



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI
FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



DEJSTVO UV ZRAČENJA NA POLIMERNE MATERIJALE

- diplomski rad -

Mentor: Prof. dr. Zoran Mijatović

Kandidat: Veljko Zdjelar

Novi Sad, 2011

Želeo bih da se zahvalim mentoru
prof. dr. Zoranu Mijatoviću na
svesrdnoj pomoći tokom izrade i
konačnog uobličavanja ovog rada.

SADRŽAJ

1.UVOD	3
2.POLIMERI I POLIMERNI MATERIJALI	4
2.1.OSNOVNI POJMOVI	4
2.1.1.Linearni lanci i mreže	4
2.1.1.1.Linearni lanci	4
2.1.1.2.Mreže	5
2.1.1.3.Slučajevi između linearnih lanaca i mreža	5
2.1.2.Periodični i aperiodični polimeri	6
2.1.2.1.Periodični polimeri	6
2.1.2.2.Aperiodični polimeri	6
2.1.2.3.Slučajevi između periodičnih i aperiodičnih polimera	6
2.1.3.Homopolimeri i kopolimeri	6
2.1.3.1.Homopolimeri	6
2.1.3.2.Kopolimeri	6
2.2.GLAVNI TIPOVI POLIMERIZACIONIH REAKCIJA	8
2.2.1.Kondenzaciona polimerizacija	8
2.2.2.Adiciona polimerizacija	9
2.2.3.Molekulska masa polimera	10
2.3.FIZIČKA STANJA POLIMERA	11
3.DEGRADACIJA POLIMERA	15
3.1.OSNOVNI POJMOVI	15
3.2.OŠTEĆENJA POLIMERA POD DEJSTVOM UV ZRAČENJA	16
4.OPIS EKSPERIMENTA I APARATURE	21

4.1.OPIS APARATURE	21
4.2.SOLARNI SIMULATOR	21
4.3.MEHANIČKA KIDALICA	25
5.REZULTATI MERENJA	26
6.ZAKLJUČAK	31
7.LITERATURA I INTERNET ADRESE	32
8. BIOGRAFIJA	37

1.UVOD

U radu je opisano dejstvo UV zračenja na pojedine polimere. Eksperimentalni deo rada se sastoji u prikazu opisa instrumenata i rezultata uticaja UV zračenja na starenje i mehaničku kidljivost najlona (NYLON) i polipropilena, pre i posle osvetljavanja.

Ultraljubičasta (UV) svetlost spada u elektromagnetno (EM) zračenje u intervalu talasnih dužina od 100 do 400 nm. Glavni izvor ovog EM zračenja u prirodi je Sunce. Postoje mnogi veštački izvori UV zračenja poput raznih UV lampi. Jedna takva je korišćena prilikom realizacije eksperimenta. Ultraljubičasto zračenje može biti korisno (za sintezu vitamina D u koži, medicinske, kozmetičke i estetske svrhe), ali određeni deo UV spektra je veoma štetan kako po živi svet, tako i za neke materijale poput raznih polimera.

Polimeri su veštački (najlon, plastika...) i organski (proteini, DNK...) materijali nastali repetacijom većeg broja atoma ili grupe atoma povezanih kovalentnim vezama. Oni pokazuju dobre osobine u raznim granama industrije, građevinarstva, medicine... Degradacija i starenje su jedan od bitnih faktora koji određuju kvalitete finalnih proizvoda. U radu je opisan eksperiment i rezultati izlaganja najlona i polietilena veštačkom izvoru UV zračenja (UV lampi).

Diplomski rad sastoji se iz teorijskog, eksperimentalnog i dela sa prikazanim rezultatima.

2. POLIMERI I POLIMERNI MATERIJALI

2.1. OSNOVNI POJMOVI

Polimeri su veliki molekuli (makromolekuli) nastali ponavljanjem karakterističnih strukturnih jedinica – monomera. Monomeri su povezani međusobno hemijskim vezama, nastalih za vreme sinteze polimera – polimerizacije. Sam monomer može biti sve od prostog molekula, sastavljenog od nekoliko atoma, do velikih i kompleksnih molekula (Keller, 1984). Najprostiji slučaj dobijanja polimera je ponavljanje istih monomera u linearnom lancu. Takođe je moguće ponavljanje različitih jedinica u komplikovanoj sekvenci ili neponavljanje sekvence uopšte. Osnovna osobina monomera je multifunkcionalnost, npr. mora sadržati više od jedne potencijalno reaktivne hemijske grupe (potencijalne veze), kojima monomeri mogu biti spojeni (Keller, 1984). Prilikom polimerizacije dolazi do spajanja n monomera (M) u polimer (M_n), pri čemu n iznosi od nekoliko stotina do preko milion: $n \cdot M \rightarrow M_n$, gde je n stepen polimerizacije (Petrović i Lukić, 2000).

Polimerni materijali se sastoje od jednog ili više tipova polimera i spadaju u kondenzovano stanje materije. Zbog prevelike molekulске mase polimeri se ne mogu nalaziti u gasovitom agregatnom stanju, jer tom prelazu bi prethodio raspad molekula (degradacija). Polimerni materijali se nalaze u čvrstom stanju, rastopu ili rastvoru. Makromolekuli koji su relativno izolovani mogu egzistirati samo u razblaženim rastvorima polimernih materijala (Rakić, 1996).

2.1.1. Linearni lanci i mreže

2.1.1.1. Linearni lanci

Ako je monomer bifunkcionalan, polimerizacija će voditi do linijskog lančanog molekula. Šematski je ovo prikazano na slici 1., gde je $x-x$ monomer, x je funkcionalna grupa nacrtana na oba kraja, a ostatak monomera je prava linija. U

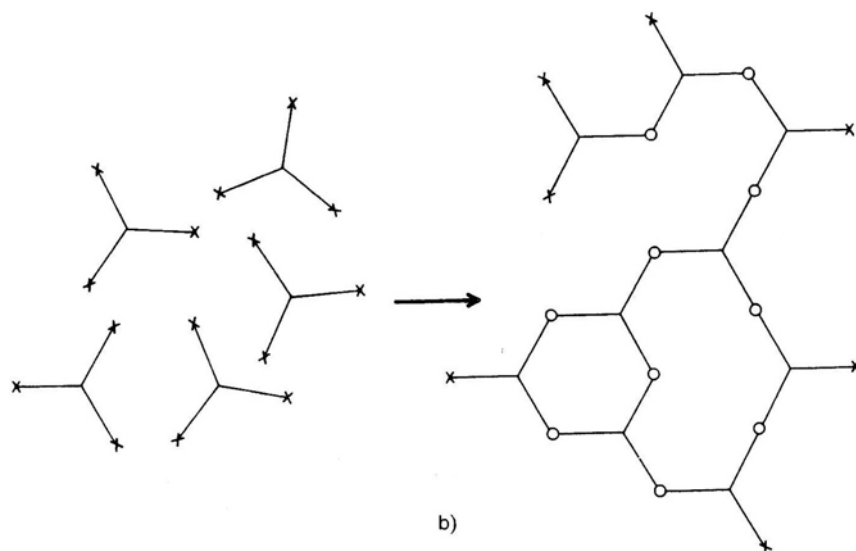


Slika 1. Šema polimerizacije bifunkcionalnog monomera

pravcu polimerizacije monomeri se sjedinjuju funkcionalnim grupama. Npr. novoformirana hemijske veze su predstavljene kružićima (Keller, 1984)

2.1.1.2. Mreže

Polimerizacija višefunkcionalnih monomera (sa više od dve reaktivne grupe) dovodi do mreža kao što je predstavljeno na slici 2. za trifunkcionalni monomer.



Slika 2. Šema polimerizacije trifunkcionalnog monomera u razgranate lance i mreže

2.1.1.3 Slučajevi između linearnih lanaca i mreža

a) otvoreni razgranato vezani molekuli

Ovde veze nisu još dobro spojene da formiraju neprekidnu mrežu. Stadijum kada mreža postaje kontinuirana je eksperimentalno veoma jasan (tzv. „gel tačka“ u polimerizaciji) i predstavlja složen matematički problem za čije se određivanje koriste odgovarajuće matematičke tehnike (Keller, 1984).

b) linearni lanci sa prikrivenim (latentnim) funkcijama

U ovom slučaju, dve funkcionalne grupe unutar monomera su reaktivnije nego ostatak monomera. One mogu da reaguju prve, dovodeći do linijskih lanaca . Reagovanje nekih od preostalih funkcionalnih grupa će kasnije dovesti do spajanja ovih lanaca u mrežu (Keller, 1984).

Linearne lance i mrežne polimere karakterišu ekstremno različite osobine. Prvi su rastvorljivi i topljivi, dok su drugi nerastvorni i netopljivi. Materijali od linijskih lanaca mogu biti oblikovani u raznovrsne oblike i čine grupu termoplastičnih materijala. Mrežni materijali prave stalan, neizmenjiv oblik u toku polimerizacije, kasnije ih nije moguće dodatno obrađivati. Oni su „termosetting“ materijali. Međufaza kombinuje osobine linijskih lanaca i mreža. Primer je vulkanizacija gume, gde vulkanizaciji odgovara formiranje mreža od već prisutnih linearnih lanaca (Keller, 1984).

2.1.2. Periodični i aperiodični polimeri

2.1.2.1. Periodični polimeri

Ova kategorija uključuje polimere koji se sastoje od jedne identične monomerne jedinice koja se ponavlja duž lanca ili od šablona monomernih jedinica koje se ponavljaju. Najznačajniji sintetički polimeri spadaju u ovu klasu, kao i biopolimeri koji sadrže strukturnu funkciju u organizmu (npr. celuloza i drugi polisaharidi) (Keller, 1984).

2.1.2.2. Aperiodični polimeri

U ovom slučaju, monomerne jedinice duž lanca, nisu istog hemijskog sastava. Takvi materijali su funkcionalni biopolimeri, posebno globularni proteini. Ovde iako monomeri imaju istu osnovu (α -amino kiseline), oni sadrže različite nastavke (bočne grupe) tako da je rezultujući lanac bolje opisan kao aperiodičan. Određivanje tačnih sekvenci monomera je primarni istraživački zadatak metodama organske hemije ili kristalografije (Keller, 1984).

2.1.2.3. Slučajevi između periodičnih i aperiodičnih polimera

a) Jedan slučaj je ponavljanje šeme monomera duž osnovnog lanca , ali ne potpuno identične. Takav je primer kolagena, gde se ponavlja triplet amino kiselina: glicin, prolin i X, X predstavlja razne amino kiseline.

b) Drugi slučaj je regularno ponavljanje monomera duž osnove lanca, ali ne periodično u ograničenim mogućnostima grupa prikačenih na osnovni lanac (primer DNK)

c) Treći slučaj je egzaktno ponavljanje samo duž delova lanca , sa mešanjem različitih monomernih vrsta. Ovakvo je stanje sa kopolimerima (Keller, 1984).

2.1.3. Homopolimeri i kopolimeri

2.1.3.1. Homopolimeri

Homopolimeri proizilaze iz polimerizacije jedne monomerne vrste. Kao:



Gde A predstavlja pojedinačnu vrstu monomera, a AAAAAA----- rezultujući lanac.

2.1.3.2. Kopolimeri

Kopolimeri nastaju polimerizacijom mnoštva raznih monomernih vrsta, koje mogu biti vezane jedne sa drugim. Ovo su tri široke klase kopolimera:

1) Stohastički (statistički, “random“) kopolimeri. Na primer, dve monomerne vrste A i B se vezuju da formiraju lanac na proizvoljan način dovodeći do nasumične distribucije monomera A i B duž lanca poput:

- AABABAABBBAABAB-

2) Blok kopolimeri. Ako posmatramo A i B monomerne vrste i ako postoje kratke ponavljajuće sekvence AAAAA iBBBBB prvo zasebne, a onda spojene polimerizacijom u npr.

- AAAAABBBBBAAAAA-

Kopolimeri mogu biti dvoblok, triblok ili multiblok lanci.

