

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

LAURA STRUPAR

**RECIKLIRANJE STAKLOPLASTIKE**

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

## **RECIKLIRANJE STAKLOPLASTIKE**

STUDENTICA:

**Laura Strupar**

bacc.ing.geoing.

bacc.oec.

MENTORICA:

**Aleksandra Anić Vučinić,**

doc.dr.sc., dipl.ing.

prehrambene tehnologije

VARAŽDIN, 2016.



Sveučilište u Zagrebu  
Geotehnički fakultet



## ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnica: LAURA STRUPAR  
Matični broj: 97-2014./2015.  
Smjer: INŽENJERSTVO OKOLIŠA

### NASLOV DIPLOMSKOG RADA:

RECIKLIRANJE STAKLOPLASTIKE

Rad treba sadržati: 1. Uvod  
2. Opći dio  
3. Recikliranje stakloplastike  
4. Rezultati ispitivanja  
5. Zaključak  
6. Literatura

Pristupnica je dužna predati mentoru jedan uvezen primjerak diplomskog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade diplomskog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 15.07.2016.

Rok predaje: 02.09.2016.

Mentor:

Doc.dr.sc. Aleksandra Anić Vučinić

Predsjednica Odbora za nastavu:

Doc.dr.sc. Sanja Kovač



## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom

RECIKLIRANJE STAKLOPLASTIKE

(naslov diplomskog rada)

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **doc.dr.sc. Aleksandre Anić Vučinić**.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 02.09.2016.

Laura Strupar

(Ime i prezime)

05263496183

(OIB)

*Laura Strupar*

(Vlastoručni potpis)

## *ZAHVALA...*

*Zahvaljujem svojoj mentorici doc.dr.sc. Aleksandri Anić Vučinić na angažmanu oko prikupljanja uzoraka stakloplastike, te njezinoj asistentici Ivani Melnjak na pruženoj pomoći i angažmanu oko analize uzorka.*

*Zahvaljujem djelatnicima Laboratorija za geokemiju okoliša koji su proveli potrebne analize.*

*Najviše se zahvaljujem svojoj obitelji koja mi je omogućila studiranje, te na velikoj podršci, pomoći i razumijevanju tijekom studiranja.*

*Najljepše se zahvaljujem svojem zaručniku Luki koji mi je bio velika podrška tijekom pisanja diplomskog rada te je imao razumijevanja i strpljenja za moje obaveze tijekom studiranja.*

*„Tko ne zna, a ne zna da ne zna; opasan je, izbjegavajte ga.*

*Tko ne zna, a zna da ne zna; dijete je, naučite ga.*

*Tko zna, a ne zna da zna; spava, probudite ga.*

*Tko zna, i zna da zna; mudar je, sljedite ga.“*

*Konfucije*

## SAŽETAK

**Ime i prezime:** *Laura Strupar, bacc.ing.geoling, bacc.oec.*

**Naslov rada:** *Recikliranje stakloplastike*

**Mentorica:** *doc.dr.sc. Aleksandra Anić Vučinić*

U diplomskom radu opisani su polimerni kompoziti, te je posebno obrađena stakloplastika. Opisani su neki literaturni primjeri načina zbrinjavanja i obrade stakloplastike. U razradi teme su obrađena tri načina recikliranja stakloplastike, a to su mljevenje, spaljivanje i piroliza. Nakon teorijskog dijela rada, obrađeni su rezultati leaching testa uzorka stakloplastike te rezultati spaljivanja. Uzevši sve u obzir, dano je mišljenje o prikladnim načinima recikliranja otpadne stakloplastike.

**Ključne riječi:** stakloplastika, recikliranje stakloplastike, leaching test, spaljivanje

## **Sadržaj**

1. UVOD.....	1
2. OPĆI DIO.....	2
2.1. POLIMERNI KOMPOZITI.....	2
2.1.1. Polimerna matrica (smola) .....	4
2.1.2. Vlakna kao ojačalo .....	5
2.1.3. Punila i dodaci.....	10
2.1.4. Svojstva polimernih kompozita .....	10
2.2. STAKLOPLASTIKA.....	12
2.3. ZAKONSKA REGULATIVA REPUBLIKE HRVATSKE .....	14
3. RECIKLIRANJE STAKLOPLASTIKE .....	20
3.1. LITERATURNI PRIMJERI NAČINA ZBRINJAVANJA I OBRAD STAKLOPLASTIKE.....	24
3.2. METODOLOGIJA.....	29
3.2.1. Spaljivanje .....	29
3.2.2. Leaching test.....	30
4. REZULTATI ISPITIVANJA.....	35
4.1. REZULTATI SPALJIVANJA.....	35
4.2. REZULTATI LEACHING TESTA .....	37
5. ZAKLJUČAK.....	39
6. LITERATURA.....	40
POPIS SLIKA.....	43
POPIS TABLICA.....	44

## **1. UVOD**

U današnje vrijeme sve je bitnije da se proizvodi sastoje od što lakšeg i dugotrajnijeg materijala, ali isto tako da taj materijal ne bude preskup. Isto tako je jasno i znanstveno dokazano da je tehničko – tehnološki razvoj na Zemlji toliko ubrzao potrošnju fosilnih goriva da je upitan prirodni obrambeni sustav koji bi se mogao uspješno oduprijeti sve složenijem i opasnijem onečišćenju okoliša, te se i zbog toga traže alternative fosilnim gorivima.

U želji da zaštitimo okoliša, okrećemo se prema metodama odlaganja otpada koje su blagonaklone prema okolišu te sve više koristimo metode odvajanja otpada, recikliranja, ponovno upotrebe i slično.

*Recikliranje* znači svaku operaciju prerade otpada kojom se otpadni materijali vraćaju u proizvodni proces u obliku proizvoda, materijala ili sastojaka zbog originalne ili druge svrhe, osim upotrebe kao gorivo. *Odlaganjem* se smatra odlaganje otpada u ili na zemlji, uključujući i posebno odlaganje i privremeno skladištenje više od godinu dana, dok se *spaljivanje* odnosi na proces toplinske obrade otpada u postrojenju za spaljivanje – spalionici.



## **2. OPĆI DIO**

### **2.1. POLIMERNI KOMPOZITI**

Polimerni kompoziti su materijali današnjice i još više sutrašnjice jer zadovoljavaju pojedinačne i društvene potrebe u nizu područja i njihova primjena se širi diljem svijeta. Polimerni kompoziti počeli su se upotrebljavati uglavnom kao zamjena tradicijskih materijala, prvenstveno metala.

Prije nekoliko desetljeća polimerni kompoziti bili su namijenjeni samo za svemirske i vojne programe. Primjena polimera i polimernih kompozita raste, a najčešće služe za izradu dijelova vozila i strojeva, zrakoplova, plovila, automobila, opruga, ovjesa, u medicini za proteze i vanjske fiksatore, a zadnjih godina se primjenjuju i u području građevinarstva, posebno u gradnji novih i sanacijama već izvedenih konstrukcija. Prednosti primjene kompozitnih materijala vide se kroz uštedu na ukupnoj masi proizvodi, ali i na performansama. U usporedbi s drugim materijalima, polimerni kompoziti imaju malu težinu uz veliku čvrstoću, stabilnost oblika, dinamičku otpornost, kemijsku postojanost kao i postojanost prema toplini te trajnost. Kompozitni materijali donose uštedu u smislu troškova proizvodnje jer omogućavaju lakšu obradu, a time i manju potrošnju energije. [1]

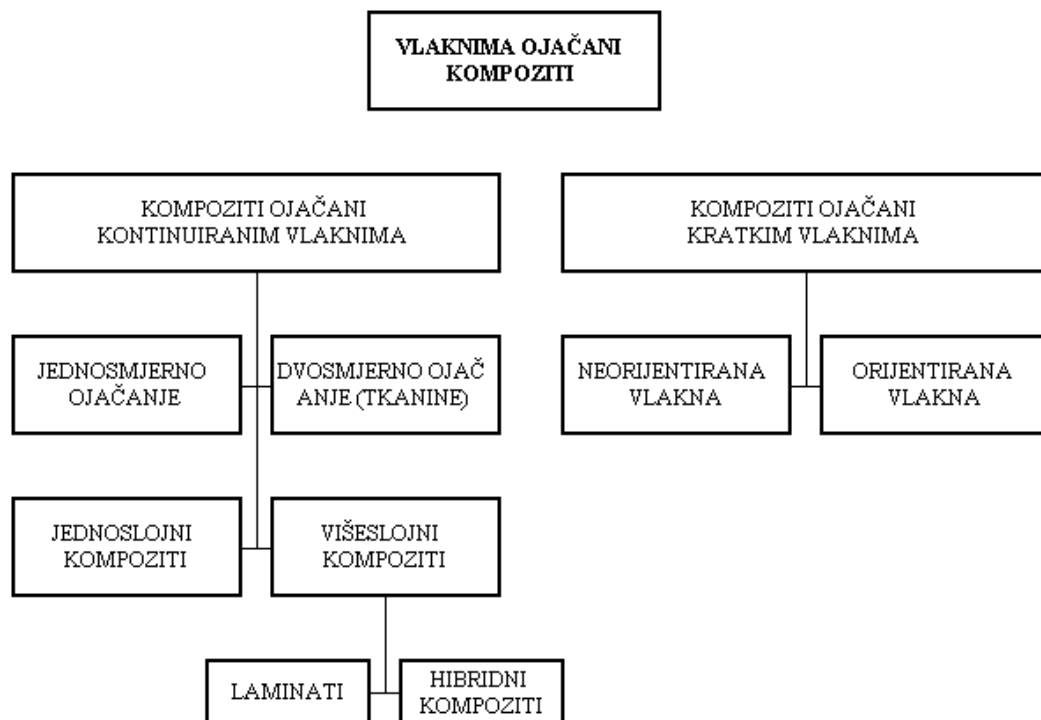
Kompoziti su dvo ili više fazni sustavi koji pokazuju bolja svojstva od svake sastavne komponente posebno, a sastoje se od ojačanja (vlakana) i matrice (smole). Svojstva kompozita određena su svojstvima osnovnih komponenata, njihovim sadržajem, vrstom i orijentacijom ojačanja te kvalitetom veze vlakno/matrica. Glavne karakteristike kompozita su:

- mala gustoća
- visoka čvrstoća
- visoka specifična čvrstoća
- visoka specifična krutost
- konstrukcijska prilagodljivost

- mogućnost orijentiranosti vlakana
- velika mogućnost kombinacije smola/vlakno
- dobra otpornost na abraziju
- visoka otpornost na koroziju
- dimenzijska stabilnost
- odlične prigušene karakteristike
- mala sposobnost prenošenja buke
- trajnost
- mali utrošak potrebne energije za proizvodnju.

