5.57	24.2
5	5.9	3.9	6.12	26.6
6	5.9	3.9	4.26	18.5
7	5.9	3.9	4.05	17.6
8	5.9	3.9	3.54	15.4
9	5.9	3.9	5.84	25.4
10	5.9	3.9	6.75	29.3 *
Aritmetična sredna vrednost udarne žilavosti:				21.2

(* = najvišja in najnižja meritev, ki smo ju izločili)

Tabela 7: Meritve vzorcev z 4 % pigmenta.

Meritev	Širina	Debelina	Absorb. udarna energ. (kp cm)	Udarne žilavost (KJ/m ²)
1	5.9	3.9	4.85	21.1 *
2	5.9	3.9	5.12	22.3
3	5.9	3.9	6.02	26.2
4	5.9	3.9	5.55	24.1
5	5.9	3.9	4.89	21.3
6	5.9	3.9	6.03	26.3 *
7	5.9	3.9	5.82	25.3
8	5.9	3.9	5.05	22.0
9	5.9	3.9	5.07	22.0
10	5.9	3.9	5.01	21.8
Aritmetična sredna vrednost udarne žilavosti:				23.1

(* = najvišja in najnižja meritev, ki smo ju izločili)

Tabela 8: Meritve vzorcev z 5 % pigmenta.

Meritev	Širina	Debelina	Absorb. udarna energ. (kp cm)	Udarne žilavost (KJ/m ²)
1	5.9	3.9	5.16	22.4
2	5.9	3.9	5.74	25.0
3	5.9	3.9	5.63	24.5
4	5.9	3.9	5.33	23.2
5	5.9	3.9	5.02	21.8 *
6	5.9	3.9	5.14	22.3
7	5.9	3.9	5.23	22.7
8	5.9	3.9	5.47	23.8
9	5.9	3.9	5.54	24.1
10	5.9	3.9	6.00	26.1 *
Aritmetična sredna vrednost udarne žilavosti:				23.5

(* = najvišja in najnižja meritev, ki smo ju izločili)

4.3.2 UDARNA ŽILAVOST NA ZAREZO

Tabela 9: Meritve vzorcev z 0 % pigmenta.

Meritev	Širina	Debelina	Absorb. udarna energ. (kp cm)	Udarne žilavost (KJ/m ²)
1	5.9	2.6	0.32	2.1
2	5.9	2.6	0.34	2.2
3	5.9	2.6	0.28	1.8
4	5.9	2.6	0.24	1.6 *
5	5.9	2.6	0.38	2.5 *
6	5.9	2.6	0.36	2.3
7	5.9	2.6	0.35	2.3
8	5.9	2.6	0.30	2.0
9	5.9	2.6	0.26	1.7
10	5.9	2.6	0.26	1.7
Aritmetična sredna vrednost udarne žilavosti:				2.0

(* = najvišja in najnižja meritev, ki smo ju izločili)

Tabela10: Meritve vzorcev z 2 % pigmenta.

Meritev	Širina	Debelina	Absorb. udarna energ. (kp cm)	Udarne žilavost (KJ/m ²)
1	5.9	2.6	0.20	1.3
2	5.9	2.6	0.21	1.4
3	5.9	2.6	0.21	1.4
4	5.9	2.6	0.36	2.3 *
5	5.9	2.6	0.18	1.2 *
6	5.9	2.6	0.23	1.5
7	5.9	2.6	0.29	1.9
8	5.9	2.6	0.20	1.3
9	5.9	2.6	0.25	1.6
10	5.9	2.6	0.32	2.1
Aritmetična sredna vrednost udarne žilavosti:				1.6

(* = najvišja in najnižja meritev, ki smo ju izločili)

Tabela 11: Meritve vzorcev z 3 % pigmenta.

Meritev	Širina	Debelina	Absorb. udarna energ. (kp cm)	Udarne žilavost (KJ/m ²)
1	5.9	2.6	0.43	2.8 *
2	5.9	2.6	0.21	1.4
3	5.9	2.6	0.20	1.3
4	5.9	2.6	0.15	1.0 *
5	5.9	2.6	0.18	1.2
6	5.9	2.6	0.20	1.3
7	5.9	2.6	0.23	1.5
8	5.9	2.6	0.39	2.5
9	5.9	2.6	0.28	1.8
10	5.9	2.6	0.18	1.2
Aritmetična sredna vrednost udarne žilavosti:				1.5

(* = najvišja in najnižja meritev, ki smo ju izločili)

Tabela 12: Meritve vzorcev z 4% pigmenta.