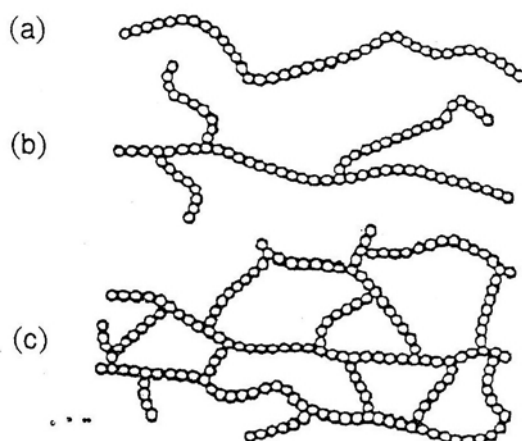
3) Kalemljeni (graft) kopolimeri (Rakić, 1996). Ovde se počinje sa homopolimerom npr. vrste A i na njega „ nakalemljeni“ polimeri druge vrste B. Ovo može biti izazvano polimerizacijom monomernih vrsta B duž osnovnog lanca,obično u proizvoljnim pozicijama, dovodeći do razgranatog lanca kao:

- AAAAAAAAAAAAAA-

B	B
B	B
B	B
B	B
I	I

Opšta osobina kopolimera je da oni kombinuju mogućnosti koje poseduju homopolimeri odgovarajućih monomernih vrsta. Koji će tip biti kopolimera zavisi od odnosa veličina monomernih vrsta u 1) i distribucije grana i blokova u 2) i 3)(Keller, 1984).

Monomeri mogu biti poređani u jednom nizu (lancu) – to je **linearni polimer**. Ako uz glavni niz postoje i bočni lanci – to je **razgranati polimer**. Monomeri koji su raspoređeni da čine trodimenzionalnu mrežu su **umreženi polimeri** (slika 3). Linearni makromolekul ima samo dve krajnje grupe, tj.svaki monomer u lancu je vezan samo sa dva susedna monomera. Kod razgranatih makromolekula na neke od monomera u glavnom nizu vezani su bočni lanci. Bočni lanci mogu biti kratki i dugi,što dovodi do različitih fizičkih osobina takvih polimera (Rakić, 1996). Ako se bočni lanci međusobno vežu hemijskim vezama, nestaje osnovni lanac – svi monomeri su spojeni u trodimenzionalnu mrežu. Umreženi polimeri se bitno razlikuju po osobinama od linearnih polimera sastavljenih od istih monomera (slika 3) (Rakić, 1996).



Slika 3. Opšti izgled makromolekula: (a) linearni makromolekul, (b) razgranati makromolekul, (c) umreženi makromolekul

Bočne grupe i monomeri mogu biti međusobno povezani jednostrukim, dvostrukim ili trostrukim kovalentnim vezama. U slučaju jednostrukih veza moguća je rotacija fragmenata makromolekula i obrazovanje neplanarne spiralne konformacije lanca, što praktično nije ostvarljivo kod dvostrukih i trostrukih kovalentnih veza, pa su takvi polimerni lanci uglavnom planarne strukture. Primer neplanarne „cik-cak“ strukture makromolekula je polietilen (PE), polimer sa najjednostavnijom hemijskom formulom:

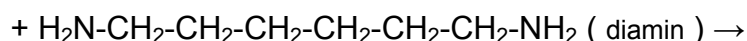


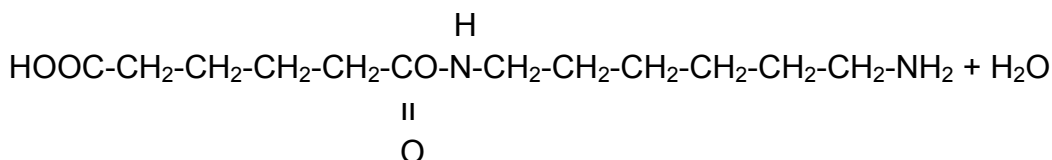
CH_2 grupe čine monomerne jedinice međusobno povezane u savitljiv (gibak) lanac, koji ako se nalazi izolovan u rastvoru ima grozdastu formu (klaster- forma) (Rakić, 1996).

2.2. GLAVNI TIPOVI POLIMERIZACIONIH REAKCIJA

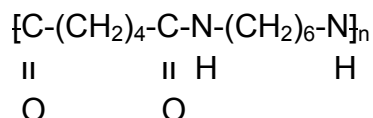
2.2.1. Kondenzaciona polimerizacija

Ovde funkcionalne grupe COOH i OH dovode do poliestera, a COOH i NH_2 dovode do poliamida sa izdvajanjem vode. Primer je slučaj tehnološki značajnog poliamida, uglavnom poznatog kao najlon (nylon 66):





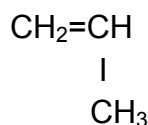
U dobijenom jedinjenju funkcionalna grupa ostaje, kao pre, sposobna da reaguje sa odgovarajućim grupama iz drugih jedinjenja, dovodeći do polimera



Sa n je označen broj monomera koji se ponavljaju u molekulu (Keller, 1984).

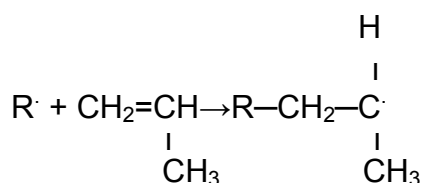
2.2.2. Adiciona polimerizacija

U ovom monomerne jedinice su povezane bez nastajanja viška produkata reakcije polimerizacije. Ovo omogućuje, u početku nereaktivni, elektronski par ,koji kasnije doprinosi nastanku hemijske veze. Da bi se to desilo neophodna je početna (inicijalna) aktivacija, korak zvani „inicijalizacija“ (Keller, 1984). Primer za ovu polimerizaciju je nezasićeni propilen, inicijalizovan slobodnim radikalima, dovodi do polimerizacije u polipropilen. Hemijska formula monomera propilena je:



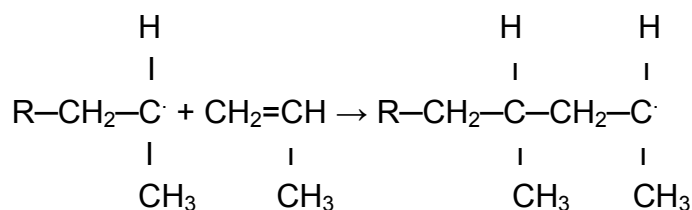
Oznaka za slobodni radikal je R[·], gde je R opšti simbol, a tačka je nesporeni elektron.

Inicijalni korak



Slobodni radikal biva vezan za monomer ostavljajući jedan nesporen elektron. To rezultuje iz otvaranja dvostruke veze krajnjeg atoma ugljenika koji postaje novi hemijski aktivni kraj nastalog molekula. On može reagovati sa još nespojenim monomerom i tako nastaviti proces polimerizacije (Keller, 1984).

Korak umnožavanja



Reakcija se može ponoviti mnogo puta i na kraju dovesti do polimera. Lanac neće rasti beskonačno uprkos prisustva mnoštva neizreagovanih monomera, već će rast biti prekinut na više mogućih načina.

Završni (terminalni) korak

Kraj rasta lanca se može desiti na njegovom reaktivnom kraju u interakciji sa slobodnim radikalom, sa aktivnim monomerom, sa aktivnim polimerom ili sa reaktivnom nečistoćom. U svim ovim slučajevima polimerizacija prestaje i reaktivni centar je uklonjen iz sistema. U drugoj metodi terminacije reaktivnost centra nije skroz otklonjena, nego je preneti negde drugde. Ova metoda se naziva „lančani transfer“ (chain transfer) (Keller, 1984). Ovde npr. atom vodonika koji je ekstrahovan iz drugog polimernog lanca, koji zbog toga deaktivira reaktivni ugljenikov atom duž narastajućeg lanca. U isto vreme ovaj proces aktivira jedan od ugljenikovih atoma duž drugog lanca (ili na udaljenim delovima istog lanca), koji će dovesti do razgranatog rasta lanca. Odgovarajući jednovalentni atom iz rastvora može takođe biti ekstrahovan, koji onda može imati ulogu slobodnog radikala i sam inicirati polimerizaciju (Keller, 1984).

2.2.3. Molekulska masa polimera

Proces polimerizacije, u laboratoriji ili industriji (sintetski polimeri), dovodi uvek do pojave polimernih lanaca različitih dužina (masa) za razliku od biopolimera (npr. DNK) koji su uvek iste dužine. Uzroci formiranja lanaca nejednakih dužina su (Rakić, 1996):

1. Termodinamička granica rasta lanca kao posledica zakona o dejstvu masa, granica koja se retko dostiže.
2. Kinetičko ograničenje. Naime, sa povećanjem dužine lanca njihov rast se usporava. Raspodela dužina lanaca je statistička i može biti predviđena matematički.

Iz ovih razloga molekularna masa polimera se može okarakterisati samo srednjim vrednostima koje se mogu eksperimentalno odrediti. U tom smislu definišu se:

Srednja brojna molekulska masa: $\overline{M}_n = \Sigma n_x M_x / \Sigma n_x$

Srednja masena molekulska masa: $\overline{M}_m = \Sigma n_x M_x^2 / \Sigma n_x M_x$

M_x je molekulska masa molekula sa stepenom polimerizacije x , a n_x je broj takvih molekula (Keller, 1984; Petrović i Lukić, 2000).

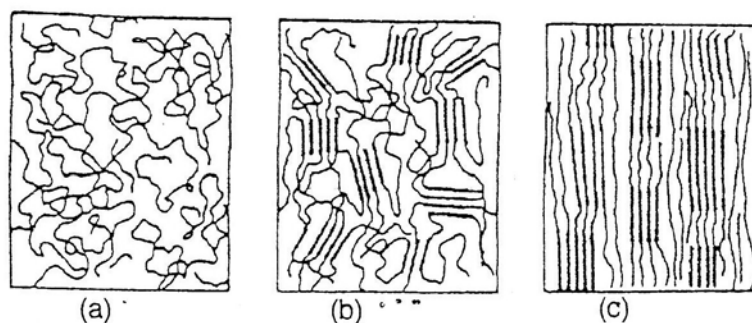
Širina raspodele molekulskih masa definiše se odnosom M_n/M_m koji je kod sintetičkih polimera uvek veći od jedinice, dok kod bioloških makromolekula širina raspodele je uska i M_n/M_m teži jedinici (Rakić, 1996).

2.3. FIZIČKA STANJA POLIMERA

Klasifikacija polimera prema njihovom fizičkom stanju je na *amorfne i kristalične* polimere. Granica između ove dve grupe nije jasno definisana, jer kristalični polimeri sadrže i amorfnu komponentu, a amorfni polimeri mogu imati neke oblike uređenosti makromolekula. Polimer je kristaličan ukoliko se pri difrakciji rendgenskog zračenja na polimeru registruju Bragove refleksije, a u suprotnom je amorfan. Tada je rasejanje X-zraka difuzno (Petrović i Lukić, 2000). Amorfno stanje može biti staklasto, tečno i gumasto. Tečno stanje se realizuje u rastopu i naziva se visokofluidno. U gumastom stanju polimerni materijal je podložen izvanredno velikim elastičnim mehaničkim deformacijama (Rakić, 1996).

Posebnu klasu čine tečno-kristalni polimeri (*termotropni i liotropni*) kod kojih su ili u osnovnom lancu ili u bočnim grupama sadržani relativno dugački kruti segmenti. U tečno-kristalnom stanju polimerni materijal ispoljava svojstvo anizotropije.