Klasifikacija kompozita može se provesti prema vrsti matrice (polimerna, metalna, keramička) i prema vrsti vlakana (kontinuirana, kratka), što možemo vidjeti na slici 1.

Osnovne komponente polimernog kompozita su polimerna matrica i vlakno kao ojačanje. Uz osnovne komponente u sastav kompozita ulaze još i inicijatori reakcije polimerizacije (ubrzivači, očvršćivači, inhibitori), punila i dodaci. [2]



Slika 1. Klasifikacija kompozita prema vrsti ojačanja

### **2.1.1. Polimerna matrica (smola)**

Dvije su vrste polimernih matrica: duromeri i plastomeri.

*Duromeri* su jedna od temeljnih skupina sintetskih polimernih materijala. Sastoje se od gusto prostorno umreženih makromolekula, velike su čvrstoće, tvrdoće i toplinske postojanosti [3]. Najčešće se kao duromerna matrica upotrebljavaju nezasićene poliesterske smole u kombinaciji sa staklenim vlaknima i epoksi smole s ugljičnim i organskim (Kevlar) vlaknima. Plastične matrice su, osim polipropilena koji ima najmasovnije tržište, još i poliamidi, polikarbonati, polisulfati, polieterketoni i dr.[2]

Mehanička svojstva obiju (poliesterskih i epoksi) smola ovise o strukturi osnovnih komponenata te o dužini i gustoći poprečnih lanaca. Epoksi smole imaju veću čvrstoću i modul elastičnosti, manje stezanje pri otvrdnjavanju i niži koeficijent toplinskog širenja te veću čvrstoća veze između matrice i vlakana. Međutim, njihov je nedostatak viša viskoznost u tekućem stanju i znatno su skuplje [2].

*Plastomeri* su sintetski polimerni materijali iz skupine poliplasta koji su topljivi i taljivi. Zagrijavanjem do temperature mekšanja ili taljenja ne mijenja im se kemijska struktura, pa je njihova preradba samo proces povratne promjene agregatnoga stanja [4].

Za razliku od duromera plastomeri nisu umreženi. Njihovu čvrstoću i krutost određuju svojstva monomera i vrlo visoka molekularna težina. Plastomerne matrice uglavnom se upotrebljavaju u kombinaciji s kratkim vlaknima (1,3mm dužine) za proizvode koji se izrađuju postupkom injekcijskog prešanja. Tri najčešće upotrebljavane matrice su polipropilen, poliamid i polikarbonat. [2]

### **2.1.2. Vlakna kao ojačalo**

Kao ojačalo polimerne matrice koriste se vlakna, najviše staklena, ugljična i aramidna. Od anorganskih u manjoj mjeri se koriste borna, a od organskih poliamidna, poliakrilna, poliesterska i polietilenska. [2]

#### Staklena vlakna

Staklena vlakna su najviše upotrebljavana ojačala za plastomerne i duromerne kompozite. Na slici 2 je prikazan primjer staklenih vlakana, kao i njihova primjena.

Glavne prednosti upotrebe staklenih ojačanja su:

- visok omjer čvrstoća/težina
- dimenzijska stabilnost
- postojanost na povišenoj temperaturi
- postojanost na koroziju
- dobra električna svojstva
- relativno jednostavna proizvodnja
- niska cijena.

Stakleni filament dobiva se raznim tehnološkim postupcima iz staklene taline, zatim se nanosi apretura<sup>1</sup> koja štiti vlakna od oštećenja i omogućuje vezu između površine vlakna i različitih smola.

---

<sup>1</sup> Apretura (franc.) – postupak kojim se proizvodu (koži, papiru, krznu, os.tkanini) daje ljepši izgled (sjaj) i poboljšava kakvoću (čvrstoća, nepromočivost) [<http://www.hrleksikon.info/definicija/apretura.html>]



(a)



(b)

Slika 2. Primjeri staklenih vlakana

(a) staklena vlakna; (b) primjena staklenih vlakana u izradi čamca

Tri su najpoznatija tipa staklenih vlakana:

- *E – staklo* je najčešće upotrebljavano staklo. Ima nisku elastičnu provodnost, dobru čvrstoću i krutost i dobru postojanost na atmosferilije.
- *C – staklo* se odlikuje visokom kemijskom postojanošću, ali je puno skuplje od *E – stakla* i ima manju čvrstoću.
- *S – staklo* ima veći modul elastičnosti, višu temperaturnu postojanost, ali i izuzetno visoku cijenu.

Stakleno vlakno prerađuje se u obliku kontinuiranog rovinga<sup>2</sup> te tkanog i sječenog rovinga. Mat je proizvod sječenog rovinga. [2]

Na sljedećoj slici, slika 3, nalazi se kemijski sastav za tri tip staklenih vlakana, *E – staklo*, *C – staklo* i *S – staklo*.

<sup>2</sup> Roving – je jednostavna ukrižana tkanina koja sadrži osnovu i potku najčešće te je najčešće jednake debljine strukova. Ima bolja svojstva u da izražena smjera, a lošija za sve međusmjerove. [https://www.fsb.unizg.hr/kmb/200/230/kmb234.htm]

<i>Composition in wt% ( typical values )</i>			
<b>Oxide</b>	<b>E-Glass</b>	<b>C-Glass</b>	<b>S-Glass</b>
SiO <sub>2</sub>	55.0	66.0	65.0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.0	4.0	25.0
TiO <sub>2</sub>	0.2	---	---
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.0	5.0	---
CaO	22.0	14.0	---
MgO	1.0	3.0	10.0
Na <sub>2</sub> O	0.5	38844,0	---
K <sub>2</sub> O	0.3	0.5	---
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	---	---	---
<b>Softening Point</b>	<b>840°C</b>	<b>750°C</b>	<b>950°C</b>

Slika 3. Kemijski sastav staklenih vlakana [% masenog udjela]

### Ugljična vlakna

Ugljična vlakna dobivaju se procesima oksidacije i karbonizacije polazeći od poliakrilnih i celuloznih vlakana ili od bitumena. Ovisno od polaznih komponenata i uvjeta izrade razlikuju se dvije osnovne vrste: vlakna visoke čvrstoće (HS) i vlakna visokog modula (HM). Na slici 4 je prikaz primjer primjene ugljičnih vlakana u automobilskoj industriji.

Cijena ovih vlakana je još uvijek visoka, 30 – 40 puta veća od staklenih vlakana. Uz visoku cijenu nedostatak mu je mala žilavost i malo prekidno istežanje. Primjenjuju se u zrakoplovstvu, vojnoj industriji, zatim elektronicima, kemijskim i naftnim postrojenjima te za izradu sportske opreme. [2]



Slika 4. Primjer primjene ugljičnih vlakana

### Aramidna vlakna

Aramidna vlakna (aromatski poliamidi) su sintetička vlakna koja u linearnoj makromolekuli imaju aromatske grupe povezane aramidnim grupama. Visoki odnos čvrstoće i modula elastičnosti prema težini, visoka žilavost, dobra dielektrična svojstva, dobra kemijska postojanost, dobra podnošljivost obrade i vibracija, pruža aramidnim vlaknima široke mogućnosti upotrebe. Najpoznatije je aramidno vlakno pod trgovačkim nazivom Kevlar.

Dva su najpoznatija tipa:

- *Kevlar 29* – služi za izradu kablova i užadi, materijala otpornih na trenje, tkanina za zaštitne (pancir) košulje, itd. Primjer se nalazi na slici 5.
- *Kevlar 49* – služi kao ojačalo za izradu čamaca, automobila te u avio i raketnoj industriji

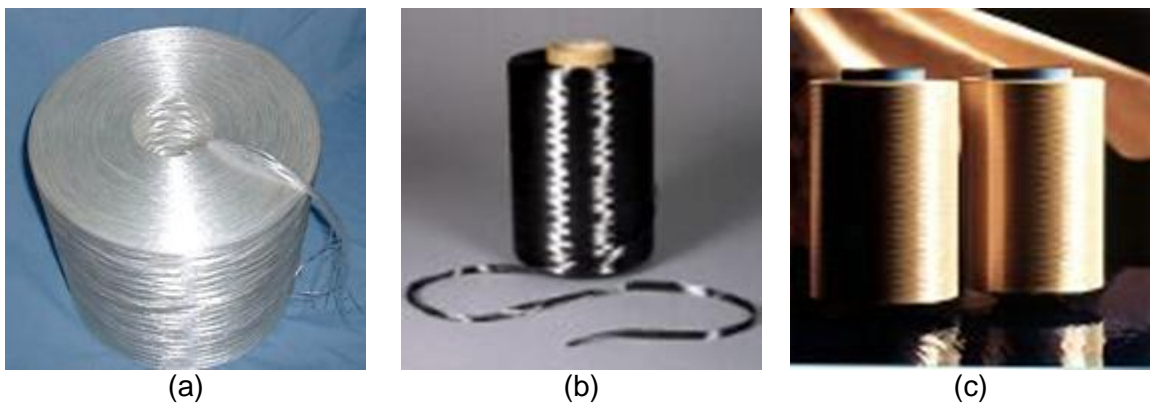
Polimerna matrica koja se upotrebljava s Kevlar vlaknima je ista kao i sa staklenim vlaknima. Aramidna vlakna se ugrađuju u kompozite slično ili jednako kao i staklena vlakna. Nedostaci Kevlara su mala tlačna čvrstoća, nemogućnost bojenja te neotpornost na UV zračenja. [2]





Slika 5. Primjer primjene Kevlara

Na sljedećoj slici, slika 6, prikazani su strukovi vlakana, staklenog, ugljičnog i aramidnog vlakna.



(a)

(b)

(c)

Slika 6. Klupko (struk) vlakna

(a) struk staklenog vlakna; (b) struk ugljičnog vlakna; (c) struk aramidnih vlakana

### Hibridne kombinacije vlakana

Zbog optimiranja proizvoda u tehničkom i ekonomskom smislu često se koriste kombinacije dvaju ili više različitih vrsta vlakana. Hibridnim kombinacijama se kompenziraju nedostaci (mala žilavost, mala otpornost na udar, nedovoljna krutost ili visoka cijena) osnovnih kompozita. Najčešće se ugljikova vlakna koriste u kombinaciji sa staklenim vlaknima kod visoko opterećenih konstrukcija gdje se naprezanja rasprostiru u jednom smjeru. Koji će omjer ugljičnih vlakana ili Kevlara sa staklom biti upotrijebljen ovisi o dozvoljenom naprežanju.[2]



### **2.1.3. Punila i dodaci**

Pored osnovnih sastojaka, polimerne osnove i ojačala, značajna su i *punila* kojima se reguliraju pojedina svojstva proizvoda, a vrlo često utječu i na cijenu. To su mineralna, staklena i organska punila te praškaste kovine. Mineralna punila poboljšavaju mehanička i električna svojstva i utječu na samogasivost.