Meritev	Širina	Debelina	Absorb. udarna energ. (kp cm)	Udarne žilavost (KJ/m ²)
1	5.9	2.6	0.35	2.3
2	5.9	2.6	0.26	1.7
3	5.9	2.6	0.20	1.3 *
4	5.9	2.6	0.40	2.6
5	5.9	2.6	0.40	2.6
6	5.9	2.6	0.45	2.9 *
7	5.9	2.6	0.22	1.4
8	5.9	2.6	0.44	2.9
9	5.9	2.6	0.25	1.6
10	5.9	2.6	0.24	1.6
Aritmetična sredna vrednost udarne žilavosti:				2.1

(* = najvišja in najnižja meritev, ki smo ju izločili)

Tabela 13: Meritve vzorcev z 5% pigmenta.

Meritev	Širina	Debelina	Absorb. udarna energ. (kp cm)	Udarne žilavost (KJ/m ²)
1	5.9	2.6	0.33	2.2
2	5.9	2.6	0.25	1.6
3	5.9	2.6	0.26	1.7
4	5.9	2.6	0.34	2.2
5	5.9	2.6	0.30	2.0
6	5.9	2.6	0.39	2.5
7	5.9	2.6	0.18	1.2 *
8	5.9	2.6	0.49	3.2 *
9	5.9	2.6	0.32	2.1
10	5.9	2.6	0.33	2.2
Aritmetična sredna vrednost udarne žilavosti:				2.1

(* = najvišja in najnižja meritev, ki smo ju izločili)

4.2.3 TRDOTA PO BRINELLU

Tabela 14: Meritve vzorcev z 0 % pigmenta.

meritev	Število HB
1	19.5
2	18.6
3	19.8
4	19.5
5	19.5
6	19.5
Aritmetrična srednja vrednost HB števila:	19.5

Tabela15 : Meritve vzorcev z 2 % pigmenta.

meritev	Število HB
1	20.4
2	19.8
3	20.1
4	20.1
5	20.1
6	20.1
Aritmetrična srednja vrednost HB števila:	20.1

Tabela16 : Meritve vzorcev s 3 % pigmenta.

meritev	Število HB
1	19.5
2	19.8
3	19.8
4	20.4
5	20.4
6	20.1
Aritmetrična srednja vrednost HB števila:	20.0

Tabela 17: Meritve vzorcev s 4 % pigmenta.

meritev	Število HB
1	19.2
2	19.2
3	19.2
4	19.5
5	19.5
6	19.2
Aritmetrična srednja vrednost HB števila:	19.3

Tabela 18: Meritve vzorcev s 5% pigmenta.

meritev	Število HB
1	18.9
2	19.2
3	19.2
4	19.2
5	19.2
6	18.9
Aritmetrična srednja vrednost HB števila:	19.1

4.2.4 UMETNO STARANJE

Prva sprememba (vzorec 5 %):

čas = 47,33 h prejeta 42,8 MJ/m² temperatura črnega telesa 52 °C

Druga sprememba (vzorci 0, 2, 3, 4 %):

čas = 69 h prejeta 124,8 MJ/m² temperatura črnega telesa 49 - 51 °C

Končna doza (vzorci 0, 2, 3, 4, 5 %):

čas = 291.4 h prejeta 332 MJ/m² temperatura črnega telesa 49 - 57 °C

4.2.5 NATEZNA NAPETOST IN RAZTRŽNI RAZTEZEK

Tabela 19: Meritve vzorcev z 0 % pigmenta.

Meritev	Natezna trdnost	Raztržni raztezek
1	41.2	1.7
2	48.8	2.1
3	43.3	2.0
4	35.1	1.1
5	40.1	1.5
6	39.6	1.7
7	40.2	1.7
POVPREČJE:	41.2	1.7

Tabela 20 : Meritve vzorcev z 2 % pigmenta.

Meritev	Natezna trdnost	Tržni raztezek
1	39.3	1.6
2	38.2	1.6
3	39.0	1.5
4	38.8	1.2
5	39.0	1.3
6	38.6	1.7
7	38.3	1.3
8	38.8	1.6
9	38.7	1.5
POVPREČJE:	38.7	1.5

Tabela 21: Meritve vzorcev z 3 % pigmenta.

Meritev	Natezna trdnost	Tržni raztezek
1	41.2	1.5
2	40.8	1.5
3	40.6	1.3
4	40.6	1.6
5	40.7	1.3
6	39.7	1.3
7	40.7	1.6
8	41.8	1.6
9	40.9	1.7
POVPREČJE:	40.8	1.5

Tabela 22 : Meritve vzorcev z 4 % pigmenta.