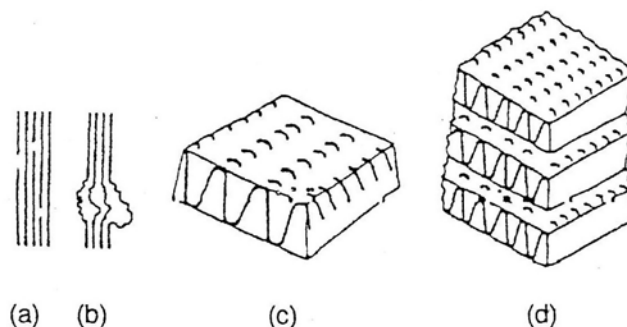
Kada je polimer kristaličan onda ima pored amorfni i kristalno sređeno područje. Kristalna područja u materijalu mogu dalje da se organizuju poput orijentisanog kristaličnog polimera, što predstavlja viši stepen uređenosti. Za čitav uzorak tog polimera postoji neki preferisani pravac tj. isti pravac istaknut u svim uređenim područjima (slika 4.). Dimenzije uređenih područja su često manje od dimenzija makromolekula odnosno isti makromolekul može svojim pojedinim delovima da pripada područjima različite uređenosti (Petrović i Lukić, 2000).



Slika 4. Nadmolekulska organizacija makromolekula u : (a) amorfnom, (b) kristaličnom (c) orijentisanom kristaličnom polimeru

Pri kristalizaciji iz rastvora ili rastopa savitljivi polimerni lanci mogu formirati lamele. Slaganjem lamela dobijaju se lamelarni kristali sa izvesnim stepenom amorfности (Rakić, 1996). Lamelle se organizuju u sferulite pri uslovima brze kristalizacije. Sferuliti predstavljaju polikristalične morfološke forme. Kako je dužina makromolekula višestruko veća od debljine lamelle, makromolekul unutar lamelle mora biti regularno savijen. Smatra se da rast sferulita počinje tako što prvo nastaju snopovi linearnih makromolekula ,kao jezgro,što je najniži stepen uređenosti za takve makromolekule(slika 5.a). Prilikom kristalizacije makromolekuli se organizuju kao svojevrsna kristalna rešetka. Pri pojavi eventualne neregularnosti poput primesa, prepreka u rastu i dr., u nekim područjima može doći do pojave amorfних (nesređenih) oblasti (slika 5.b). Molekul se ne pruža neograničeno u jednom smeru, pošto je sa stanovišta smanjenja površinske energije povoljnije da se molekul nakon određene dužine (koja npr. za polietilen iznosi 10-12 nm) zaokrene i naredni deo molekula kristališe paralelno prethodnom delu, ali u suprotnom smeru (Rakić, 1996).

Na opisani način nastaju *lente* ,koje još uvek sadrže višak površinske energije. Lente se udružuju u lamele (slika 5.c). Dalje smanjenje površinske energije postiže se slaganjem jedne lamelle uz drugu, ali pošto ta promena nije velika,često se dešava da je jedna lamela pomaknuta u odnosu na drugu (Rakić, 1996). Pri povoljnim uslovima kristalizacije formira se monokristal koji ispunjava specifičnosti makromolekula kao strukturne jedinice (slika 5.d). Monokristali polimera imaju srazmerno nisku simetriju,obično rastu izduženi u jednom smeru ili pljosnato u dva smera i lako se raspadaju u lamele.



Slika 5. Nastajanje dalekog poretka u linearnom polimeru: (a) snopovi makromolekula (b) neregularnost, (c) lente udružene u lamele i (d) monokristal polimera

Od mnoštva tanjih mikrovlakana (mikrofibrila) mogu biti obrazovani *tz.fibrilarni kristali*. Orijentisani polimerni uzorak može kristalisati u neobičnoj formi *ražnjica* (shish-kebab model) – slika 6., gde su bočne lamele formirane od naboranih molekula prirasle na centralno jezgro koga čine dugi opruženi molekuli. Pri nepostojanju orijentacije nastaju sferuliti prikazani na slici 7., koji su izgrađeni od lamelarnih ili fibrilarnih kristalita. Pakovanjem raznih oblika nadmolekularnih formi mogu se obrazovati materijali raznovrsne strukture, sa različitim stepenom amorfности (Rakić, 1996).

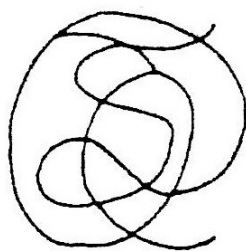


Slika 6. Forma ražnjica



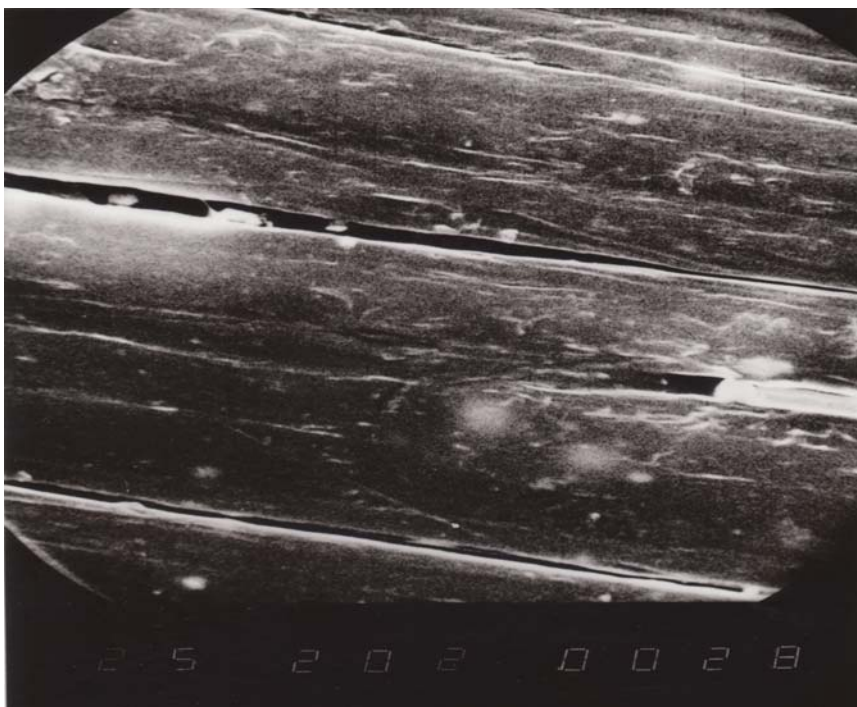
Slika 7. Sferuliti

Može se pojaviti i drukčiji polimerni strukturni motiv od uobičajenih. Takav motiv je polimer skupčan u globulu (slika 8). Globula je ogroman asimetrični i neuređen strukturni motiv. Pravilnim ređanjem ovakvih globula formiraju se globularni kristali (Rakić, 1996).



Slika 8. Globula

Od nadmolekulske strukture (morfologije) ostvarene tokom tehnološkog procesa prerade i od strukture na molekulskom nivou zavise konačna svojstva proizvoda dobijenih od polimernih materijala. Morfologija polimera izučava strukturu i formu polimera, polimernih smeša i kompozitnih sistema na nadmolekulskom nivou. Njeno istraživanje predstavlja značajnu oblast u karakterizaciji polimera. Struktura polimernih materijala koji mogu kristalisati može se uspešno ispitivati rasejanjem svetlosti ili rasejanjem X-zraka, poput WAXS i SAXS metoda (rasejanja X-zraka pod velikim i malim Bragovim uglovima) (Rakić, 1996).



Slika 9. Fotografija polipropilenskog vlakna načinjena elektronskim mikroskopom

Na fotografiji je prikazano vlakno polipropilena korišćenog u ovom radu. Vlakno je snimljeno elektronskim mikroskopom sa uvećanjem od 2000 puta. Na snimku se jasno vidi struktura polipropilenskog vlakna. Bele tačkice predstavljaju mikročestice kalcijum-karbonata, koji se koristi radi olakšanja tehnološkog procesa u proizvodnji podnih obloga. Na slici se jasno vidi orijentisanost glavnih lanaca.

3.DEGRADACIJA POLIMERA

3.1.OSNOVNI POJMOVI

Degradacija polimera je promena u osobinama (mogućnosti rastegljivosti, boje,oblika) polimera ili proizvoda sa polimernom osnovom pod uticajem jednog ili više faktora okoline kao što su toplota,svetlost ili hemikalije,poput kiselina ,baza i nekih soli. Ove promene su obično nepoželjne,kao što je pucanje i hemijska dezintegracija ili ređe,poželjne,poput biodegradacije (razgradnje) ili namernog snižavanja molekulske težine polimera za recikliranje. Ove promene u osobinama se često nazivaju „starenje“ (Lapshin et al, 2010).

U finalnom proizvodu nastoji se da takva promena bude preduhitrena ili odložena. Degradacija može biti korisna za recikliranje (ili ponovno korišćenje) polimernog otpada kako bi se sprečilo ili smanjilo zagađenje okoline. Degradacija takođe može biti namerno izazvana da bi pomogla u određivanju strukture nekog polimera ili polimernog materijala.

Polimerni materijali su veoma veliki (na molekulskoj skali) i njihove jedinstvene i korisne osobine su uglavnom rezultat njihove veličine. Bilo koji gubitak u dužini lanca smanjuje otpornost na kidanje i primarni je razlog preranog pucanja.

Danas je prisutno prvenstveno sedam uobičajenih veštačkih polimera koji se koriste: polietilen, polipropilen, polivinil hlorid (PVC), polietilen-terphalat (PET), polistiren, polikarbonat i polimetil-metakrilat (pleksiglas). Oni sačinjavaju skoro 98% svih polimera i plastika koje se koriste u svakodnevnom životu. Svaki od ovih polimera sadrži svoj karakteristični način degradacije i otpornosti na toplotu, svetlost i hemikalije. Polietilen, polipropilen i pleksiglas su osetljivi na oksidaciju i UV zračenje, dok PVC može da izgubi boju na višim temperaturama zahvaljujući gubitku hlorovodoničnog gasa i postaje veoma krt. PET je osetljiv na hidrolizu i na delovanje jakih kiselina, dok se polikarbonati ubrzano depolimerizuju kada su izloženi jakim bazama. Na primer, polietilen uobičajeno degradira po „random scission“,to je kada nasumično pucaju veze koje drže atome polimera zajedno. Kada ovaj polimer zagrejemo iznad 450°C, on postaje složena mešavina molekula različitih veličina koja nalikuje benzinu. Drugi polimeri poput polialfametilstirena prolaze kroz neobične lančane transformacije sa kidanjima koja se pojavljuju na krajevima lanca i depolimerizuju se na osnovne monomere (Lapshin et al, 2010).

3.2.OŠTEĆENJA POLIMERA POD DEJSTVOM UV ZRAČENJA

Hemijski putevi koji su uobičajeni za fotodegradaciju polimera su prilično dobro poznati, ali različiti aspekti mehanizama uključenih u nju ostaju i dalje nerasvetljeni. Međutim, važno je uzeti u obzir veoma značajan uticaj aditiva u smesama u modifikovanju ovih hemijskih puteva. Uglavnom ovo su pigmenti, katalizatori, fotostabilizatori i toplotni stabilizatori. Obrada polimera koristeći toplotu i dalja obrada radi dobijanja korisnih krajnjih proizvoda uvodi nečistoće i reakcije proizvoda koje ih čine osetljivim na fotodegradaciju. Zbog ovih komplikacija, ekstrapolacija dobijenih rezultata za UV izazvanu degradaciju čistih polimernih smola u smesama i obrađenim proizvodima od istog polimera je često nepouzdan . Podaci o nastaloj fotodegradaciji u aktuelnim polimernim formama korišćenim u praksi, obrađeni na konvencionalan način, su najkorisniji za procenu štete .

Mnogi konkurentski hemijski procesi koji se odvijaju u polimerima izliženim UV zračenju, rezultuju u nekoliko različitih načina oštećenja, svaki napredujući u različitoj meri. Uglavnom je kritičan prvoprimećeni proces oštećenja koji određuje upotrební vek proizvoda. Na primer PVC okvir prozora izložen sunčevoj svetlosti prolazi kroz proces gubitka boje, gubitka otpornosti pri udaru i smanjenja tenzionih osobina i postaje osnova ostalim hemijskim promenama. Ipak, gubitak boje (ili nejednako „žučenje“) rama prozora uglavnom određuje njegov upotrební vek i često je promenjen zbog te osobine. Dva kritična načina fotooštećenja koji se ispoljavaju na većini prirodnih i sintetičkih materijala su gubitak boje u obliku žućenja i gubitak u mehaničkom integritetu.