*Dodacima* se mijenjaju neželjena svojstva proizvoda. Postoje dodaci za snižavanje ili potpuno eliminiranje skupljanja i za poboljšavanje vatrootpornosti. Inicijatori, ubrzivači i inhibitori produžavaju vrijeme skladištenja poluproizvoda, skraćuju ciklus umrežavanja i snižavaju maksimalnu temperaturu reakcije. U dodatke još ubrajamo i pigmente, UV – stabilizatore, indikatore i parafin. [2]

### **2.1.4. Svojstva polimernih kompozita**

Prednost polimernih kompozita prema tradicijskim materijalima javlja se pri usporedbi specifičnih modula i specifičnih čvrstoća. Veći specifični modul i veća specifična čvrstoća znače manju težinu proizvoda.

Fizikalno – mehanička svojstva kompozita u najvećoj mjeri su određena omjerom masa ojačanja i poliesterske smole, vrstom ojačanja te načinom opterećenja. Povećanjem udjela mase ojačanja u masi laminata rastu gustoća i modul elastičnosti. Najmanje vrijednosti modula elastičnosti ima laminat ojačan matom zbog dva razloga:

- u standardnoj brodograđevnoj tehnologiji nije moguće izraditi laminat ojačan matom, a da ima maseni sadržaj staklenog ojačanja veći od 40% pa je to prvi razlog,

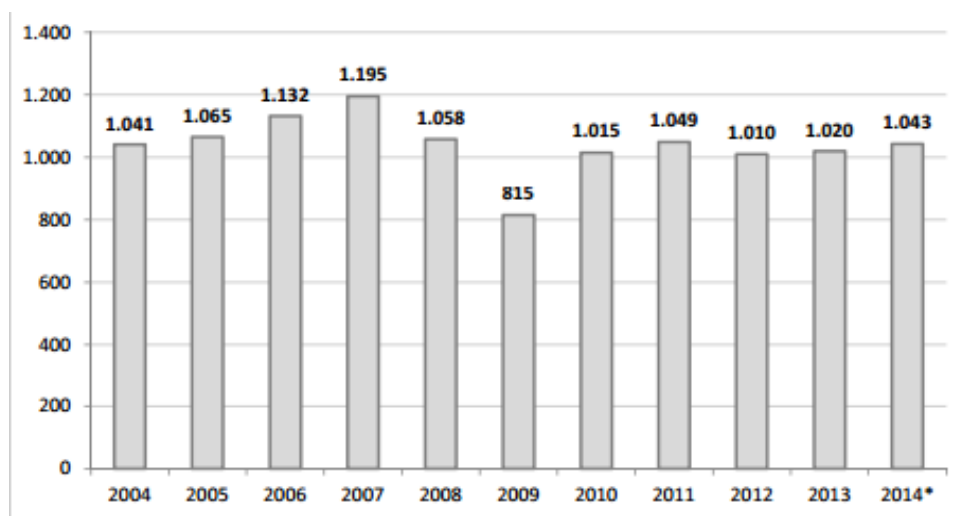
- dok je drugi razlog taj, da je mat vrsta ojačanja izrađena od niti duljine 50mm dok su u tkanom rovingu i jednosmjernom rovingu niti dugačke koliko i uzorak.

Isti laminat imat će različite prekidne čvrstoće ovisno o vrsti opterećenja. Dva su razloga porasta vrijednosti mehaničkih svojstava laminata, a to su povećani postotak stakla i homogeniji (kvalitetniji) laminat. [2]

## 2.2. STAKLOPLASTIKA

Stakloplastika je najčešće korišteno ojačanje koje se koristi u proizvodnji složenih materijala sa polimernim matricama. Matrica stakloplastike sastoji se od organskog termostabilnog poliestra, vinilestra, fenola i epoksi smole. Poliesterska smola čini oko 75% matrice. Plastika ojačana stakloplastikom (engl. Fibreglass Reinforced Plastics, FGRP) ima važnu primjenu u sljedećim poljima: automobilska industrija, zrakoplovna industrija te u građevinskom, strojarskom i biomehaničkom inženjerstvu. [5]

U 2013.godini u Europi je proizvedeno 1 020 000 t stakloplastike. Na slici 7 prikazana je proizvodnja stakloplastike u Europi od 2004.godine. Proizvodnja stakloplastike u Europi se povećava, ali ne uspijeva održati korak sa svjetskim trendovima. [6]



Slika 7. Proizvodnja stakloplastike u Europi od 2004.godine [000 tona]; 2014\* - procjena

Poliesterski laminat se koristi kod [7]:

- izrade opreme i uređaja (rezervoari, kade, cjevovodi, ventilatori, brodice, itd.)
- izrade kemijski postojane zaštitne obloge za metalne i betonske površine (neutralizacijske bazene, tankvane, spremnike za kiseline i lužine, itd.)
- izrade obloge, opreme i uređaja u protueksplozijskoj zaštiti (plastifikacija benzinskih spremnika na benzinskim postajama, ventilacijska oprema, itd.)

Stakloplastika odnosno poliestar je materijal koji se sastoji od tri komponente, a to su [8]:

- poliesterska smola
- katalizator
- poliesterska vlakna.

Glavne odlike poliesterskih laminata tj. stakloplastike su [8]:

- visoka čvrstoća i krutost
- mala težina
- postojanost na koroziju i povišenu temperaturu
- kemijska postojanost
- otpornost na vremenske utjecaje
- dobra električna svojstva
- visoki modul rastezljivosti
- jednostavna proizvodnja
- velike mogućnosti prigušenja vibracije
- relativno niska cijena proizvodnje.

### **2.3. ZAKONSKA REGULATIVA REPUBLIKE HRVATSKE**

Prema *Zakonu o održivom gospodarenju otpadom* (NN 94/13) otpad je potrebno obraditi (postupci pripreme prije uporabe ili zbrinjavanja te i sami postupci uporabe ili zbrinjavanja), iskoristiti vrijedna svojstva otpada te ga zbrinuti na odlagalište otpada.

U svrhu sprječavanja nastanka otpada te primjene propisa i politike gospodarenja otpadom primjenjuje se red prvenstva gospodarenja otpadom, i to [9]:

- 1) sprječavanje nastanka otpada
- 2) priprema za ponovnu uporabu (*ponovna uporaba* je svaki postupak kojim se omogućava ponovno korištenje proizvoda ili dijelova proizvoda, koji nisu otpad, u istu svrhu za koju su izvorno načinjeni)
- 3) recikliranje (*recikliranje* je svaki postupak uporabe, uključujući ponovnu preradu organskog materijala, kojim se otpadni materijali prerađuju u proizvode, materijale ili tvari za izvornu ili drugu svrhu osim uporabe otpada u energetske svrhe, odnosno prerade u materijal koji se koristi kao gorivo ili materijal za zatrpavanje)
- 4) drugi procesi uporabe (npr. energetska uporaba, termička obrada otpada)
- 5) zbrinjavanje otpada (zbrinjavanje otpada je svaki postupak koji nije uporaba otpada, uključujući slučaj kad postupak kao sekundarnu posljedicu ima obnovu tvari ili energije).

*Oporaba otpada* je svaki postupak čiji je glavni rezultat uporaba otpada u korisne svrhe, kada otpad zamjenjuje druge materijale koje bi inače trebalo uporabiti za tu svrhu ili otpad koji se priprema kako bi ispunio tu svrhu, u tvornici ili u širem gospodarskom smislu. U procese uporabe otpada spadaju spaljivanje i suspaljivanje otpada, a to su termički postupci obrade otpada (postupci kojima se promjenom temperature otpada postiže promjena strukture i svojstva otpada). *Spaljivanje otpada* je postupak uporabe, odnosno zbrinjavanja otpada u kojem se spaljuje otpad sa ili bez uporabe topline proizvedene izgaranjem. To

uključuje oksidacijsko spaljivanje otpada, kao i druge termičke procese, poput pirolize, rasplinjavanja ili plazma procesa, sve dok se rezultirajući produkti tih obrada nakon toga spaljuju. A *suspaljivanje otpada* je postupak oporabe, odnosno zbrinjavanja otpada čija je prvenstvena svrha proizvodnja energije ili materijalnih produkata (proizvoda) i u kojem se otpad koristi kao redovno ili dopunsko gorivo ili u kojem se otpad termički obrađuje radi zbrinjavanja. Kao i kod spaljivanja otpada, to uključuje oksidacijsko spaljivanje otpada, kao i druge termičke procese, poput pirolize, rasplinjavanja ili plazma procesa, sve dok se rezultirajući produkti tih obrada nakon toga spaljuju. [9]

*Pravilnikom o načinima i uvjetima termičke obrade otpada (NN 45/07)* određeni su glavni uvjeti koje postrojenje za termičku obradu otpada odnosno spalionica moraju ispunjavati. Pravilnik propisuje da maseni sadržaj ukupnog organskog vezanog ugljika (TOC) u šljaci i pepelu mora biti manji od 3% ili gubitak žarenjem mora biti manji od 5% računajući na suhu tvar. Također je propisana i najmanja temperatura od 850°C koja mora biti održana najmanje 2 sekunde i nakon posljednjeg ubacivanja zraka i pod najnepovoljnijim uvjetima, kako bi se osiguralo potpuno izgaranje, ako se spaljuje opasni otpad koji sadrži halogenirane organske tvari. Ako je ukupni sadržaj halogena, izražen kao klor, veći od 1% mase otpada, mora se postići najmanja temperatura od 1 100°C [10].

U Dodatku II., postupci oporabe otpada, u *Zakonu o održivom gospodarenju otpadom*, propisan je stupanj energetske efikasnosti koji postrojenje treba zadovoljiti kako bi se proces izgaranja otpada smatrao oporabom [9]:

- 0,60 za postrojenja u radu i odobrena prije 1. siječnja 2009.
- 0,65 za postrojenja koja su odobrena nakon 31. prosinca 2008.

Energetska efikasnost se računa prema sljedećoj formuli [9]:

$$\text{Energetska efikasnost} = \frac{E_p - (E_f + E_i)}{0,97 * (E_w + E_f)}$$

gdje je:

$E_p$  – godišnja proizvodnja energije kao toplinske energije ili električne energije. Izračunava se tako da se energija u obliku električne energije pomnoži s 2,6, a toplinska energija proizvedena u komercijalne svrhe množi se s 1,1 (GJ/godina)

$E_f$  – količina energije koja godišnje ulazi u sustav, a dobivena je iz goriva i služi za proizvodnju pare (GJ/godina)

$E_w$  – godišnja količina energije sadržane u obrađenom otpadu izračunata primjenom neto kalorične vrijednosti otpada (GJ/godina)

$E_i$  – godišnja uvezena količina energije bez  $E_w$  i  $E_f$  (GJ/godina)

0,97 – faktor obračuna gubitka energije zbog pepela na dnu peći i isijavanja.