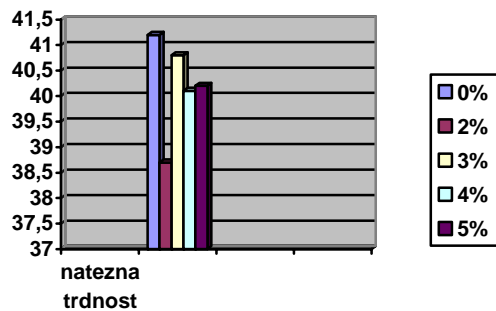
Meritev	Natezna trdnost	Tržni raztezek
1	38.8	1.6
2	40.8	1.7
3	40.7	1.5
4	39.8	1.4
5	40.1	1.5
6	40.3	1.6
7	40.1	1.4
8	41.0	1.7
9	40.3	1.4
10	39.6	1.4
POVPREČJE	40.1	1.5

Tabela 23 : Meritve vzorcev z 5 % pigmenta.

Meritev	Natezna trdnost	Tržni raztezek
1	40.2	1.5
2	40.2	1.6
3	40.3	1.7
4	40.4	1.6
5	39.5	1.5
6	40.2	1.4
7	40.2	1.6
8	40.1	1.6
9	40.6	1.7
10	40.5	1.7
POVPREČJE	40.2	1.6

5 REZULTATI

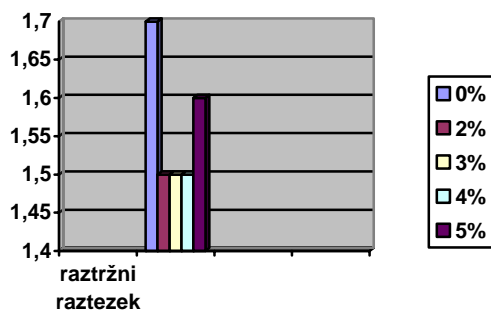
Rezultati raziskav natezne trdnosti so prikazani v grafu 1.



Graf 1: Graf natezne trdnosti.

Komentar grafa 1: Iz grafa je razvidno, da z dodajanjem pigmenta poslabšamo trdnost materiala. Razvidno je tudi, da se je material najslabše obnesel pri 2 % dodanega pigmenta.

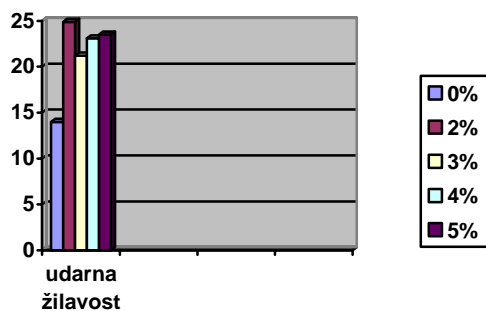
Rezultati raziskav za raztržni raztezek so prikazani v grafu 2.



Graf 2: graf raztržnega raztezka.

Komentar grafa 2: Iz grafa je razvidno, da vsakaršno dodajane pigmenta od 0 – 5 % zmanjša raztržni raztezek. Opazimo pa lahko tudi, da pri 5 % raztezek začne ponovno rasti.

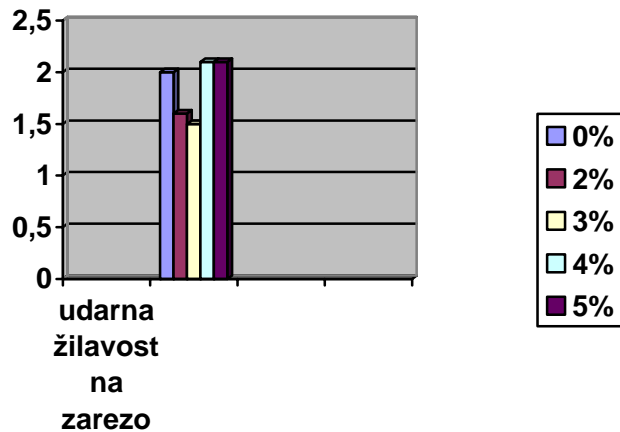
Rezultati raziskav za udarno žilavost so prikazani v grafu 3.



Graf 3: Graf udarne žilavost.

Komentar grafa 3: Iz grafa je razvidno, da dodajanje pigmenta poveča udarno žilavost. Najvišjo udarno žilavost dosežemo pri 2 %. Pri 3 % udarna žilavost malo upade, z večjem odstotkom pa zopet narašča.