Gubitak boje u obliku žućenja

Prirodni biopolimerni materijali i sintetički polimeri prolaze kroz gubitak boje izazvan UV zračenjem, uglavnom povećanjem žućenja materijala koji su mu izloženi. Lignocelulozni materijali, kao što su drvo i papir, prolaze kroz svetlosno izazvano žućenje. Dok sastojci celuloze i lignina kod drveta mogu da požute, lignin je najviše odgovoran za ovaj fenomen. Lignin koji sačinjava 29-33% težine svežeg drveta sadrži mnoge hromopore, koje efikasno apsorbuju UV zračenje. Čak 80-95% apsorpcionog koeficijenta drveta čini ligninov udeo. Praktični interes u gubitku boje je naročito povezan sa novinskim papirom, koji je napravljen od drvene pulpe, koja brzo žuti na sunčevoj svetlosti. Fotobeljenje pulpe se odvija u intervalu talasnih dužina od 500-600 nm, dok je kod celuloze iz drveta degradacija nastala slobodnim radikalima na izloženosti talasni dužinama manjim od 340 nm.

Fotooštećenja vune takođe imaju velikog ekonomskog značaja u zemljama velikim proizvođačima. Izlaganje vune sunčevoj svetlosti izaziva dobro poznata žućenja, beljenja i kidanja glavnih lanaca proteina (Lennox et al, 1971). Launer (Launer, 1965) je objavio da vidljivo sunčevo zračenje izaziva fotobeljenje vune, dok UV zračenje izaziva fotožučenje. Prema podacima (Lennox et al, 1971), najefektivnije žućenje se javlja u

UV-A spektru (od 340-420 nm). Kako se ozonski omotač istanjuje, povećava se i UV-B i UV-A deo sunčevog zračenja, pa samim tim vuna može biti posebno pogođena.

Od sintetičkih polimera polivinilhlorid (PVC) je najpoznatiji po sklonosti fotožućenju. Fototermalni mehanizmi dovode do formiranja povezanih poliena koji izazivaju žućenja, su dobro poznati (Decker, 1984; Gardette et al, 1991). Titanov rutil se koristi kao „zamračivač“ da bi se usporila doza žućenja u belim profilima kod široko korišćenih okvira prozora i cevi (Titow, 1984). Reakcija je lokalizovana na površinskim slojevima polimera, posebno u neprovidnim formama korišćenim u građevinarstvu. Aktivaciona energija za dehidrohlORIZACIJU koja je objavljena ima temperaturni koeficijent od 8-18 kJ/mol, što sugerise da se ovaj proces brzo povećava na višim temperaturama (Owen, 1984). Poput vune i papira, na UV talasnim dužinama PVC žuti, a na vidljivoj svetlosti ima tendenciju fotobleđenja.

Drugi polimer korišćen u građevinarstvu, prvenstveno za glaziranje, je polikarbonat. Kada su ozračeni kratkotalasnim UV-B ili UV-C zračenjem polikarbonati prolaze kroz reakciju ponovnog uređivanja. Na niskim nivoima kiseonika ova reakcija može proizvesti žuto obojene produkte kao što je O-dihidroksibenzofenon. Ali kada je ozračena dužim talasnim dužinama (uključujući vidljivu sunčevu svetlost) u prisustvu vazduha polikarbonati prolaze kroz oksidacione reakcije koje rezultuju formiranjem ostalih žutih produkata. Uprkos tome, detaljni mehanizmi niti posebni sastojci odgovorni za žućenje nisu još uvek potpuno razjašnjeni i otkriveni.

Polistiren koji je široko korišćen u građevinarstvu kao „pur pena“ i pakovanju, takođe prolazi kroz svetlošću izazvano žućenje. Prisustvo vazduha usporava proces i poreklo obojenosti opet nije poznato. To se dovodi u vezu sa sjedinjenim polienima, različitim oksidovanim vrstama ili produktima reakcija prstenastog otvaranja (Rabek et al, 1995).

Gubitak mehaničkog integriteta

Gubitak čvrstoće, otpornosti na udare i mehaničke celovitosti plastika izloženih UV zračenju je dobro poznat. Ove promene u mehaničkim osobinama ispoljavaju polimerni lanci zbog njihovog kidanja (i/ili unakrsnog povezivanja) kao rezultat fotodegradacije. Promene u viskoznosti i osobinama postojanosti polimernih gelova su bila korišćena da se prikažu molekularne promene tokom degradacije (Torikai et al , 1993).

Kod polietilene i polipropilena gubitak korisnih tenzionih osobina pri izloženosti sunčevom zračenju posebno zabrinjava. Oni su široko korišćeni u poljoprivredi kao folije za oblaganje i za staklene bašte, plastične cevi i baštenski nameštaj. Polietilenske folije izložene sunčevom UV-B zračenju brzo gube svoju osobinu rastegljivosti i jačinu (Hamid et al, 1991,1995), kao i svoju prosečnu molekulsku težinu (Andrady et al, 1993). Mehanizam, koji je jedan od termooksidacione ili fotooksidacione degradacije, je verovatniji od fotolize, a katalizator su prisutne metalne komponente. Slobodni radikali dovode do hidroperoksidacije i rezultujuće promene u lancu su slabo shvaćene (Shlyapnikov et al, 1996). Od svih polimera korišćenih na svetu, polietilen zauzima najveću godišnju potrošnju. Efikasna klasa zaštitnika od svetlosti su tzv.

HALS stabilizatori (Hindered amino light stabilizers). Oni se koriste da se obezbedi adekvatan vek korišćenja poliolefinim proizvodima predviđenim za spoljnu upotrebu pod različitim UV okruženjima.

Polivinilhlorid (PVC) se široko koristi u upotrebi u građevinarstvu , gde je otpornost na udare veoma značajan zahtev. Potrošnja PVC-a je mnogo veća u zemljama u razvoju i u tranziciji. Procenjuje se da će Azija trošiti više nego SAD, Kanada i EU zajedno (Gappert,1996). Poznato je da izloženost sunčevom UV zračenju smanjuje izdržljivost polimera na udare (Decker,1984). Kako površinski slojevi plastičnih materijala degradiraju,prah titanijum dioksida,korišćenog kao zaštita od bleđenja,se ispušta i može se čak formirati površinski sloj olabavljen dovoljno da se može otkinuti. Ovo je odgovorno za „mrvljenje“ PVC materijala koji su intezivno bili izloženi UV zračenju. Tenziona snaga i mogućnost širenja obrađenih PVC uzoraka takođe opada sa povećanjem izloženosti sunčevom UV zračenju i materijal konačno popuca (Decker, 1984). Slične promene se dešavaju pri izlaganju plastificiranog PVC-a u obliku krovnih pokrivača i izolacija kablova (Macumoto et al, 1984). Ostali polimeri takođe prolaze kroz gubitak mehaničkih otpornosti pri fotodegradaciji.

Tabela 1. Podaci spektralne osetljivosti iz eksperimenata sa izlaganjem monohromatskom zračenju talasnih dužina iz UV oblasti spektra

TIP MATERIJALA	UOČENO OŠTEĆENJE	(-)B	R2	Referenca
1. Polivinilhlorid				
1.1. Kruta komponenta 0% TiO2	Žućenje	0.035	0.95	1
0%TiO2		0.048	0.99	
2.5%TiO2		0.058	0.98	
5%TiO2		0.073	0.99	
1.2.Plastificirana komponenta	Promena tvrdoće	0.02	0.83	2
2.Polikarbonati				
2.1.Kruta folija	Žućenje	0.082	0.99	3
	Kv.dopr.kidanju lanaca	0.044	0.99	4
2.2.Filmovi	Promena u apsorpciji	0.059	0.88	5
	Kv.dopr.kidanju lanaca	nije linearno		6
3.Polimetilmetakrilat				
4.Lignoceluloza				
4.1.Mehanička pulpa	Žućenje	0.011	0.99	7
5.Chitosan				
5.1.Chitosan filmovi	Aps.310nm(260-320nm)	0.017	0.89	8
		nije linearno		
6.Vuna	Viskoznost			
	Žućenje	0.025	0.95	9

U tabeli 1 je: r- koeficijent korelacije, B- nagib prave linearne funkcije za dati polimer

Reference: 1-(Andrady,1989); 2-(Warner et al,1966); 3-(Andrady et al,1992); 4-(Torikai et al, 1993); 5-(Fukuda et al,1991); 6-(Mitsuoka et al, 1993); 7-(Andrady et al, 1991); 8-(Andrady et al, 1996); 9-(Lennox et al, 1971).

Osetljivost fotodegradacije od talasne dužine zračenja

Procena štete na materijalima ozračenim UV zračenjem zahteva razumevanje njihove spektralne osetljivosti. Podaci spektralne osetljivosti polimera su obično dobijeni iz monohromatskog zračenja koje je nastalo propuštanjem bele svetlosti kroz ksenonski (Xe) filter (čija je spektralna raspodela ozračenosti približno ista sunčevom zračenju na zemlji po jedinici mase vazduha). U eksperimentima zasnovanim na izlaganju materijala monohromatskom zračenju, efektivnost $A(1)$ u jedinicama oštećenja po upadnom fotonu (definisan kao količnik merene promene od značaja –DP prema broju upadnih fotona) je sadržana u nekoliko talasnih dužina ozračenosti. U većini slučajeva je linearna veza između logaritma efektivnosti oštećenja i talasnih dužina zračenja. Povećanje oštećenja po fotonu odgovara kraćim UV talasnim dužinama. Gradijent B u zavisnosti od prirodnog logaritma $A(1)$ je merenje zasnovano na monohromatskom zračenju. U tabeli 1 date su vrednosti B, koje označavaju osetljivost od talasne dužine zračenja na nekim polimerima iz literature (Andrady et al, 1998). Tu su prikazani laboratorijski rezultati izlaganja gde je korišćeno monohromatsko zračenje. Ovaj pristup zavisi od vrste oštećenja koje želimo da proučimo.

Kada se koriste beli izvori svetlosti, potrebna je serija filtera koji izoluju različite oblasti spektra (Andrady, 1997). Povećanje zračenja između dva filtera u nizu, zavisi od njihovog transmisivnog spektra $T(1)$ i raspodele spektra ozračenosti izvora $H(1)$.

$$\text{Povećanje} = H(1)(T_i(1) - T_{i+1}(1))$$

U tabeli 1. i 2. su prikazani podaci spektralne osetljivosti i intervali aktivacionih spektralnih intervala, respektivno, iz eksperimenata izlaganja polimera monohromatskom i simuliranom sunčevom zračenju.

U tabeli 2. izloženi podaci iz literature i skraćenice su:

- a) Svi podaci su dobijeni korišćenjem tehnike filtera koji odsecaju delove spektra, u kombinaciji sa filtriranim ksenonskim izvorom. Intervali talasnih dužina, koji su prikazani, označavaju maksimalna fotootštećenja koja postoje kod datih polimera.
- b) Skraćenice za plastike: ECO-(etilen ugljenmonoksid (1%)) kopolimer; PC-bisfenol A polikarbonatno platno; PVC- polivinilhlorid
- c) Materijali: 1. i 2.- novinski papir napravljen od mehaničke pulpe iz South Pine. Fotootštećenje je mereno u povećanju žućenja i optičkog sjaja papira(Andrady et al, 1991); 3.- podaci proračunati iz publikacije (Launer, 1965); 4.-kruti

PVC uzorak korišćen u oplati prozora, bez dodavanja TiO_2 kao zamračivača. U izostanku TiO_2 uzorak je ozračivan u razumnom vremenskom periodu u laboratorijskim uslovima. Izvor reference uključuje i podatke sa uzorkom sa zatamnivačem (Andradý et al, 1989); 5.-podaci za žućenje bisfenolnog A polikarbonatnog platna. Nađena je zavisnost oštećenja za talasne dužine ispod 315nm (Pyrdé, 1985); 6.-komercijalni bisfenol A polikarbonat sa apsorberom svetlosti, kao fotostabilizatorom, je korišćen da bi se moglo koristiti sunčevo zračenje kao izvor svetlosti (Andradý et al, 1991) 7.-podaci za prošireni, istrgnuti polistiren dizajniran da se brže ošteti pod dejstvom svetlosti nego obična smola;8.-podaci za polipropilen filmove (Zhang et al, 1996) 9.-polipropilen dobijen iz kalupa ; 10.- 13. Podaci o polietilenu (Andradý,1996); 14.- najlonska vlakna (Hu, 1996).