Prema *Pravilniku o načinima i uvjetima termičke obrade otpada* nazivni kapacitet spalionice (suma kapaciteta svih ložišta spalionice) iskazana je kao količina spaljenog otpada na sat, a specificirana je od proizvođača i potvrđena od obrađivača. Prema podacima koji se moraju podnijeti za zahtjev za izdavanje dozvole za obavljanje djelatnosti termičke obrade, donja ogrjevna moć otpada (uz maksimalni sadržaj žive u otpadu) iznosi 25 MJ/kg [10].

*Pravilnik o katalogu otpada* (NN 90/15) određuju kategorije, vrste i klasifikaciji otpada ovisno o svojstvima i mjestu nastanka otpada, te utvrđuje katalog otpada, listu opasnog otpada i popis otpada u prekograničnom prometu.

U postupku identifikacije otpada u katalogu otpada potrebno je napraviti sljedeće korake[11]:

- 1) Identificirati djelatnosti koje generiraju otpad u grupama 01 do 12 ili 17 do 20 i identificirati odgovarajući šesteroznamenasti ključni broj otpada (isključujući ključne brojeve koji se završavaju sa znamenkama 99 unutar navedenih grupa). Aktivnosti određenih proizvodnih jedinica su klasificirane u više grupa. Npr. proizvođač automobila može pronaći svoj otpad naveden u grupi 12 (otpad od oblikovanja i površinske fizičko-kemijske obrade metala), 11 (anorganski otpad koji sadrži metale od kemijske površinske obrade i zaštite metala) i 08 (otpad od primjene premaza) ovisno o različitim stupnjevima proizvodnje.

Napomena: odvojeno skupljen ambalažni otpad (uključujući mješavine različitih ambalažnih materijala) treba klasificirati pod 15 01, a ne 20 01.

- 2) Ako se ne može identificirati ključni broj otpada u grupama 01 do 12 ili 17 do 20, tada identifikaciju otpada treba potražiti u grupama 13, 14 ili 15.
- 3) Ako nijedan od ključnih brojeva ne odgovara, otpad je potrebno identificirati u grupi 16.
- 4) Ako traženi otpad nije ni u grupi 16, mora se koristiti ključni broj sa znamenkama 99 (otpad koji nije na drugi način specificiran) prema djelatnosti generiranja otpada

U sljedećoj tablici, tablica 1, nalazi se popis djelatnosti koje generiraju otpad.

Tablica 1. Popis djelatnosti koje generiraju otpad

01 00 00	Otpad koji nastaje kod istraživanja i kopanja ruda, iskopavanja i drobljenja kamena i od fizičkog i kemijskog obrađivanja ruda
02 00 00	Otpad iz poljodjelstva, vrtlarstva, proizvodnje vodenih kultura, šumarstva, lova i ribarstva, pripremanja hrane i prerade
03 00 00	Otpad od prerade drveta i proizvodnje ploča i namještaja, celuloze, papira i kartona
04 00 00	Otpad iz kožarske, krznarske i tekstilne industrije
05 00 00	Otpad od prerade nafte, pročišćavanja prirodnog plina i



	pirolitičke obrade ugljena
06 00 00	Otpad iz anorganskih kemijskih procesa
07 00 00	Otpad iz organskih kemijskih procesa
08 00 00	Otpad od proizvodnje, formulacija, prodaje i primjene premaza (boje, lakovi i staklasti emajli), ljepila, sredstva za brtvljenje i tiskarskih boja
09 00 00	Otpad iz fotografske industrije
10 00 00	Otpad iz termičkih procesa
11 00 00	Otpad koji potječe od kemijske površinske obrade i zaštite metala; hidrometalurgije neželjeznih metala
12 00 00	Otpad od oblikovanja i površinske fizičko-kemijske obrade metala i plastike
13 00 00	Otpadna ulja i otpad od tekućih goriva (osim jestivog ulja i otpada iz grupa 05, 12 i 19)
14 00 00	Otpadna organska otapala, rashladni i potisni mediji (osim 07 00 00 i 08 00 00)
15 00 00	Otpadna ambalaža; apsorbenzi, materijali za brisanje i upijanje, filtarski materijali i zaštitna odjeća koja nije specificirana na drugi način
16 00 00	Otpad koji nije drugdje specificiran u katalogu
17 00 00	Građevinski otpad i otpad od rušenja objekata (uključujući i otpad od iskapanja onečišćenog tla)
18 00 00	Otpad koji nastaje kod zaštite zdravlja ljudi i životinja i/ili srodnih istraživanja (isključujući otpad iz kuhinja i restorana koji ne potječe iz neposredne zdravstvene zaštite)
19 00 00	Otpad iz uređaja za obradu otpada, gradskih otpadnih voda i pripremu pitke vode i vode za industrijsku uporabu
20 00 00	Komunalni otpad (otpad iz domaćinstava, trgovine, zanatstva i slični otpad iz proizvodnih pogona i institucija), uključujući odvojeno prikupljene frakcije

Prema katalogu otpada iz *Pravilnika o katalogu otpada*, stakloplastika ima ključni broj 08 04 99. Grupa 08 označava otpad od proizvodnje, formulacije, dobave i uporabe (PFDU) premaza (boje, lakovi i staklasti emajli), ljepila, sredstva za brtvljenje i tiskarskih boja. Podgrupa 04 označava otpad iz PFDU ljepila i sredstava za brtvljenje (uključujući vodonepropusne proizvode). Dok podgrupa 99 označava otpad koji nije specificiran na drugi način.

Prema *Pravilniku o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagalište otpada* (NN 114/15) propisane su kategorije odlagališta otpada, postupci i drugi uvjeti za odlaganje otpada, postupci i drugi uvjeti za prihvata otpada u podzemna odlagališta otpada, granične vrijednosti emisija u okoliš kod odlaganja otpada i uvjeti i mjere u svezi s planiranjem, gradnjom, radom i zatvaranjem odlagališta i postupanjem nakon njihova zatvaranja u suradnji s ministricom nadležnom za prostorno planiranje, ministrom nadležnim za pomorstvo i ministrom nadležnim za vodno gospodarstvo. [23]

Odlagališta otpada se dijele na sljedeće kategorije[23]:

- odlagalište za inertan otpad,
- odlagalište za opasni otpad,
- odlagalište za neopasni otpad.

Prema članku 7. Pravilnika na odlagalište za inertni otpad smije se odlagati samo inertni otpad.

Na odlagalište za neopasni otpad dozvoljeno je odlaganje:

- komunalnog otpada prema kriterijima za prihvata u Prilogu III. Pravilnika,
- neopasnog otpada bilo kojeg podrijetla koji ispunjava kriterije za prihvata otpada na odlagališta za neopasni otpad prema Prilogu III. Pravilnika
- stabilnog i nereaktivnog, prethodno obrađenog opasnog otpada ukoliko granične vrijednosti onečišćenja u otpadu i eluatu ne prelaze granične vrijednosti za prihvata neopasnog otpada na odlagališta iz Priloga III. Pravilnika. Takav opasan otpad ne smije se odložiti na plohe namijenjene biorazgradivom neopasnom otpadu.

Na odlagalište za opasni otpad dozvoljeno je odlaganje samo opasnog otpada koji ispunjava kriterije za prihvata opasnog otpada na odlagališta koji su propisani u Prilogu III. Pravilnika. [23]

### 3. RECIKLIRANJE STAKLOPLASTIKE

Recikliranje kompozita je teško, jer se oni obično sastoje od dviju ili više komponenata (punilo, vlakna, smola itd.). Recikliranje termo kompozita je poseban izazov s obzirom da kada se jednom molekule termo matrice povežu, materijal koji nastane se ne može više rastopiti ili remodelirati. Zbog toga što se termo kompoziti, koji u sebi imaju poliester i epoksi smolu, ne mogu dekompozirati na originalne sastojke, obično završe na odlagalištu i pošto su njihove komponente bionerazgradive, cijena takvog odlaganja je vrlo visoka. [5]

Predloženo je puno tehnologija za recikliranje termo kompozita. U osnovi, mogu se klasificirati u tri kategorije:

- a) Mehaničko usitnjavanje – temeljni postupak kojim se dobije određena veličina čestica. [5]

*Mljevenje* je postupak u kojem se materijal drobi na istu duljinu vlakana te se takav dobiveni materijal može ponovno koristiti kao ojačanje u proizvodnji brodova od stakloplastike, stolova, ograda, autodijelova, itd. [12]

- b) Termalni procesi

(1) *Izgaranje i korištenje proizvedene topline* – jedna od opcija je izgaranje otpadnih kompozita stakloplastike u cementnim pećima. Termalna obrada djeluje kao gorivo u peći, dok su stakleno ojačanje i mineralno punilo inkorporirani u cement kao vrijedne sirovine [5].

*Spaljivanje* je proces termalne oksidacije u kojem materijal gori da bi stvorio toplinu. Otpadna stakloplastika spaljena stvara toplinu temperature 25 520F odnosno 14 000°C. To je način za njezino potpuno sagorijevanje te se u novi cement inkorporira anorganski pepeo[12].

(2) *Piroliza* – kemijska razgradnja organske tvari zagrijavanjem na visokoj temperaturi bez prisutnosti kisika. Takvi procesi proizvode plin kao gorivo koje se može koristiti za zagrijavanje komore za

pirolizu. Također stvara određene tekuće naftne derivate i čvrsti ostatak koji se sastoji od anorganskih vlakana, punila i čađi [5].

Procesom pirolize, gdje se materijal grije na jako visoku temperaturu u uvjetima bez kisika i vode, kao nusprodukti nastaju plin, ulje i čvrsta tvar. Ulje i plin čine oko 25% izlaznog produkta pirolize, a ostalih 75% čini kruta tvar. Plin dobiven pirolizom ima sličnosti sa prirodnim plinom u pogledu čistoće i energetskog sadržaja, dok ulje ima sličnosti sa sirovom naftom, ali je manje vrijedno. Produkti nastali pirolizom ne predstavljaju nikakve probleme za okoliš jer ne sadrže halogene, fosfor, sumpor i druge teške metale.