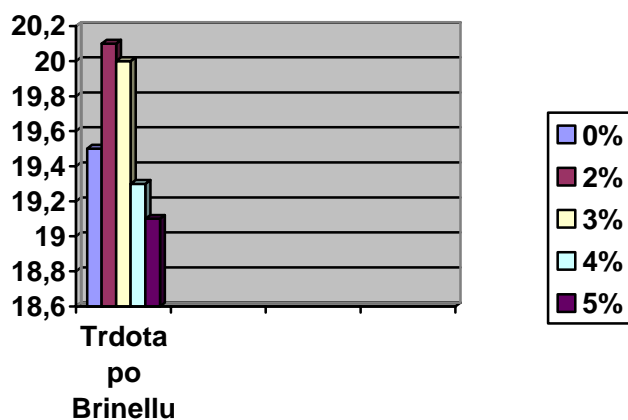
Rezultati raziskav za udarno žilavost na zarezo so prikazani v grafu 4.



Graf 4: Graf udarne žilavosti na zarezo.

Komentar grafa 4: Iz grafa je razvidno, da z dodajanjem prvih 3 % pigmenta dobimo šibkejši material, s 4 % oziroma 5% dodanega pigmenta pa zopet dobimo močnejši material.

Rezultati raziskav trdote po Brinellu so prikazani v grafu 5.



Graf 5: Graf trdote po Brinellu.

Komentar grafa 5: Iz grafa je razvidno, da najvišjo trdnost materiala dosežemo z 2 % dodanega pigmenta.

Rezultati, dobljeni z umetnim staranjem s ksenonsko lučjo:

Prvi material, ki se je razbarval oziroma smo opazili spremembo v barvi, je vzorec, ki je vseboval 5 % pigmenta. Hkrati je ta vzorec tisti, ki je imel med primerjavo z izhodiščnim vzorcem po končanem testiranju najmanj opazno spremembo v posvetlitvi barve.

Pri ostalih vzorcih so bili rezultati podobni. Razbarvali so se počasneje in bolj intenzivno.

6 ZAKLJUČEK

V hipotezi sem predpostavil, da bom z več dodanega pigmenta dobil produkt z vedno slabšimi mehanskimi lastnostmi. Z raziskovalnim delom sem hipotezo ovrgel. Ugotovil sem, da z dodajanjem pigmenta včasih mehanske lastnosti izboljšamo, včasih pa poslabšamo. Ugotovil sem tudi, da je treba izbirati količino dodanega pigmenta na podlagi namena končnega produkta.

Primer 1: Če potrebujemo za končni produkt trd, žilav material (npr. nosilne police), je najbolje dodati 2 % pigmenta, ker s tem dosežemo najvišjo udarno žilavost in trdoto.

Primer 2: Če potrebujemo za končni produkt material, ki je bolj »fleksibilen«, je najbolje vzeti vzorec brez pigmenta, ki se je najbolje obnesel pri testiranju raztržnega raztezka in natezne trdnosti.

Primer 3: Če potrebujemo za končni produkt material, ki bo izpostavljen svetlobi (ampak manj časa), je najbolje dodati 0, 2, 3, 4 % pigmenta, saj je vzorec, ki je vseboval 5 %, prvi, ki je pobledel. Če potrebujemo material, ki bo dolgo izpostavljen svetlobi, pa je najbolje uporabiti ravno vzorec, ki vsebuje 5 %, ker je imel manj intenzivne spremembe kot ostali vzorci, oziroma se je najmanj razbarval.

Vse raziskave so potekale brez zapletov.

7 LITERATURA

<http://en.wikipedia.org/wiki/Polystyrene> (12.1.2008)

http://www.fs.uni-lj.si/lap/DOCS/polimerna_grad_termoplasti.htm (12.1.2008)

<http://sl.wikipedia.org/wiki/%C5%BDilavost> (17.1.2008)

<http://wapedia.mobi/sl/Charpy> (12.1.2008)

<http://sl.wikipedia.org/wiki/Charpy> (12.1.2008)

http://sl.wikipedia.org/wiki/Trdota_po_Brinellu (12.1.2008)

http://sl.wikipedia.org/wiki/Natezna_trdnost (12.1.2008)

7.1 VIRI SLIK

- Slika 1..... internet
Slika 2..... <http://en.wikipedia.org/wiki/Polystyrene> (prevedena) (12.1.2008)
Slika 3..... <http://www.justhungry.com/images/fridge-2.jpg> (15.1.2008)
Slika 4..... lasten vir
Slika 5..... lasten vir
Slika 6..... lasten vir
Slika 7..... lasten vir
Slika 8..... lasten vir
Slika 9 <http://www.fs.uni-lj.si/lap/DOCS/IMAGES/brizgalnik.gif> (12.1.2008)
Slika 10..... lasten vir