Tabela 2. Aktivacioni spektar za uobičajene polimere izložene simuliranom Sunčevom zračenju (filtrirani ksenonski izvor zračenja), objavljeno u literaturi, pokazuje interval talasnih dužina u kojima je najviše zastupljeno fotooštećenje

BR.	INTERVAL TALASNIH DUŽINA [nm]	POLIMER	OŠTEĆENJE
1.	333-358	novinski papir	žućenje
2.	358-377	novinski papir	bleđenje
3.	285-310	Vuna	žućenje
4.	298-320	PVC(kruti,0% TiO_2)	žućenje
5.	311-333	PC(nestabilizovan)	žućenje
6.	310-339	PC(stabilizovan)	žućenje
7.	310-344	polistiren pena	žućenje
8.	332-358	Polipropilen	spektroskopsko
9.	315-331	Polipropilen	rastegljivost
10.	332-358	Polietilen	spektroskopsko
11.	310-332	polietilen(izliveni)	rastegljivost
12.	324-338	polipropilen film	rastegljivost
13.	324-331	ECO film	rastegljivost
14.	333-380	Najlon	spektroskopsko

Podaci spektralne osetljivosti iz dva eksperimentalna pristupa (korišćenjem približno monohromatskog zračenja i korišćenjem belog svetlosnog izvora) su pretočeni u nekoliko pretpostavki:

1-Primenjiv je zakon reciprociteta

2-Efekti zračenja različitih talasnih dužina se sabiraju (nepostojanje sinergičnih ili antagonističkih efekata)

3-Apsorpcione karakteristike polimera nisu vremenski zavisne unutar intervala trajanja izlaganja zračenju

Čak i za uobičajene polimere nema dovoljno dostupnih podataka koji bi potvrdili ove pretpostavke. Ipak u slučaju PVC-a i materijala od mehaničke pulpe, aktivacioni spektar koji je korišćen, uspešno opisuje monohromatsku spektralnu osetljivost krivama u UV-B i UV-A oblastima talasnih dužina (Andrad, 1997).

4. OPIS EKSPERIMENTA I APARATURE

4.1. OPIS APARATURE

U radu je izvršeno merenje otpornosti na kidanje uzoraka najlona i polipropilena bez i sa prethodnim ozračivanjem UV zracima. Uzorci su bili u obliku komercijalnog ribarskog najlona (konca) prečnika 0,20 mm i 0,35 mm i polipropilenskih traka, izvađenih iz potke za proizvodnju podnih obloga, širine oko 1mm. Obe vrste uzoraka su bile efektivne dužne 10 cm, na koje je delovalo UV zračenje.

Prilikom proizvodnje vlakana najlonske niti izvlačenjem, se vrši i orijentacija polimernih lanaca. Time se utiče na mehaničke osobine polimera, jer su pre izvlačenja bili u granulama drukčijih mehaničkih osobina. Polipropilen je obrađen i potpuno orijentisan polimer.

Uzorci su ozračivani u različitim vremenskim intervalima, u setovima po deset uzoraka. Oni su bili pričvršćeni za drveni ram dimenzija 10 x 10 cm i postavljani ispod aparata koji emituje veštačko Sunčevo zračenje – „solarnog simulatora“.

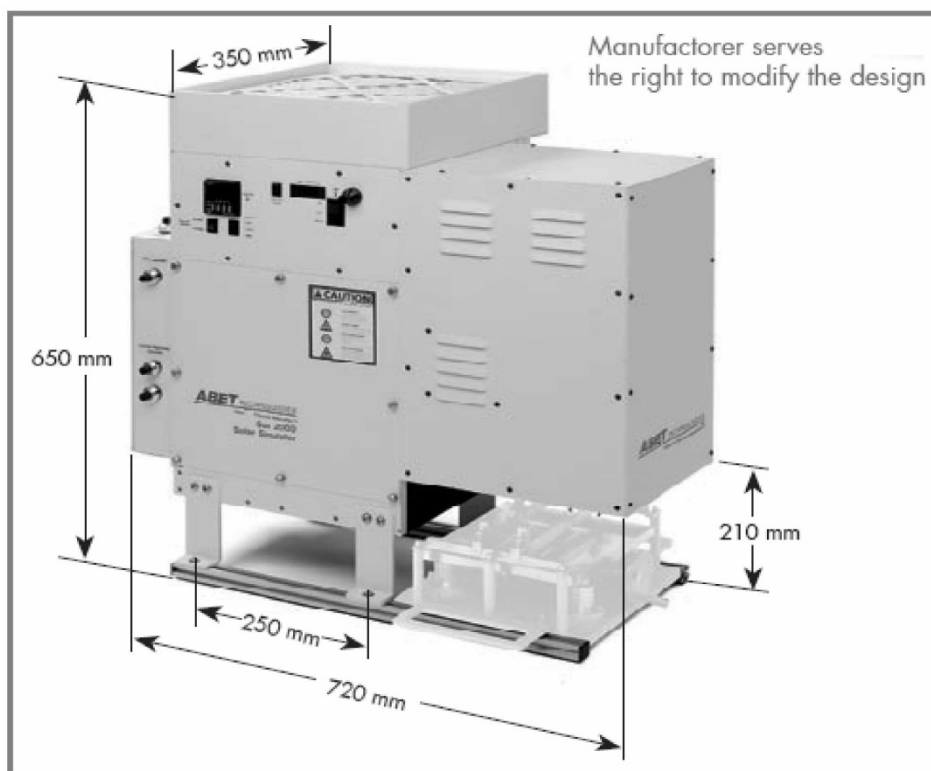
Mehaničko istezanje i konačno kidanje uzoraka je izvedeno pomoću mehaničke kidalice.

4.2. SOLARNI SIMULATOR

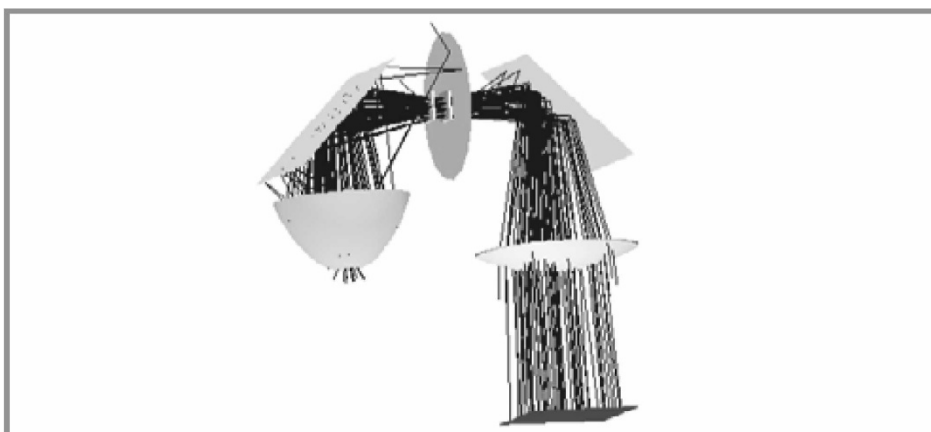
Ovaj svetlosni izvor je posebno razvijen i korišćen da simulira Sunčevo zračenje i zato se zove solarni simulator. On proizvodi jednoliki kolimisani (paralelni) snop svetlosti koji ima spektar blizak spektru Sunčeve svetlosti u UV oblasti. Postoji nekoliko tipova solarnih simulatora. Oni sadrže različite spektre i izlazno zračenje, zavisno od širine snopa zraka i filtera koji su korišćeni. Ovde su korišćene ksenonske

lučne lampe, jer je njihov izvor zračenja spektrom najpribližniji Sunčevom spektru zračenja. Ceo izvor, napajanje strujom, elektronska kontrola isključivanja, lampa i optička sredina su smešteni u kompaktno kućište dimenzija 750 x 650 x 350 mm. Deo kućišta sa lampom je uzdignut na visinu od oko 200 mm. Snop zraka ostaje uniforman na daljinama do 3 m. Dizajn omogućuje dobro balansiranu jedinicu, koja uglavnom sama stoji. Moguće su i neke promene u zavisnosti od posla u kom je potrebno ozračivanje. Čitav izvor i mogući elektromagnetni impulsi generisani prilikom paljenja lampe ostaju unutar kućišta.

Optički sistem se sastoji od elipsoidnog reflektora koji okružuje lampu i sakuplja preko 70% zračenja koje lampa ispusti. Zračenje je fokusirano na napredni homogenizator osvetljenja koji pravi uniformni skrenuti snop zraka. Ovaj snop je odbijen pomoću ogledala pod uglom od 90° na finalna sabirna sočiva. Izlazni snop je uniformno kolimisani snop. Optička sredina uređaja takođe sadrži elektronsko isključivanje, hlađenje optičkih delova, precizne optičke podešivače, filtere, ogledala, otvore i atenuatore (oslabljivače snopa) neophodne da bi se proizveo željeni spektralni oblik, jednolikost i nivo ozračivanja. Sistemi sa AM 1.5G filterom su opremljeni staklenim sočivima, dok ostali sadrže kvarcna sočiva. Za zamenu Xe-lampe nije potreban alat. Fokusiranje lampe ne izlaže korisnika bilo kakvim nivoima štetnog zračenja.



Slika 10. Solarni simulator



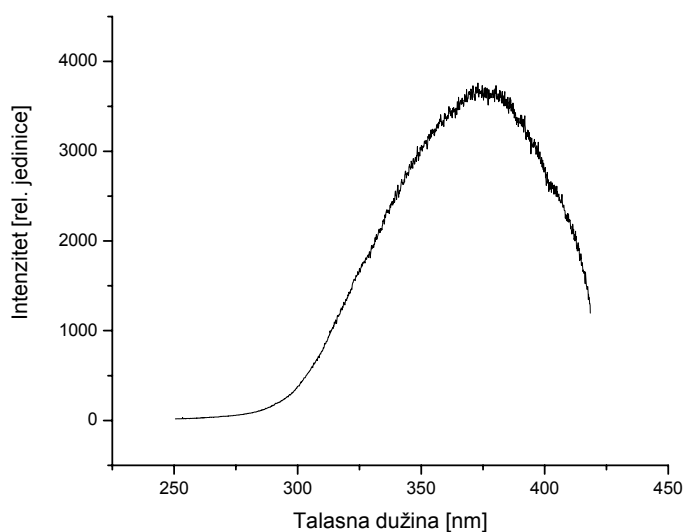
Slika 11. Optički sistem

Temperatura sijalica lučnih lampi ne bi trebala da dostigne 600-900°C zato što sijalica nije u stanju da izdrži visoki pritisak gasa koji nastaje zbog temperature, povezane sa promenom u kvarcnoj strukturi (rekristalizacija). Zbog potencijalne oksidacije strujnog provodnika temperatura utičnice ne sme da pređe 230°C. Lampe od 200W i jače, zahtevaju dodatno hlađenje osnovnih spojnih delova i za sijalice u lampama veće snage hlađenje je od suštinskog značaja. Bilo kakva prašina ili čestice nečistoće unutar optičkog sistema mogu da smanje osobine sistema i skrate životni vek kritičnih optičkih delova. Koriste se HEPA (High Efficiency Particulate Absorbing) filteri koji imaju ventilator za hlađenje, da bi se produžilo trajanje delikatnih optičkih komponenti. Sigurnosni osigurači će isključiti ceo sistem u slučaju prestanka rada ventilatora da ne bi došlo do pregrevanja. Osigurači na vratima isključuju sistem da bi sprečili izloženost pogubnom naponu, struji ili zračenju ako su vrata otvorena za vreme korišćenja aparata.