Kod pirolize SMC (engl. Sheet Mouldin Compound, listovi od smole), na temperaturi od 7 600°C (14 000 F) oslobađa se određena količina topline u reaktoru, a na otprilike 2 600°C (5 000F) nastaje plin zbog raspada ugljikovodika u smoli.[12]

Ogrjevna vrijednost u procesu pirolize kreće se od 5 – 15 MJ/m<sup>3</sup> za komunalni otpad i između 15 – 30 MJ/m<sup>3</sup> za gorivo iz otpada. Priroliza objedinjuje više različitih tehnoloških kombinacija koje sadrže sljedeće korake [14]:

- I. Proces tinjanja – stvaranje plinova iz krutih čestica otpada pri temperaturama 400 – 600°C
- II. Piroliza – termička razgradnja organskih molekula otpada pri temperaturama 500 - 800°C
- III. Rasplinjavanje – konverzija udjela ugljika u koksu pri temperaturama 800 – 1 000°C uz pomoć sredstva za rasplinjavanje (npr. zrak ili para) u ugljikov monoksid i vodik
- IV. Izgaranje – ovisno o tehnologiji, plin i pirolitički koks izgaraju u ložištu.

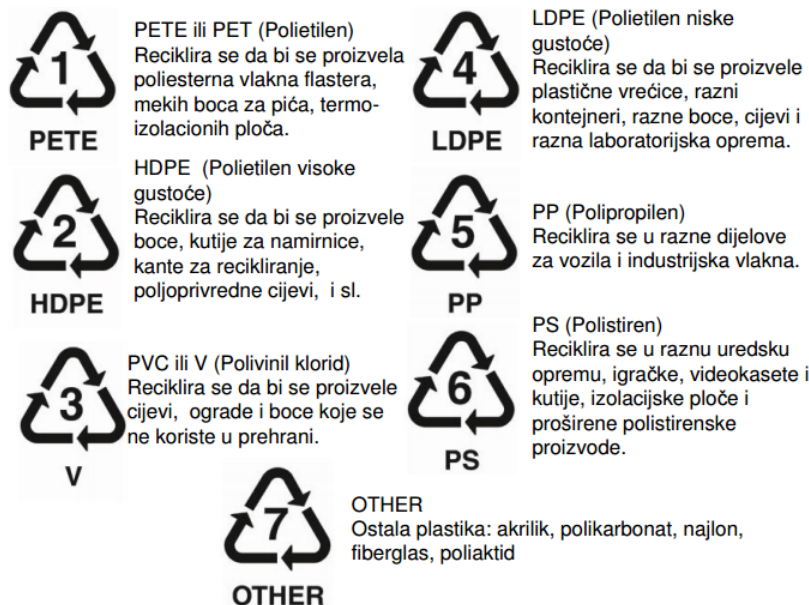
(3) *Fluidizirani sloj* za toplinske procese za oporabu kompozita od ojačanja od vlakana [5].

Ložište kod izgaranja u fluidiziranom sloju je izvedeno u obliku vertikalnog cilindra gdje je, u donjem dijelu komore, sloj inertnog

materijala (npr. pijeska ili pepela) na rešetki ili ploči fluidiziran sa zrakom. Otpad koji se spaljuje kontinuirano se nanosi na fluidizirani sloj odozgo ili sa strane. Ovakva tehnologija se najviše koristi za spaljivanje homogenih goriva (ugljen, sirovi lignit, biomasa i sl.), dok se otpad heterogenog sastava najprije mora pripremiti odnosno moraju se ujednačiti veličine čestica u otpadu (maksimalan promjer čestica je 50 mm). Budući da je kod ove tehnologije prisutna niža temperatura nego kod drugih načina izgaranja, smanjeno je stvaranje NO<sub>x</sub> te ne dolazi do taljenja i lijepljenja pepela za isparivačke cijevi kotla. [14]

- c) Depolimerizacija kompozita se temelji na kemijskim procesima kao što su hidroliza, glikoliza i otapanje za vraćanje organskih materijala u prvobitno stanje[5].

Na slici 8 prikazani su simboli za recikliranje polimera. Stakloplastika (fiberglass) spada u grupu „ostala plastika“ [13].



Slika 8. Simboli recikliranja polimera

Poznavanje sastava otpada ima važnu ulogu u učinkovitom gospodarenju otpadom iz razloga što se na temelju sastava odabire tehnologija obrade i zbrinjavanja.

Ukoliko je otpad namijenjen spaljivanju, važno je poznavati njegovu energetska vrijednost koja ovisi o sastavu gorivih komponenti, sadržaju vlage, negorivim primjesama i drugo. Na temelju tih parametara izabiremo tehnologiju izgaranja, kapacitet postrojenja i isplativost investicije. Temeljem sastava također procjenjujemo i vrstu plinova izgaranja i drugih tvari koje nastaju tijekom spaljivanja.

Ukoliko je otpad namijenjen deponiranju, sastav utječe na gustoću otpada unutar odlagališta te njegov kapacitet. Poznavanjem sastava, moguće je procijeniti sastav procjednih voda te količinu i sastav deponijskog plina. Teško je odrediti i definirati točan sastav otpada i procjednih voda koje nastaju na odlagalištu, pa se za tu svrhu koristi laboratorijska simulacija čiji rezultat je eluat. Eluat se sastoji od desorbiranih, dispergiranih i otopljenih tvari iz uzorka otpada, a vrijednosti parametara eluata predstavljaju osnovni kriterij za odlaganje otpada na odlagalište inertnog, neopasnog ili opasnog otpada. [24,25]

Cilj ovoga rada je da se utvrdi koji je najbolji način zbrinjavanja stakloplastike. Da li je isplativije stakloplastiku odložiti na odlagalište ili ju spaliti pa iskoristiti njezina vrijedna svojstva (pepeo nastao spaljivanjem) u proizvodnji novih proizvoda, npr. izrada cementa.

### **3.1. LITERATURNI PRIMJERI NAČINA ZBRINJAVANJA I OBRADJE STAKLOPLASTIKE**

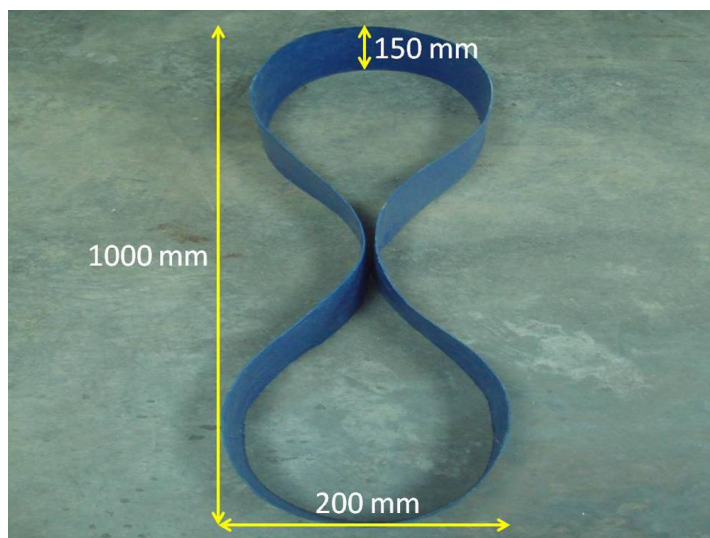
U jednoj studiji su proučavana mehanička svojstva geomaterijala od recikliranih staklenih vlakana, koji je bio modeliran u obliku broja 8, prikazano na slici 9. Ispitivanja su rađena u laboratorijskim mjerilima, a ispitivana je debljina staklenih vlakana, formiranje oblika i orijentacija geomaterijala. Trodimenzionalni geomaterijal od recikliranih staklenih vlakana, u obliku broja 8, daje čvrstoću tlu koje je ojačano tim geomaterijalom. Rezultati testa vlačne čvrstoće i trenje između tla i geomaterijala ukazuju na sličan trend povećanja vrijednosti kao i kod testa provedenog koristeći druge tipove geosintetika u različitim tlima simulirajući različite stvarne uvjete u tlima. [15]

Prema nizozemskim znanstvenicima (Pinzani i Sauli) [16], staklena vlakna s amorfnom strukturom su u mogućnosti održati unutarnju stabilnost u svim smjerovima vlakana bez dodatnih aditiva kojima bi se osigurala trajnost konstrukcije. Za razliku od ugljičnih vlakana, staklena vlakna mogu podnijeti znatno veće izduženje što je pokazano vlačnim ispitivanjima. Prije njih su američki znanstvenici (Lutz i Grossman) [17] pokazali da je stakleno vlakno jako dobro sredstvo za armiranje zbog njegove velike snage, krutosti, visokog omjera površine i mase kao i dimenzijske stabilnosti. Zbog svojih jedinstvenih svojstava (visoka vlačna čvrstoća i visoka krutost) staklena vlakna mogu biti elastična u ekstremnim uvjetima u tlima. Osim toga, lakoća staklenog vlakna i visoka izdržljivost (bionerazgradivost, dugi vijek trajanja i neosjetljivost na toplinu) će pomoći strukturi geomaterijala da izdrži u manje stabilnim tlima, u svim danim uvjetima. Prema istraživanjima američkih znanstvenika vlačna čvrstoća inženjerskog kompozita koji sadrži vlakna i matičnu materiju značajno je povećana dodavanjem ojačanja od staklenih vlakana. [15]

Ova istraživanja su pokazala da su dostupnost, visoka vlačna čvrstoća, lakoća i bionerazgradivost karakteristike staklenih vlakana koje su pokazale da su prednost za dugoročnu sanaciju poboljšanja tla, osobito u mekim tlima. Iako



se ova studija smatra novom, autori se slažu da pokazuje puno napretka kako bi osigurala uspješno korištenje takvog materijala kroz stvarnu instalaciju i monitoringe te uzimajući u obzir rigoroznije aspekte okoliša. [15]



Slika 9. Dimenzije uzorka geomaterijala u obliku broja 8

U drugom primjeru radi se o eksperimentalnoj studiji o procesu pirolize kao metoda recikliranja SMC<sup>3</sup> otpadne plastike. SMC ima velike količine anorganskih komponenta (stakloplastika i CaCO<sub>3</sub>) te je njegova ogrjevna vrijednost jako niska ( $\approx 6,68$  MJ/kg), zbog toga spaljivanje nije prikladna metoda za zbrinjavanje ovakvog tipa materijala. SMC je piroliziran u dušičnoj atmosferi na različitim temperaturama od 300 – 700 °C. [18]

Ispitivanja su pokazala da tekući dio pirolize SMC – a nema istu ogrjevnu vrijednost u cijelom temperaturnom intervalu u kojem se provodila piroliza. Na temperaturi od 300°C ima manju ogrjevnu vrijednosti (33,9 MJ/kg) dok na temperaturi od 400 – 700°C ima nešto veću, oko 37 MJ/kg. Prema tim rezultatima može se zaključiti da su tekući produkti pirolize tj. ulje dobra goriva koja ne sadrže onečišćujuće elemente. [18]