U zavisnosti od ugla pod kojim se zrači pripisuje se merna jedinica zvana vazдушna masa. Visina Sunca iznad horizonta ili ugao koji zaklapa sa vertikalom (zenitom) određuje vazдушnu masu. Vrednosti vazdušne mase su veće kada je Sunce niže na nebu. Na primer, vazдушna masa je 1 kada je Sunce direktno iznad i sklapa sa pravcem zenita ugao od 0°. Vazдушna masa je 2 kada je ugao 60°. Za spektar izvan Zemlje vazдушna masa je 0 zato što tada zraci ne prolaze kroz vazduh.

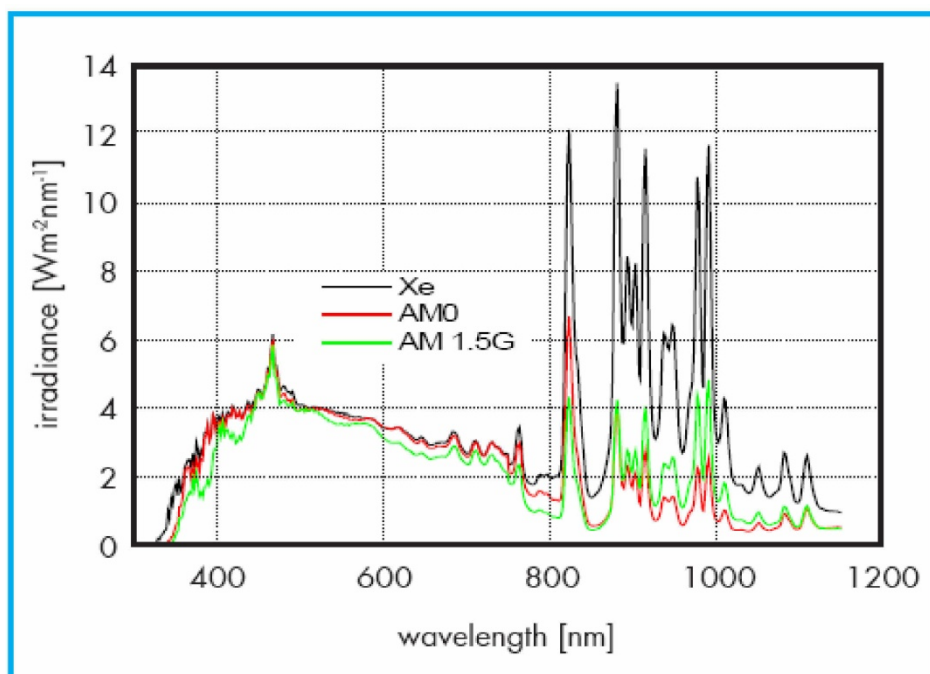
Serijski mrežni atenuatori omogućuju da se smanji snaga svetlosnog snopa. Uglavnom je potrebna simulacija zračenja Sunca (1000 W/m^2), ali na primer 4x4 inčni sistem zrači trostruko jače. Pored smanjenja snage na 2/3 kontrolisanjem struje, potrebno je koristiti i atenuatore da bi se dobilo zračenje približno jednog Sunca. Dostupni su atenuatori sa 23%, 33%, 40%, 50%, 63% i 79% slabljenja početnog snopa. Solarni simulatori približno sadrže UV deo spektra sličan Sunčevom. Pri korišćenju UV zračenja upotrebljava se dihroid ogledalo koje odbija talasne dužine od 280-400 nm, dok minimalizuje vidljivo i infracrveno zračenje. Moguće je

dodavanje različitih filtera koji blokiraju UV zračenje da bi se dobio željeni oblik spektra.



Grafik 1. Spektar UV zračenja solarnog simulatora

Na grafiku 1. je snimljeni spektar UV zračenja koje je korišćeno u eksperimentu, dok na slici 11. su prikazani različiti spektri solarnih simulatora u zavisnosti od prisutnih filtera.

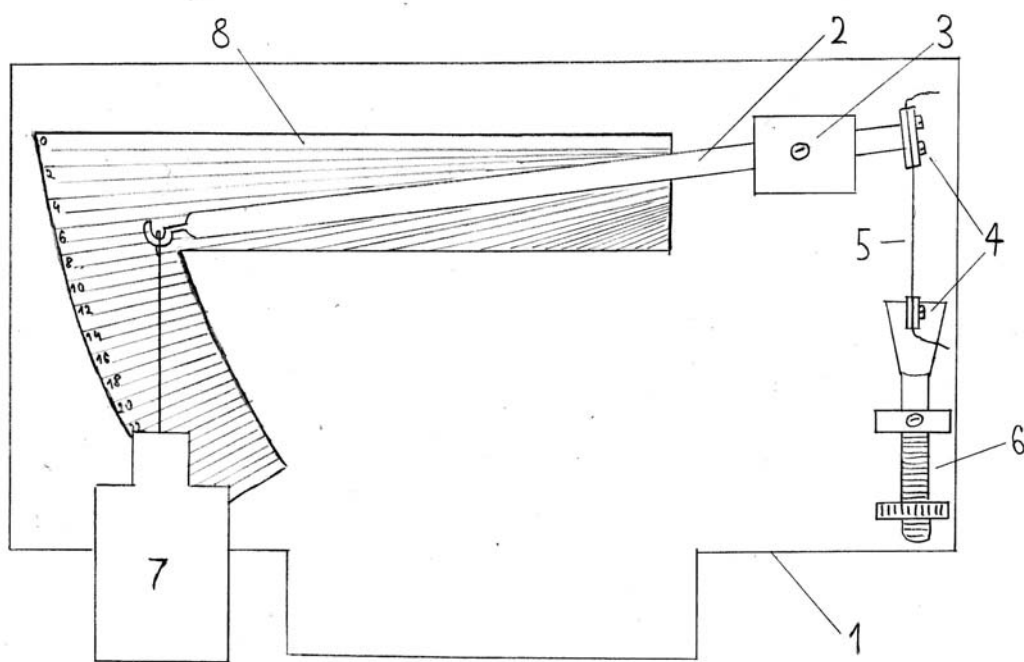


Slika 12. Spektri solarnog simulatora

4.3. MEHANIČKA KIDALICA

Sprava koja se koristi za testiranje mehaničke izdržljivosti uzoraka je mehanička kidalica (slika 12). Kidalica se nalazi na nosaču – ploči (1). Kidalica radi na principu poluge. Na jednom kraju šipke (2) se nalazi uzorak pričvršćen pomoću pločica sa šrafovimima (4). Na drugom kraju se nalazi opterećenje (7). Korišćeno opterećenje u vidu flaše sa vodom. Flaša je punjena vodom u određenom količinama i merilo se relativno istezanje uzorka (5) u odnosu na početnu dužinu. Prilikom svakog novog uzorka, merenja su vršena tako što bi se poluga pomoću zavrtnja (6) dovodila u nulti položaj, koji je označen na skali sa 0° (8). Oslonac poluge (3) je tako postavljen da omogućuje petostruko veću silu na uzorak nego što je težina opterećenja. Brojevima na slici 12. su prikazani sledeći delovi kidalice :

- 1- Nosač
- 2- Poluga (šipka)
- 3- Oslonac poluge
- 4- Pločica sa šrafovimima
- 5- Uzorak (najlon ili polipropilen)
- 6- Zavrtnj za nivelisanje nultog položaja
- 7- Opterećenje
- 8- Skala sa uglovima



Slika 13. Šematski prikaz kidalice

Korišćena kidalica u radu je " PITCH OF THREADS 1mm, PHILIP HARRIS Ltd, BIRMINGHAM, ENGLAND ".

5. REZULTATI MERENJA

U ovom delu diplomskog rada su dati rezultati merenja za dve vrste uzoraka: najlon i polipropilen.

Korišćen je najlon prečnika $R = 0.20$ mm, marke „FORMAX-AVANGER , X-class“, koji se često koristi u ribarstvu. Drugu grupu uzoraka predstavljaju polipropilenske trake širine 1 mm, dužine oko 10 cm i debljine deseti deo milimetra.

U tabeli 3. su prikazane vrednosti opterećenja (mase vode), koja dovode do pucanja za 10 uzoraka NEOZRAČENIH NAJLONA, kao i njihova srednja vrednost i standardna devijacija.

Tabela 3. Vrednosti optećenja pucanja za neozračeni najlon

BR. UZORKA	MASA VODE [g]
1.	383.90
2.	340.96
3.	242.79
4.	337.41
5.	242.34
6.	245.25
7.	356.80
8.	341.87
9.	434.05
10.	389.70

$$(m_v)_{sr} = 331.51 \text{ g} \quad \sigma(m_v) = 63.86 \text{ g}$$

$$(m_v)_{sr} = 332(64) \text{ g}$$

U tabeli 4. su prikazane vrednosti opterećenja (mase vode) koja dovode do pucanja 10 uzoraka OZRAČENIH NAJLONA sa UV svetlošću solarnog simulatora za vreme $t = 12$ h i pri intenzitetu $I = 26$ A, dana 19.04.2011.g. Prikazana je i njihova srednja vrednost i standardna devijacija.

Tabela 4. Vrednosti opterećenja pucanja za ozračeni najlon

BR. UZORKA	MASA VODE [g]
1.	350.00
2.	305.00
3.	300.00
4.	300.00
5.	295.44
6.	343.10
7.	245.45
8.	395.67
9.	398.54
10.	198.14

$$(m_v)_{sr} = 313.13 \text{ g} \quad \sigma(m_v) = 59.07 \text{ g}$$

$$(m_v)_{sr} = 313(59) \text{ g}$$

U tabeli 5. su prikazane vrednosti opterećenja (mase vode), koja dovode do pucanja NEOZRAČENIH TRAKA POLIPROPILENA, kao i srednja vrednost i standardna devijacija.

Tabela 5. Vrednosti opterećenja pucanja neozračenih traka polipropilena

BR. UZORKA	MASA VODE [g]
1.	591.76
2.	684.73
3.	690.12
4.	584.67
5.	661.50
6.	691.44
7.	591.99
8.	695.32
9.	494.32
10.	598.61

$$(m_v)_{sr} = 628.45 \text{ g} \quad \sigma(m_v) = 63.23 \text{ g}$$

$$(m_v)_{sr} = 628(63) \text{ g}$$

U tabeli 6. su prikazane vrednosti opterećenja (mase vode) koja dovode do pucanja OZRAČENIH POLIPROPILENSKIH TRAKA sa UV zračenjem u trajanju od $t = 13 \text{ h } 50 \text{ min}$, i pri jačini struje solarnog simulatora od $I = 26 \text{ A}$, dana 26.04.2011.g.

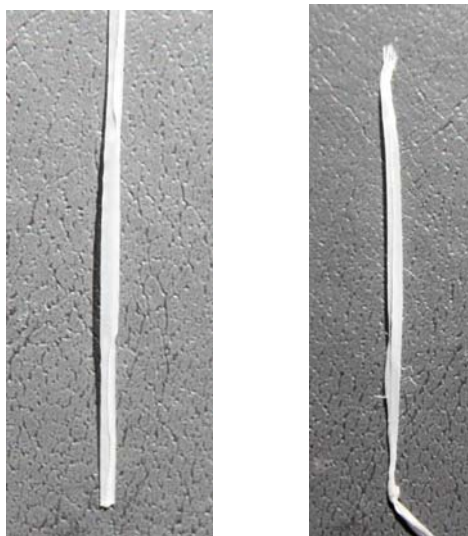
Tabela 6. Vrednosti opterećenja pucanja ozračenih polipropilenskih traka

BR. UZORKA	MASA VODE [g]
1.	596.70
2.	430.32
3.	605.44
4.	599.82
5.	604.09
6.	527.71
7.	600.72
8.	593.80
9.	597.24
10.	596.69

$$(m_v)_{sr} = 575.25 \text{ g} \quad \sigma(m_v) = 52.92 \text{ g}$$

$$(m_v)_{sr} = 575(53) \text{ g}$$

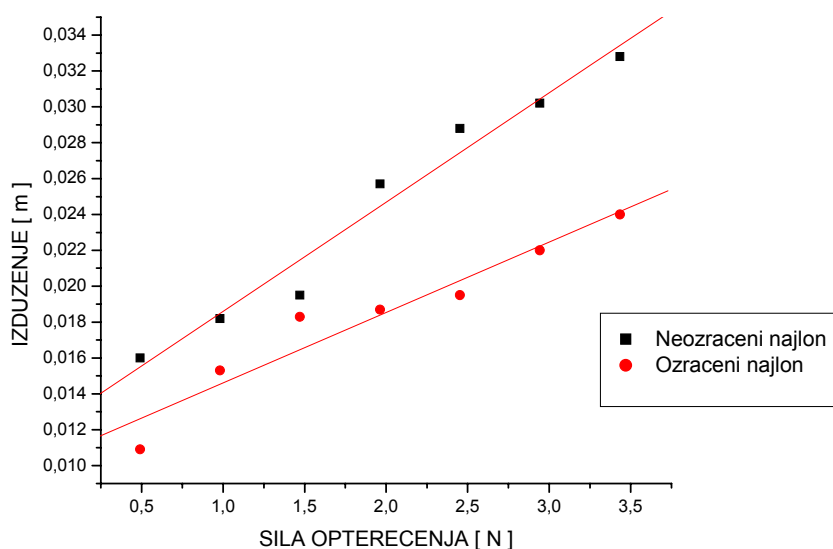
Iz priloženih rezultata, srednjih vrednosti i standardnih devijacija se može zaključiti da pri ozračivanju najlona nije došlo do očljiivije razlike u lakšem pucanju najlona pod datim dvanaestočasovnim ozračivanjem. Za razliku od toga kod polipropilena je uočeno dejstvo UV zračenja i njegovo lakše pucanje pri težinama vode manje nego kod neozračenog polipropilena. Zbog standardne devijacije , kod najlona se može reći da su srednje vrednosti dva merenja u okviru greške merenja i veoma bliske. Kod polipropilena razlika između dve srednje vrednosti je veća i može se reći da postoji efekat „ starenja“ od UV zračenja i pri kraćem izlaganju.



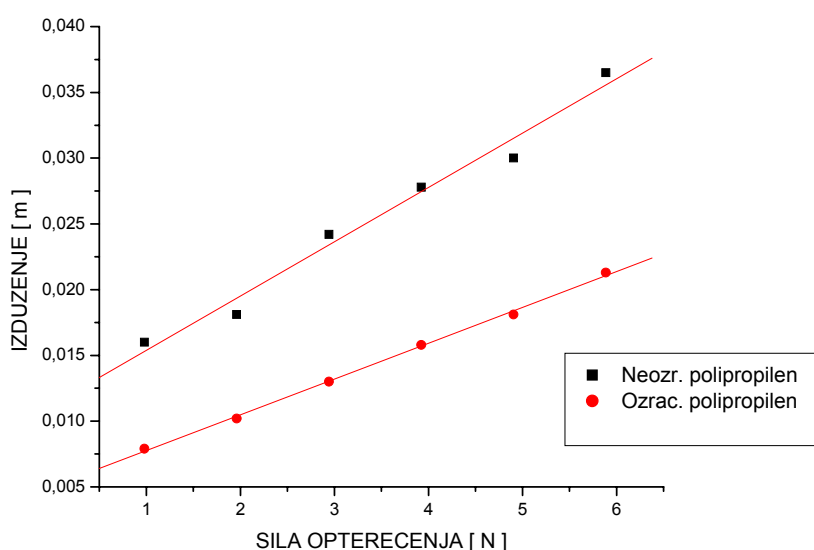
Slika 14. Uzorak polipropilena pre i posle kidanja

Na slici 14 je prikazan ozračeni uzorak polipropilena UV svetlošću, levo-pre pucanja, a desno posle pucanja. Vidi se da se uzorak sastoji od mnoštva niti koje se posle kidanja „rascvetaju“.

U radu je određivana i zavisnost izduženja uzoraka od opterećenja koju je predstavljala masa vode u flasi okačene o kidalicu. Grafici primera te zavisnosti su dati na grafiku 2. i grafiku 3. Na grafiku 2. je prikazana zavisnost izduženja najlona od opterećenja, za neozračeni i ozračeni UV zračenjem uzorak najlona. Na grafiku 3. su uporedo date zavisnosti izduženja polipropilena od opterećenja, za neozračeni i ozračeni UV zračenjem uzorak polipropilena.



Grafik 2. Zavisnost izduženja od opterećenja uzoraka najlona



Grafik 3. Zavisnost izduženja od opterećenja uzoraka polipropilena

Tabela 7. Vrednosti parametara linearne regresije iz grafika 2. i 3.

VRSTA MATERIJALA	PARAMETRI LINEARNE REGRESIJE			
	A [m]	B [m/N]	SD	R
Neozračeni najlon	0.0125(11)	0.0061(5)	0.00127	0.98432
Ozračeni najlon	0.0107(11)	0.0039(5)	0.00124	0.96471
Neozračeni polipropilen	0.0112(11)	0.0041(3)	0.00122	0.98977
Ozračeni polipropilen	0.0050(2)	0.00272(6)	0.000234	0.99912

Iz vrednosti parametara linearne regresije iz tabele 7., kao i sa grafika 2. i 3. se može izvesti zaključak da postoji linearna zavisnost između izduženja uzorka i primenjenog opterećenja. Ta zavisnost je oblika $y = A + Bx$, gde y predstavlja izduženje, x -opterećenje, A -odsečak na y -osi, a B je nagib prave što je u ovom slučaju koeficijent proporcionalnosti zavisnosti između izduženja uzorka i primenjene sile na uzorak. Zavisnost izduženja uzoraka od opterećenja postoji i u slučaju neozračenih i u slučaju ozračenih uzoraka najlona i polietilena.

U slučaju neozračenog najlona, koeficijent srazmernosti izduženja od sile opterećenja je veći nego kod ozračenog najlona. Iz toga se može izvesti zaključak da ozračeni najlon postaje krutiji i da lakše puca tj. pod dejstvom manje sile. Slično se može zaključiti i kod uzoraka polipropilena. Kod ozračenog polipropilena je takođe manji koeficijent srazmernosti B u odnosi na neozračeni polipropilen, što dovodi do smanjenja elastičnosti i bržeg pucanja.

Do promene elastičnih osobina pod dejstvom UV zračenja dolazi zbog skraćivanja i kidanja glavnih lanaca što se ogleda kao starenje materijala, između ostalog. Dejstvo UV zračenja je samo jedan od uzroka ovih pojava, dok na celokupno starenje utiču i drugi uzroci kao što je promena temperature, vlažnosti i ostalo.

Za detaljno objašnjenje promena mehaničkih osobina ispitivanih polimera usled dejstva UV zračenja, potrebno je izvršiti dodatne hemijske analize, koje bi dale informacije o promeni molekulskih masa, što bi eventualno dovelo do saznanja gde i u kojoj meri je došlo do kidanja glavnih lanaca.

6. ZAKLJUČAK

Cilj ovog diplomskog rada je bio da se ispita uticaj ultraljubičastog zračenja na starenje i mehaničke osobine uzoraka najlona i polipropilena, kao dva predstavnika klase veštačkih polimernih materijala. Iako u relativno kratkom izlaganju UV zračenju, ipak su dobijeni zadovoljavajući rezultati.

Prvi uočeni rezultat bio je lakše pucanje ozračenih polipropilenskih traka na mehaničkoj kidalici, nego neozračenih uzoraka. Zbog veće otpornosti na kratkotrajno izlaganje UV zračenju, ovaj rezultat nije uočen kod uzoraka najlona, jer za starenje najlona pod dejstvom UV zračenja je potrebno višemesečno izlaganje.

Drugi rezultat je bio potvrda linearne zavisnosti izduženja polimernih uzoraka najlona i polipropilena od primenjene sile opterećenja. Ustanovljeno je da ova zavisnost važi kako za neozračene, tako i za ozračene uzorke najlona i polipropilena.

Ovaj rad koristiti se može koristiti kao osnova u daljem izučavanju starenja i načina zaštite polimernih materijala od UV zračenja.

7. LITERATURA I INTERNET ADRESE

Allen, N.S 1983. *Degradation and Stabilization of Polyolefins*, Applied Science Publishers, London, pp. 373.

Andrady, A.L., Fueki, K. and Torikai, A. 1989. Photodegradation of rigid PVC formulations. I. Wavelength sensitivity of light induced yellowing by monochromatic light. *Journal of Applied Polymer Science* 37:935-946.

Andrady, A.L. and Pegram, J.E 1990. Weathering of polyethylene (LDPE) and enhanced photodegradable polyethylene in the marine environment, *Journal of Applied Polymer Science* 39:363-370.

Andrady, A.L., Pegram, J.E Tropsha, Y. 1993 Changes in carbonyl index and average molecular weight on embrittlement of enhanced photo-degradable polyethylene. *Journal of Environmental Degradation of Polymers* 1, 171-179.

Andrady, A.L., Fueki, K. and Torikai, A. 1991. Spectral sensitivity of polycarbonate to light-induced yellowing. *Journal of Applied Polymer Science* 42:2105-2107.

Andrady, A.L., Searle, N.D. and Crewdson, L.F. 1992. Wavelength sensitivity of stabilized and unstabilized polycarbonate to solar-simulated radiation. *Polymer Degradation and Stability* 35:235-247.

Andrady, A.L., Pegram, J.E. and Tropsha, Y. 1993. Changes in carbonyl index and average molecular weight on embrittlement of enhanced photo-degradable polyethylene. *Journal of Environmental Degradation of Polymers* 1:171-179.

Andrady, A.L., Torikai, A. and Kobatake, T. 1996. Spectral sensitivity of chitosan photodegradation. *Journal Applied Polymer Science* 62:1465-1471.

Andrady, A.L. 1997. Wavelength sensitivity in polymer photodegradation. *Advances in Polymer Sciences* 128:49-94.

Burn, L.S. 1994. Lifetime prediction of uPVC pipes - experimental and theoretical comparisons. *Plastics Rubber and Composites Processing and Applications* 21:99-108.

Decker, C. 1984. Photodegradation of PVC. In *Degradation and Stabilization of PVC*, Owen, E.D. (ed.), Elsevier Applied Science Publishers, London, p. 81-136.

Ghaffar, A., Scott, G.A. and Scott, G. 1976. The chemical and physical changes occurring during U.V. degradation of high impact polystyrene. *European Polymer Journal* 11:271-275.