<sup>3</sup> SMC (engl. Sheet Moulding Compound) je „kožast“ materijal koji se najčešće sastoji od slučajno orijentiranih kratko rezanih staklenih vlakana u gustoj smoli i pasti punila. Obično se koristi u automobilske industriji. [[http://www.wastexchange.org/upload\\_publications/RecyclingDeadBoats.pdf](http://www.wastexchange.org/upload_publications/RecyclingDeadBoats.pdf)]



Plinskom kromatografijom su ispitani plinovi pirolize i identificirani su stalni plinovi, kao što su CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> i H<sub>2</sub>. Prema drugim autorima [19 – 21], plinovi pirolize SMC – a imaju ogrjevnu vrijednost 29,2 – 37,7 MJ/m<sup>3</sup>, što je dovoljno da se proizvede potrebna energija za postrojenje za pirolizu. [18]

Kod čvrstog ostatka pirolize bitan je oksid koji nastane raspadom CaCO<sub>3</sub> zato jer djeluje kao zgušnjivač te na taj način utječe na proizvodni proces kompozita. Zbog toga je odabran ostatak na 500°C koji je recikliran u proporcijama 6% masenog udjela SMC – a.[18]

Dalje su ispitivana mehanička svojstva kod materijala sa i bez recikliranih staklenih vlakana. Testovi su pokazali da reciklirana staklena vlakna nisu tako dobra kao sirova staklena vlakna, vjerojatno zato jer su izgubila na kvaliteti u pirolizi i/ili procesu recikliranja. [18]

U sljedećem primjeru radi se o studiji u kojoj je istraživano da li se otpad od staklenih vlakana, dobivenih termolizom poliesterske stakloplastike (engl. Polyester fiberglass, PFG), može koristiti u proizvodnji staklo – keramičkog materijala. PFG je izložena temperaturi od 550°C na 3h u termolitičkom reaktoru. Tim procesom dobiveni su čvrsti ostatak (≈68% masenog udjela), ulje (≈24% masenog udjela) i plin (≈8% masenog udjela). Ulje se uglavnom sastoji od aromatičnih komponenata (≈84%) i komponente s kisikom (≈16%) te ima relativno visoku ogrjevnu vrijednost (≈34 MJ/kg). Plin se sastoji uglavnom od CO<sub>2</sub> i CO, a sadržaj ugljikovodika je bio ispod 10% volumena. Ogrjevna vrijednost plina je bila niska (26 MJNm<sup>-3</sup>). Čvrsti ostatak (97% masenog udjela stakloplastike i 3% masenog udjela čađe) je pretvoren u staklo – keramički materijal. [5]

Čvrsti ostatak je bio mljeven kugličastim mlinom 15min brzinom od 500rpm (engl. Rotations Per Minute; okretaji u minuti). Prah nastao tim mljevenjem (47,5 g) je pomiješan s Na<sub>2</sub>O (4,3 g), stavljen je u aluminij silikat te rastopljen u električnoj peći na 1 450°C u vremenu od 120 minuta. Rastaljeni

materijal je tada uronjen/ulijan u vodu da bi se dobili komadići stakla. Ti komadići su zatim mljeveni kugličastim mlinom brzinom od 400 rpm te je odvojeno 11 frakcija različitih veličina čestica s ciljem da se utvrdi efekt utjecaja veličine čestica kod kristalizacije. Izvedivost procesa sinteriranja<sup>4</sup> i kristalizacije za proizvodnju staklo – keramičkih pločica je procijenjena na mješavini različitih veličina čestica praškastog stakla. Izabrana je mješavina različitih veličina čestica jer tako dobiveni materijal je najbliži prirodnom kamenu. Pošto je većina frakcija bila većih dimenzija (1 600 – 2 000  $\mu\text{m}$ ), prikladna metoda je metoda zbijanja vibriranjem. Mješavina je nakon toga stavljena u kalup od gipsa, te je zagrijana na temperaturi od 1 013°C na 60 minuta s omjerom grijanja i hlađenja od 50°C/min. [5]

Staklena vlakna su uspješno reciklirana procesom vitrifikacije. Frakcije veličine > 1 000  $\mu\text{m}$  pokazale su slabu sposobnost formiranja u staklo – keramiku. Staklo – keramičke pločice mogu se proizvoditi od staklenog praha procesom sinteriranja i kristalizacije. Procesom termolize i vitrifikacije mogu se reciklirati kompozitni materijali ojačani stakloplastikom te se punila ne bi trebala odvajati od stakloplastike jer je  $\text{CaCO}_3$  česta komponenta u formiranju stakla. [5]

Nakon studija o recikliranju stakloplastike, koje su provedene u laboratorijskim mjerilima, postoji konkretan primjer recikliranja stakloplastike u Europi. To se može vidjeti kod jedne danske tvrtke koja se bavi proizvodnjom proizvoda od stakloplastike i profila od karbonskih vlakana. Ta tvrtka (Fiberline Composites) otpad nastao proizvodnjom stakloplastike vozi u jedno njemačko postrojenje, koje zatim taj otpad stavlja u velike drobilice i podešava kalorijsku vrijednost dodajući druge vrste recikliranog materijala. Nakon toga taj se otpad šalje u jednu tvornicu cementa koja tim otpadom snabdijeva velike peći koje proizvode gotovi cement. Prema podacima iz 2010.godine (Holcim) recikliranjem 1 000 tona profila (iz danske tvrtke) u proizvodnji cementa uštedi

---

<sup>4</sup> Sinteriranje – okupnjavanje sitnozrnatog materijala zagrijavanjem na temperaturu površinskog taljenja, na kojoj se zrna staljuju u čvrste, ali porozne aglomerate  
[\[http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=56166\]](http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=56166)

se do 450 tona ugljena, 200 tona vapnenca, 200 tona pijeska i 150 tona aluminijskog oksida. [22]

### 3.2. METODOLOGIJA

U ovom radu, za ispitivanja, je korišten uzorak stakloplastike, od kade kojoj je skinuti emajl, slika 10. Na uzorku stakloplastike provedena su ispitivanja za postupak uporabe (spaljivanje), gdje su ispitivani parametri koji su potrebni za određivanje tehnologije izgaranja, kapacitet te isplativost takvog postupka uporabe. Te su provedena ispitivanja kojima se određuje na koje odlagalište se može odložiti takav otpad, odnosno laboratorijska simulacija čiji rezultat je eluat pomoću čijih se vrijednosti određuje na koje odlagalište se može odložiti stakloplastika.



(a)

(b)

Slika 10. Uzorak stakloplastike  
(a) dio kade (b) stakleni mat

#### 3.2.1. Spaljivanje

Prema *Pravilniku o načinima i uvjetima termičke obrade otpada*, na ulazu u postrojenje za spaljivanje i suspaljivanje otpada obrađivač preuzima i kontrolira [10]:

- 1) Prateći list za otpad,
- 2) Deklaraciju o fizikalnim i kemijskim svojstvima otpada prema posebnom propisu i/ili Izvješće o ispitivanju fizikalnih i kemijskih

svojstava otpada prema Zakonu o otpadu koje mora minimalno sadržavati:

- točku paljenja,
  - toplinsku vrijednost,
  - udio halogena, vode, sumpora, pepela, polikloriranih bifenila PCB i teških metala: Cr, Cd, Hg, Pb, Ni, V.
- 3) Ostalu prateću dokumentaciju o otpadu propisanu drugim posebnim propisima.

Ispitivanja fizikalnih i kemijskih svojstava otpada obavljaju ispitni laboratoriji akreditirani za provedbu ispitivanja prema hrvatskoj normi HRN EN ISO/IEC 17025-2007. [26]

Ispitivanjem provedenim na Bioinstitutu d.o.o za 1kg uzorka materijala (stakloplastika; uzorak je od kade kojoj je skinuti emajl) poslanom na istraživanje, utvrđivali su se slijedeći parametri: metali (kadmij i živa) te fizikalno – kemijski parametri (udio vode, gornja i donja toplinska vrijednost, sumpor, kloridi i vodik). U tablici 2. prikazani su rezultati dobiveni istraživanjem.

### **3.2.2. Leaching test**

Postupak izluživanja provodi se prema postupcima koji su propisani od strane Hrvatskog zavoda za norme s obzirom na omjer tekuće – čvrsto te veličinu čestica otpada.

Leaching test proveden je u Laboratoriju za geokemiju okoliša na Geotehničkom fakultetu u Varaždinu kako bi se utvrdila eventualna mogućnost procjeđivanja tvari koje se nalaze u materijalu (stakloplastika; uzorak je od kade kojoj je skinuti emajl). Rezultati dobiveni testom uspoređeni su s graničnim vrijednostima inertnog, neopasnog i opasnog otpada te su prikazani u tablici 3.

Izluživanju prethodi definiranje čestica otpada na osnovu razdiobe veličina čestica, i promjer veličine 95% čestica treba biti manji od normom propisane veličine. Ukoliko razdioba ne zadovoljava navedeni uvjet, uzorak je potrebno usitniti i prosijati. U našem istraživanju veličina čestica bila je manja od 4 mm.

Izvagani uzorak mase (10g) materijala stavi se u staklenu bocu volumena 1 L i doda se otopina za izlučivanje u količini da bi se postigao odgovarajući omjer tekuće – kruto. Ako nije drugačije propisano, za izlučivanje se koristi voda, a omjer tekućine i krute tvari iznosi 10 litara na jedan kilogram uzorka. U našem slučaju korištena je destilirana voda. Takva začepljena boca miješa se 24 sata uz brzinu od 2 rpm (rotacije u minuti). Nakon miješanja uzorka se ostavi  $15 \pm 5$  min da se istalože suspendirane čestice. Eluat se filtrira kroz membranski filter promjera pore  $0,45 \mu\text{m}$  (mikrometara) pomoću vakuuma. Eluat se podijeli na potrebni broj uzoraka za kemijsku analizu i čuva prema propisima. U slučaju istraživanja metala u uzorku, uzorak se stabilizira sa 65% dušičnom kiselinom (Suprapur, Merck), gdje se stavlja 1 ml na 100 ml uzorka. [24]

Tako pripremljeni uzorci dalje se analiziraju pomoću sljedećih uređaja:

1) **Spektrometar: Perkin Elmer AAnalyst 800**

a) Grafitna tehnika

U grafitnoj tehnici uzorak se uvodi direktno u grafitnu cijev gdje se zagrijava čime se uklanja otapalo i glavna matrica komponenti te se atomizira preostali uzorak na cca  $2\ 000 - 2\ 500^\circ\text{C}$ . Kod grafitne tehnike je povećana osjetljivost zbog atomizacije čitavog uzorka u kratkom vremenu. Grafitna tehnika omogućuje određivanje više od 40 elemenata u jednom mikrolitru ( $\mu\text{L}$ ) uzorka. U našem istraživanju grafitna tehnika se koristila za određivanje arsena i kadmija. [24]

b) Plamena tehnika

Najstarija i najčešće korištena tehnika koja koristi zrak - acetilen plamen s temperaturom od oko 2 300°C ili dušikov oksid - acetilen plamen s temperaturom od oko 2 700°C.