- Factor, A., Ligon, W.V. May, R.J. and Greenberg, F.H. 1987. Recent advances in polycarbonate photodegradation. In *Advances in Stabilization and Controlled Degradation of Polymers II*, Patsis, A.V. (ed.), Technomic Publishing Company. Lancaster Pa., pp. 45 - 58.
- Factor, A. 1995. Search for the sources of color in thermally aged, weathered, and gamma-ray irradiated Bisphenol A Polycarbonate. *Die Angewandte Makromolekulare Chemie* 232:27-43.
- Forsskåhl, I. and Tylli, H. 1993. Light-induced yellowing of wood-containing papers. In *Photochemistry of Lignocellulosic Materials*, Heitner, C. and Sciano, J.C. (eds.), ACS Symposium Ser. 531 American Chemical Society, p. 45-59.
- Fukuda, Y. and Osawa, Z. 1991. Wavelength effect on the photodegradation of polycarbonate and poly(methyl methacrylate). *Polymer Degradation and Stability* 34:75-80.
- Gappert, G. 1996. *Vinyl 2020: Progress, Challenges, Prospects for the next Quarter Century*, The Vinyl Institute, Morristown New Jersey 07960.
- Gardette, J., Lemaire, J. 1991. Photothermal and thermal oxidations of rigid, plasticized and pigmented poly(vinyl chloride). *Polymer Degradation and Stability* 34:135-167.
- Gugumus, F. 1993. Re-evaluation of the stabilization mechanisms of various light stabilizer classes. *Polymer Degradation and Stability* 39:117-135.
- Hamid, H. 1998. Unreported data. Personal communication.
- Hamid, S.H., Amin, M.B. and Maadhah A.G. 1995. Weathering degradation of polyethylene. In *Handbook of Polymer Degradation*, Hamid, S.H., Amin, M.B. and Maadhah A.G. (eds), Marcel Dekker Inc. New York.
- Hamid, S.H., Pritchard, W. 1991. Mathematical modelling of weather-induced degradation of polymer properties. *Journal of Applied Polymer Science* 43:651-678.
- Heitner, C. 1993. Light-induced yellowing of wood-containing papers. In *Photochemistry of Lignocellulosic Materials*. Heitner, C. and Sciano, J.C. (eds.), ACS Symposium Ser. 531 American Chemical Society. p. 3-25.
- Hirt, R.C. and Searle, N.D. 1967. Energy characteristics of outdoor and indoor exposure sources and their relation to the weatherability of plastics. *Applied Polymer Symposia* 4:61-83.
- Ho, B.Y.K 1984. Development of light-stable PVC stabilizer systems for rigid weatherable applications. *Journal of Vinyl Technology* 6:162-166.
- Hon, D.N.-S. 1991. Photochemistry of wood. In *Wood and Cellulosic Chemistry*. Hon, D.N.-S. and Shiraishi, N. (eds.), Marcel Dekker, Inc. New York, pp. 525-556.
- Hu, X. 1997. Wavelength sensitivity of photooxidation of polyethylene. *Polymer Degradation and Stability* 55:131-134.

- Hu, X. 1998. Wavelength sensitivity of photooxidation of polyamide 6. (Manuscript accepted for publication by *Polymer Degradation and Stability*).
- Hussein, I., Hamid, S.H. and Khan, J.H. 1995. Poly(vinyl chloride) pipe degradation studies in natural environments. *Journal of Vinyl and Additive Technology* 1:137-141.
- Jahan, M.S., Drouin, T.R. and Sayre, R.M. 1987. Effect of humidity on photoinduced ESR signal from human hair. *Photochemistry and Photobiology* 45:543-546.
- Keller A., *Introduction to Polymeric Structure and Properties* in March N., Tosi M., *Polymers Liquid Crystals and Low-Dimensional Solids*, New York, 1984
- Lapshin R.V., Alekhin A.P., Kirilenko A.G., Odintsov S.L., Krotkov V.A., 2010. Vacuum ultraviolet smoothing of nanometer-scale asperities of poly(methyl methacrylate) surface. *Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques* (Russia:Pleiades Publishing) 4 (1) : 1-11.
- Launer, H.F. 1965. Effect of light upon wool. part IV: Bleaching and yellowing by sunlight. *Textile Research Journal* 35:395-400.
- Lennox, F.G., King, M.G., Leaver, I.H., Ramsay, G.C., Savige, W.E. 1971. Mechanisms of prevention and correction of wool photoyellowing. *Applied Polymer Symposium* 18:353-369.
- Mader, F.W. 1992. Plastics waste management in Europe. *Die Makromolekulare Chemie, Macromolecular Symposia* 57:15-31.
- Matsumoto, S., Oshima, H., Hasuda, Y. 1984. Natural and induced weathering of plasticized poly(vinyl chloride). *Journal of Polymer Science, Polymer Chemistry Edition* 22:869-871.
- Mitsuoka, T., A. Torikai, K. Fueki, 1993. Wavelength sensitivity of the photodegradation of poly(methyl methacrylate). *Journal of Applied Polymer Science* 47:1027-1032.
- Moore, S. 1994. Construction offers window of opportunity to plastics. *Modern Plastics* April:46-48.
- Owen, E.D. 1984. Degradation and Stabilization of PVC, Degradation and Stabilization of PVC, Elsevier Applied Science Publishers, New York, p. 320.
- Pan, J. and Cui, S. 1993. Study of the photolysis of a commercial hindered amine light stabilizer. *Polymer Degradation and Stability* 40:375-378
- Petrović D., Lukić S., *Eksperimentalna fizika kondenzovane materije*, Novi Sad, 2000.
- Pyrde, C.A. 1985. Photoaging of polycarbonate: effects of selected variables on degradation pathways. In *Polymer Stabilization and Degradation*, Klemchuk, P.P. (ed.), Symp. Ser. 280 American Chemical Society, p. 329-353.
- Rabek, J.F. 1995. *Polymer Photodegradation*, Chapman and Hall, London, England.

- Rabonavitch, E.B., Queensberry, J.G. and Summers, J.W. 1983. Predicting heat buildup due to sun's energy. *Journal of Vinyl Technology* 5:110-115. Hussein, I., Hamid, S.H. and Khan, J.H. 1995. Poly(vinyl chloride) pipe degradation studies in natural environments. *Journal of Vinyl and Additive Technology* 1:137-141.
- Rakić D., *Konstrukcija i kalibracija hidrostatičke gradijentne kolone za određivanje gustine polimernih materijala*, diplomski rad, Novi Sad, 1996.
- Rivaton, A. and Lemaire, J. 1988. Photooxidation and thermooxidation of tetramethyl-bisphenol-A polycarbonate. *Polymer Degradation and Stability* 23:51-73.
- Scott, G. 1990. *Polymer Degradation and Stabilization*, Elsevier Applied Science Publishers, London.
- Scott, G. 1985. *New Trends in the Photochemistry of Polymers* Elsevier Applied Science Publishers, London.
- Shlyapnikov, Y.A., Kiryushkin, S.G. and Martin, A.P 1996. *Antioxidative Stabilization of Polymers*, Taylor and Francis Publishers Ltd, London, England.
- Summers, J.W. 1983. Formulations for vinyl housing siding: History, present, future. *Journal of Vinyl Technology* 5:43-46.
- Titow, W.V. 1984. *PVC Technology*. Fourth Edition. Elsevier Applied Science Publishers, New York. pp. 1233
- Torikai, A., Kobatake, T. and Okisaki, F. 1998. Photodegradation of polystyrene containing flame retardants. *Journal of Applied Polymer Science* 67:1293-1300.
- Torikai, A., Mitsuoka, T. and Fueki, K. 1993a. Wavelength sensitivity of the photo-induced reactions in polycarbonate. *Journal of Polymer Science. A: Chemistry* Edition 31:2785-2788.
- Torikai, A., Kato, H. Fueki, K. Suzuki, Y. Okisaki, A. and Nagata, M. 1993b. Photodegradation of polymer materials containing flame-cut agents. *Journal of Applied Polymer Science* 50:2185-2190.
- Torikai, A., Chigata, K. and Fueki, K. 1993c. Photodegradation of incombustible polymer materials. *Polymer Preprints. Japan* 42:2045-2047.
- Warner, W.C., Gruber, E.E. 1966. Light aging of a polyblend film under interference filters, *I&EC Product Research and Development* 5:219-229.
- Wypych, J. 1990. *Weathering Handbook*. Chemtec Publishing, Toronto, Canada, pp. 512.
- Zhang, Z., Hu, X. and Luo Z. 1996. Wavelength sensitivity of photooxidation of polypropylene. *Polymer Degradation. and Stability* 51:93-97.

[http:// en.wikipedia.org/w/index.php?title=Polymer_degradation&action=history](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Polymer_degradation&action=history)

<http://www.gcric.org/UNEP1998/UNEP98p63.html>

<http://www.gcric.org/UNEP1998/UNEP98p64.html>

<http://www.gcric.org/UNEP1998/UNEP98p65.html>

<http://www.lot-oriel.com/files/downloads/abef/en/solarsimulators.pdf>

8. BIOGRAFIJA



Veljko Zdjelar je rođen 31.12.1981.godine

U Novom Sadu.Osnovnu školu „ Jovan Dučić“ je

završio u Petrovaradinu, gde i živi. Od 1997.je bio

učenik gimnazije „ Jovan Jovanović Zmaj“ u Novom

Sadu, smer matematičko-informatički. Po završetku

srednje škole, 2001.godine, upisao je Prirodno-ma-

tematički fakultet u Novom Sadu na departmanu za

fiziku, smer diplomirani fizičar.

Univerzitet u Novom Sadu
Prirodno-matematički fakultet
Ključna dokumentacijska informacija

Redni broj: RBR	
Identifikacioni broj: IBR	
Tip dokumentacije: TD	Monografska dokumentacija
Tip zapisa: TZ	Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada: VR	Diplomski rad
Autor: AU	Veljko Zdjelar
Mentor: MN	Zoran Mijatović
Naslov rada: NR	Dejstvo UV zračenja na polimerne materijale
Jezik publikacije: JP	srpski (latinica)
Jezik izvoda: JI	srpski/engleski
Zemlja publikovanja: ZP	Srbija
Uže geografsko područje: UGP	Vojvodina
Godina: GO	2011
Izdavač: IZ	autorski reprint
Mesto i adresa: MA	Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

Fizički opis rada: FO	(broj poglavlja / strana / lit. citata / tabela / slika / grafika / priloga) (8/37/63/7/14/3/0)
Naučna oblast: NO	Fizika
Naučna disciplina: ND	Fizika materijala
Predmetna odrednica, ključne reči: PO	Polimeri, UV zračenje
UDK	
Čuva se: ČU	Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu
Važna napomena: VN	nema
Izvod: IZ	U radu su prikazani rezultati merenja dejstva UV zračenjana kidljivost najlona i polietilena. Pokazana je zavisnost izduženja tih polimera od sile opterećenja.
Datum prihvatanja teme od strane NN veća: DP	16.8.2011.
Datum odbrane: DO	26.8.2011.
Članovi komisije: (naučni stepen/ime i prezime/zvanje/fakultet) KO	predsednik: Dr. Vladimir Divjaković, redovni profesor član: Dr. Zoran Mijatović, redovni profesor član: Dr. Željka Cvejić, docent

University of Novi Sad
Faculty of Natural Sciences And Mathematics
Key word documentation

Accession number: ANO	
Identification number: INO	
Document type: DT	Monograph documentation
Type of record: TR	Textual printed material
Contents code: CC	Final paper
Author: AU	Veljko Zdjelar
Mentor: MN	Zoran Mijatovic
Title: TI	Effect of UV radiation on polymeric materials
Language of text: LT	Serbian (Latin)
Language of abstract: LA	English/Serbian
Country of publication: CP	Serbia
Locality of publication: LP	Vojvodina
Publication year: PY	2011
Publisher: PU	Author's reprint
Publ. place: PP	Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Trg Dositeja

	Obradovica 4, Novi Sad
--	------------------------

Physical description: PD	(chapters/pages/literature/tables/ pictures/graphics/additional lists) (8/37/63/7/14/3/0)
Scientific field SF	Physics
Scientific discipline SD	Physics of materials
Subject Key words SKW	polymers, UV radiation
UC	
Holding data: HD	Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovica 4, Novi Sad
Note: N	None
Abstract: AB	In this work are shown the results of measurement the effect of UV radiation on tearing of nylon and polyethylene. It is shown the functional dependence of stretching of this polymers under a use of force.
Accepted on Scientific Board on: AS	16.8.2011.
Defended: DE	26.8.2011.
Thesis Defend board: DB	president: Dr. Vladimir Divjaković member: Dr. Zoran Mijatović member: Dr. Željka Cvejić