Uzorak se analitičkim raspršivačem pretvara u aerosol, koji se uvodi u sprej komoru, gdje se miješa s plamenim plinovima na način da samo najfinije aerosolne kapljice (<10 µm) ulaze u plamen. Na vrhu komore nalazi se glava koja plamenika proizvodi plamen kroz koji prolazi snop zračenja. Plamenom tehnikom koristili smo se za određivanje barija, kroma, bakra, molibdena, nikla, olova, selena i cinka. [24]

c) Hidridna tehnika

Sam postav instrumenta sličan je kao kod plamene tehnike, ali uz izuzetak nebulizera i dodatak instrumenta za hidriranje. Ova metoda se koristi za određivanje metaloida kao što su antimon, arsen, selen, telur, živa, bizmut, germanij, olovo, kositar. Hidridnom metodom koristili smo se za određivanje žive u našem uzorku. [24]

Na slici 11 prikazan je uređaj Perkin Elmer AAnalyst 800 korišten u istraživanju.



Slika 11. Uređaj Perkin Elmer AAnalyst 800 (spektrometar)

## 2) Spektrofotometar Hach Lange DR 5000

Spektrofotometar je instrument koji se koristi u UV/VIS spektroskopiji i mjeri intenzitet svjetla koje je prošlo kroz analizirani uzorak te ga uspoređuje s intenzitetom upadnog svjetla. Najčešće se mjere tekući uzorci, iako se mogu mjeriti i kruti te plinoviti uzorci. Uzorak je smješten u prozirnoj posudi (kiveti) koja je načinjena od kvarca. Ovim uređajem određivali smo klor, fluor, fenole i sulfate. Na slici 12 nalazi se uređaj Hach Lange DR 5000 korišten u istraživanju. [24]



Slika 12. Uređaj Hach Lange DR 5000

## 3) Shimadzu TOC – VCPN

Uređaj za analizu otopljenog organskog ugljika (DOC). Uzorci su zakiseljeni klorovodičnom kiselinom da bi se uklonio anorganski ugljik. Takav uzorak se ubrizgava u grijanu komoru u kojoj se nalazi katalizator, voda isparava, a organski ugljik oksidira u ugljični dioksid i vodu. Ugljični dioksid se mjeri pomoću infracrvenog detektora, a količina CO<sub>2</sub> je proporcionalna koncentraciji ugljika u uzorku. [24]

## 4) Konduktometar HACH Sension 156

Konduktivitet je indirektna mjera za ukupnu količinu otopljenih tvari u vodi. Određivanjem konduktiviteta u uzorku mjerimo sposobnost provođenja struje u istom i , možemo procijeniti količinu otopljenih tvari u vodi jer se



povećanjem primjesa (totalno otopljenih tvari) u vodi povećava električna vodljivost. Na slici 13 prikazan je konduktometar HACH Sension 156 korišten u istraživanju. [24]



Slika 13. Konduktometar Hach Sension 156

## 4. REZULTATI ISPITIVANJA

### 4.1. REZULTATI SPALJIVANJA

U tablici 2 prikazani su rezultati istraživanja ispitivanja fizikalno – kemijskih svojstava otpada te metali (kadmij i živa) u otpadu provedenih na Bioinstitutu d.o.o u Čakovcu. Spaljen je 1kg otpadne stakloplastike, a dobiveni su sljedeći rezultati.

Tablica 2. Rezultati spaljivanja uzorka stakloplastike

1.	Metali:	Jedinica:	O/1464/16	GRANIČNE VRIJEDNOSTI
1.1.	Kadmij	mg/kg	< 0,05	0,05 mg/l
1.2.	Živa	mg/kg	< 0,001	0,03 mg/l
2.	<b>Fizikalno – kemijski parametri</b>	<b>Jedinica:</b>	<b>O/1464/16</b>	
2.1.	Udio vode	%	0,27	
2.2.	Toplinska vrijednost – GORNJA	MJ/kg	9,197	
2.3.	Toplinska vrijednost – DONJA	MJ/kg	8,799	
2.4.	Sumpor	%	0,11	
2.5.	Kloridi	%	< 0,1	
2.6.	Vodik	%	1,94	

Prema dobivenim podacima spaljivanja otpadne stakloplastike, možemo vidjeti da metali kadmij i živa ne prelaze granične vrijednosti odnosno najviše dopuštene vrijednosti koncentracije onečišćujuće tvari u nefiltriranom uzorku koje su propisane *Pravilnikom o načinima i uvjetima termičke obrade otpada*. Prema istom tom Pravilniku, da bi se mogla obavljati djelatnosti termičke obrade, donja ogrjevna moć otpada (uz maksimalan sadržaj žive u otpadu) iznosi 25 MJ/kg. Kada se uzmu u obzir rezultati spaljivanja otpadne stakloplastike, može se vidjeti da sama otpadna stakloplastika nije dovoljna za termičku obradu, jer njezina donja toplinska (ogrjevna) vrijednost iznosi 8,799 MJ/kg. Da bi se isplatila, i uopće mogla provoditi termička obrada otpadne stakloplastike, potrebno je otpadnu stakloplastiku spaljivati u kombinaciji s nekim drugim otpadom koji ima veću donju ogrjevnu vrijednost.

Kako kadmij i živa ne prelaze graničnu vrijednost prepisanu Pravilnikom, otpad nastao spaljivanjem otpadne stakloplastike se smatra neopasnim otpadom.

## 4.2. REZULTATI LEACHING TESTA

U tablici 3 prikazani su rezultati dobiveni leaching testom. Parametri koji su ispitivani su sljedeći: arsen, barij, kadmij, krom, bakar, živa, molibden, nikal, olovo, antimon, selen, cink, klorid, fluorid, sulfat, fenolni indeks, otopljeni organski ugljik te ukupne rastopljene tvari. Dobiveni rezultati uspoređeni su s graničnim vrijednostima parametara eluata za inertni, neopasni i opasni otpad dostupnima u *Pravilniku o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada* (NN 114/15) i prema *Odluci Vijeća 2003/33/EZ od 19.prosinca 2002. o utvrđivanju kriterija i postupaka za prihvatanje otpada na odlagališta sukladno članku 16. i Prilogu II. Direktivi 1999/31/EZ, Službeni list Europske unije L 11, 16.1.2003..*

Tablica 3. Rezultati leaching testa

PARAMETRI	DOBIVENI REZULTATI [mg/kg]	GRANIČNA VRIJEDNOST PARAMETARA ELUATA T/K=10l/kg [23,27]		
		INERTAN OTPAD [mg/kg]	NEOPASNI OTPAD [mg/kg]	OPASNI OTPAD [mg/kg]
Arsen (As)	0,00883	0,5	2	25
Barij (Ba)	<DL	20	100	300
Kadmij (Cd)	0,00051	0,04	1	5
Krom (Cr ukupno)	<DL	0,5	10	70
Bakar (Cu)	0,1	2	50	100
Živa (Hg)	<DL	0,01	0,2	2
Molibden (Mo)	<DL	0,5	10	30
<b>Nikal (Ni)</b>	<b>0,67</b>	<b>0,4</b>	<b>10</b>	<b>40</b>
Olovo (Pb)	<DL	0,5	10	50
Antimon (Sb)	-	0,06	0,7	5
Selen (Se)	0,00111	0,1	0,5	7
<b>Cink (Zn)</b>	<b>190</b>	<b>4</b>	<b>50</b>	<b>200</b>
Klorid (Cl <sup>-</sup> )	15	800	15 000	25 000
<b>Fluorid (F<sup>-</sup>)</b>	<b>19,7</b>	<b>10</b>	<b>150</b>	<b>500</b>
Sulfat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	390	1 000	20 000	50 000
Fenolni indeks	0,12	1	-	-
Otopljeni organski ugljik - DOC	415,3	500	800	1 000
Ukupne rastopljene tvari - TDS	730	4 000	60 000	100 000

<DL → manje od detekcijskog limita

Rezultati dobiveni leaching testom izraženi su u mg/L i µg/L, a prema Pravilniku trebaju biti izraženi u mg/kg izračunati u omjeru tekuće čvrsto (L/S) od 10l/kg. Dobiveni rezultati, pomoću formule, pretvaraju se u potrebne mjerne jedinice, a formula je sljedeća[29]:

$$\text{sadržaj parametra } \left[ \frac{mg}{kg} \right] = \text{koncentracija parametra } \left[ \frac{mg}{l} \right] * \frac{L}{S} \text{ omjer } \left[ \frac{l}{kg} \right]$$

Nakon što se dobiju rezultati u odgovarajućim mjernim jedinicama, mogu se uspoređivati dobiveni rezultati leaching testa sa graničnim vrijednostima parametara eluata otpada propisane Pravilnikom.

Na temelju usporedbe parametara koji su ispitivani, vidi se da nikal, cink i fluorid ne zadovoljavaju granične vrijednosti parametara eluata. Nikal i fluorid prelaze graničnu vrijednost parametra eluata kod inertnog otpada, dok cink prelazi graničnu vrijednost parametra eluata kod neopasnog otpada.

Ako se otpadna stakloplastika namjerava odlagati na odlagalište otpada, prema dobivenim rezultatima, ta otpadna stakloplastika mora se odlagati na odlagalište opasnog otpada odnosno otpadnu stakloplastiku klasificiramo kao opasan otpad.

## 5. ZAKLJUČAK

Proizvodi od stakloplastike postaju sve popularniji i imaju dugi vijek trajanja, ali isto tako s vremenom dođe i kraj njihove upotrebe te tada treba na pravilan način zbrinuti taj otpad od stakloplastike.

Postoje tri načina recikliranja stakloplastike, a to su mljevenje, spaljivanje i piroliza. U radu su opisana četiri primjera recikliranja otpadne stakloplastike, od toga su tri eksperimentalne studije, a četvrti primjer je konkretan primjer iz Europe. U jednom primjeru su ispitivana mehanička svojstva geomaterijala za izradu kojeg bi se koristila staklena vlakana iz otpadne stakloplastike. Potom je rađena eksperimentalna studija o procesu pirolize kao metodi recikliranja otpadne stakloplastike, te je u sljedećem primjeru istraživano da li se otpadna stakloplastika tj staklena vlakna iz te otpadne stakloplastike mogu koristiti u proizvodnji staklo – keramičkog materijala. Zadnji, konkretan primjer, dolazi iz Europe. U tom primjeru, otpadna stakloplastika se odvozi u postrojenje u kojem se mrviti joj se podešava kalorijska vrijednost (dodavanjem drugog recikliranog materijala), nakon toga se tim otpadom snabdijevaju velike peći koje proizvode gotov cement.

Temeljem proučenih primjera mogu zaključiti da staklena vlakna iz otpadne stakloplastike, nakon recikliranja, mogu imati raznovrsnu primjenu. Dobivaju se različitim načinima obrade otpadne stakloplastike te su i produkti i načini primjene drugačiji. U nekim studijama rezultati su bili malo lošiji, dok u drugima dobri. Lošiji rezultati primijećeni su kod ispitivanja za dobivanje staklo – keramike dok su bolji rezultati primijećeni kod ispitivanja mehaničkih svojstava geomaterijala, ojačan staklenim vlaknima iz stakloplastike, za stabilizaciju tla. Ali to su, za sada, studije koje treba provesti u stvarnim mjerilima. U konkretnom primjeru se vidi da se otpadna stakloplastika melje te se koristi kod proizvodnje cementa, ali i kao gorivo u industrijama za proizvodnju cementa. Zaključak na temelju ovih primjera je da se otpadna stakloplastika reciklira mljevenjem te upotrebljava u proizvodnji cementa, ali se i dalje ispituju drugi načini obrade i zbrinjavanja stakloplastike.

## 6. LITERATURA

- [1] <http://www.boardguardian.hr/hr/home/polimeri> [pristupano: 12.08.2016.]
- [2] <https://www.fsb.unizg.hr/kziha/shipconstruction/kbuu458hrnv/poglavlje6/p62.htm> [pristupano: 01.08.2016.]
- [3] <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=16694> [pristupano: 14.08.2016.]
- [4] <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=48622> [pristupano: 14.08.2016.]
- [5] Lopwz, F.A., Martin, M.I., Alguacil, F.J., Rincon, J.Ma., Centeno, T.A., Romero, M., Thermolysis of fibreglass polyester composite and reutilisation of the glass fibre residue to obtain a glass – ceramic material, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Vol.93, 2012, pp.104 – 112. Dostupno na: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165237011001781> [pristupano: 12.08.2016.]
- [6] [http://www.eucia.eu/userfiles/files/20141008\\_market\\_report\\_grpcrp.pdf](http://www.eucia.eu/userfiles/files/20141008_market_report_grpcrp.pdf) [pristupano: 12.08.2016.]
- [7] <http://www.zelit.hr/usluge/poliesterski-laminat/> [pristupano: 01.08.2016.]
- [8] <http://www.reklamplast.hr/poliester.html> [pristupano: 01.08.2016.]
- [9] Zakon o održivom gospodarenju otpadom, NN 94/13, dostupno na: [http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013\\_07\\_94\\_2123.html](http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_07_94_2123.html) [pristupano: 13.08.2016.]
- [10] Pravilnik o načinima i uvjetima termičke obrade otpada, NN 45/07, dostupno na: <http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/297932.html> [pristupano: 10.08.2016.]

- [11] Pravilnik o katalogu otpada, NN 90/15, dostupno na: [http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015\\_08\\_90\\_1757.html](http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_08_90_1757.html) [pristupano: 02.08.2016]
- [12] <http://bigsalvage.tumblr.com/post/5478852012/recycling-processes-for-fiberglass> [pristupano: 09.08.2016.]
- [13] <http://brod.sfsb.hr/~ikladar/Materijali%20/Svojstva%20polimeria.pdf> [pristupano: 14.08.2016.]
- [14] [http://repozitorij.fsb.hr/785/1/12\\_11\\_2009\\_Diplomski\\_rad\\_mislav\\_kirac.pdf](http://repozitorij.fsb.hr/785/1/12_11_2009_Diplomski_rad_mislav_kirac.pdf) [pristupano:14.08.2016.]
- [15] Mujah, D., Ahmad, F., Hazarika, H., Safari, A., Evaluation of the mechanical properties of recycled glass fibers – derived three dimensional geomaterial for ground improvement. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 52, 2013, pp. 495 – 503. Dostupno na: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261300173X> [pristupano: 14.08.2016.]
- [16] Pinzani, G.P., Sauli, G., Long Term Efficiency of Erosion Control Geomats. Millpress, Rotterdam, Netherlands, 2006, ISBN 90-5966-044-7
- [17] Lutz, J.T., Grossman, R.F., Polymer modifiers and additives. In: Roberto, A.,-Anido, Lopez, Tarun, R.N., Gary, T.F., David, A.L., Vistasp, M.K. (Eds.), *Emerging Material for Civil Infrastructure: State of the Art*. ACSE, USA. 2001. ISBN 0-7844-0583-7.
- [18] de Marco, I., Legarreta, J.A., Laresgoiti, M.F., Torres, A., Cambra, J.F., Chomón, M.J., Caballero, B., Gondra, K., Recycling of the Products Obtained in the Pyrolysis of Fibre – Glass Polyester SMC, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 69 (2), 1997, pp. 187 – 192. Dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/230144125\\_Recycling\\_of\\_the\\_Products\\_Obtained\\_in\\_the\\_Pyrolysis\\_of\\_Fibre-Glass\\_Polyester\\_SMC](https://www.researchgate.net/publication/230144125_Recycling_of_the_Products_Obtained_in_the_Pyrolysis_of_Fibre-Glass_Polyester_SMC) [pristupano: 14.08.2016.]



- [19] SMC Automotive Alliance, Pyrolysis as a Means of Recycling Thermoset Composites, *46th Annual Conference Composites Institute*. The Society of the Plastic Industry, Inc., 1991, pp. 18 – 21
- [20] SMC Automotive Alliance, Recycling SMC – The Environmental Picture. *Reinforced Plastics, Special Feature*, 1992, pp. 36 – 43
- [21] Norris, D.R., Development of the pyrolysis process for recycling od SMC. *Eagle – Picher Plastics Division*, 1990, pp. 277 – 284
- [22] <https://fiberline.com/news/miljoe/breakthrough-recycling-fibreglass-now-reality> [pristupano: 09.08.2016.]
- [23] Pravilnik o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada, NN 114/15, dostupno na: [http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015\\_10\\_114\\_2184.html](http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_10_114_2184.html) [pristupano: 02.08.2016.]
- [24] Kuček, I., Recikliranje otpadnih brodova, diplomski rad, Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, 2013.
- [25] Anić-Vučinić A., Zebić M. (2009); Karakterizacija otpada i njegovo uzorkovanje; Zbornik radova; Znanstveno-stručni skup „Tehnologije zbrinjavanja otpada i zaštite tla“, Zadar
- [26] Zakon o otpadu, NN 178/04, dostupno na: <http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/313723.html> [pristupano: 20.08.2016.]
- [27] Odluka Vijeća 2003/33/EZ od 19.prosinca 2002. o utvrđivanju kriterija i postupaka za prihvata otpada na odlagališta sukladno članku 16. i Prilogu II. Direktivi 1999/31/EZ, Službeni list Europske unije L 11, 16.1.2003., str 27 – 49, dostupno na: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003D0033&from=HR> [pristupano: 20.08.2016.]
- [28] Energy research centre of the Netherlands: Environmental Criteria for cement based products, Netherlands 2011. Dostupno na: <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2011/e11020.pdf> [pristupano: 22.08.2016.]

## POPIS SLIKA

Slika 1: Klasifikacija kompozita prema vrsti ojačanja , 3. str [izvor: <https://www.fsb.unizg.hr/kziha/shipconstruction/kbuu458hrnv/poglavlje6/schema6.gif>]

Slika 2: Primjeri staklenih vlakana, 6.str

(a) [izvor: <https://www.podovi.org/armiranje-i-mikroarmiranje-bolje-performanse-betona-i-usteda-materijala/>]

(b) [izvor: [http://www.premix.co.rs/?page\\_id=2979](http://www.premix.co.rs/?page_id=2979) ]

Slika 3: Kemijski sastav staklenih vlakana, 7.str, [[http://www.slideshare.net/abiramprince/glass-fiber-manufacture-and-applications?next\\_slideshow=2](http://www.slideshare.net/abiramprince/glass-fiber-manufacture-and-applications?next_slideshow=2)].

Slika 4: Primjer primjene ugljičnih vlakana, 8.str [izvor: <http://www.f1puls.com/5761/tehnikalije-za-laike-karbonska-ugljicna-vlakna/>]

Slika 5: Primjer primjene Kevlara, 9.str [izvor: <http://www.dupont.co.uk/products-and-services/fabrics-fibers-nonwovens/fibers/brands/kevlar.html>]

Slika 6: Klupko (struk) vlakna, 9.str [izvor: <https://www.fsb.unizg.hr/kmb/200/230/kmb234.htm>]

Slika 7: Proizvodnja stakloplastike u Europi od 2004.godine [000 tona], 12.str, [izvor: [http://www.eucia.eu/userfiles/files/20141008\\_market\\_report\\_grpcrp.pdf](http://www.eucia.eu/userfiles/files/20141008_market_report_grpcrp.pdf)]

Slika 8. Simboli recikliranja polimera, 21.str, [izvor: <http://brod.sfsb.hr/~ikladar/Materijali%20I/Svojstva%20polimeria.pdf>]

Slika 9. Dimenzije uzorka geomaterijala u obliku broja 8, 23.str, [izvor: Mujah, D., Ahmad, F., Hazarika, H., Safari, A., Evaluation of the mechanical properties of recycled glass fibers – derived three dimensional geomaterial for ground improvement. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 52, 2013, pp. 495 – 503.

Dostupno na:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261300173X>

Slika 10: Uzorak stakloplastike, 29.str.

Slika 11: Uređaj Perkin Elmer AAnalyst 800 (spektrometar), 32.str [izvor: Kuček, I., Recikliranje otpadnih brodova, diplomski rad, Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, 2013.]

Slika 12: Uređaj Hach Lange DR 5000, 33.str [izvor: Kuček, I., Recikliranje otpadnih brodova, diplomski rad, Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, 2013.]

Slika 13: Konduktometar Hach Sension 156, 34.str [izvor: Kuček, I., Recikliranje otpadnih brodova, diplomski rad, Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, 2013.]

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1: Popis djelatnosti koje generiraju otpad, 17 – 18 str., [izvor: [http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2005\\_04\\_50\\_963.html](http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2005_04_50_963.html)]

Tablica 2: Rezultati spaljivanja uzorka stakloplastike, 35.str

Tablica 3: Rezultati leaching testa, 37.str