



Srednja šola za kemijo,
elektrotehniko in računalništvo

RECIKLIRANJE PET IZ ODPADNIH PLASTENK, Z NOVO METODO PREDELAVE V KOMPOZITNI MATERIAL

Raziskovalna naloga

Aplikativni inovacijski predlogi in projekti

Avtor: Alen Andrejčič, K-3.a

Mentor: Sebastian Klovar, dipl.
inž. kem. teh.

Mestna občina Celje, Mladi za Celje

Celje, marec 2022



Srednja šola za kemijo,
elektrotehniko in računalništvo

RECIKLIRANJE PET IZ ODPADNIH PLASTENK, Z NOVO METODO PREDELAVE V KOMPOZITNI MATERIAL

Raziskovalna naloga
Aplikativni inovacijski predlogi in projekti

Avtor: Alen Andrejčič, K-3.a

Mentor: Sebastian Klovar, dipl.
inž. kem. teh.

Mestna občina Celje, Mladi za Celje

Celje, marec 2022

VSEBINA

1	UVOD	7
1.1	NAMEN NALOGE	7
1.2	HIPOTEZE	7
2	TEORETIČNE OSNOVE	8
2.1	KOMPOZITNI MATERIAL	8
2.2	KERROCK	10
2.3	ALUMINIJEV HIDROKSID	11
2.4	POLIMERI	12
2.5	POLIETILEN TEREFTALAT (PET)	14
3	EKSPERIMENTALNO DELO	15
3.1	GRANULAT ALI PLASTENKE	16
3.2	OPTIMALNO RAZMERJE KOMPONENT	16
3.3	PRVI PRODUKT	16
3.4	RAZLIČNA RAZMERJA	20
3.5	VALIDACIJA PEČI	21
3.6	PEŠČENA KOPEL	23
3.7	PROBLEMI PRI PRIDELAVI	23
3.8	ANALIZE KOMPOZITA	24
3.8.1	OBNAŠANJE V TOPILIH	24
3.8.2	TRDOTA	27
3.8.3	PRIMERJAVA TRDOTE Z DRUGIMI MATERIALI	31
4	PRIMERI UPORABE	31
5	DISKUSIJA	31
5.1	I. HIPOTEZA	31
5.2	II. HIPOTEZA	32
5.3	III. HIPOTEZA	34
6	ZALKJUČEK IN NADALJNJE RAZISKAVE	35
7	VIRI LITERATURE	36
8	VIRI SLIK	37

KAZALO SLIK

Slika 1: PRIMER KOMPOZITA	8
Slika 2: OBLIKE UTRJEVALNIH FAZ	9
Slika 3: KERROCK	10
Slika 4: KERROCK	10
Slika 5: GIPSID MONOKLINSKI POLIMORF ALUMINIJEVEGA HIDROKSIDA	11
Slika 6: POLIPROPILEN	12
Slika 7: PRIMER DUROMERA	12
Slika 8: PRIMER TERMOPLASTA.....	13
Slika 9: PRIMER ELASTOMERA.....	13
Slika 10: MONOMERNA ENOTA PET.....	14
Slika 11: OZANKA ZA PET EMBALAŽO.....	14
Slika 12: OHLAJEN KOMPOZIT	17
Slika 13: NESTRJEN KOMPOZIT	17
Slika 14: PLASTENKA IN ALUMINIJEV HIDROKSID	18
Slika 15: HOMOGENA ZMES KOMPOZITA IZ PLASTENKE	18
Slika 16: HLADEN/STRJEN KOMPOZIT IZ PLASTENKE	19
Slika 17: NOTRANJA SESTAVA KOMPOZITA IZ PLASTENKE.....	19
Slika 18: GRAF VALIDACIJE PEČI.....	22
Slika 19: INVENTAR ZA ANALIZE OBNAŠANJA KOMPOZITA V TOPILIH.....	24
Slika 20: EPRUVETE IN KOMPOZIT.....	25
Slika 21: EPRUVETE S TOPILOM IN KOMPOZITOM.....	26
Slika 22: KOMPOZIT V 2 M NaOH	26
Slika 23: MERJENJE TRDOTE PO BRINELLU.....	27
Slika 24: ULTRA PRAZISION- PORTABLE HARDNESS TESTER- HARTIP 3000	29
Slika 25: MERITVE MA ULTRA PRAZISION- PORTABLE HARDNESS TESTER- HARTIP 3000	29
Slika 26: MERJENJE TRDOTE S TESTERJEM	30
Slika 27: NAPRAVA ZA MERJENJE TRDOTE BARCOL 934 I	32
Slika 28: GRAF PRETVORBE TRDOT	33

KAZALO TABEL

Tabela 1: MASNI DELEŽI KOMONENT	20
Tabela 2: VREDNOSTI VALIDACIJE	21
Tabela 3: TRDOTA KOMPOZITA	28
Tabela 4: TRDOTA DRUGIH MATERIALOV	28
Tabela 5: TRDOTA KOMPOZITA	31

ZAHVALA

Zahvaljujem se Šolskemu centru Celje, za finančno podporo ter laboratoriju, kjer so potekali prvi eksperimenti dane naloge.

Zahvalil bi se mentorju Sebastianu Klovarju, za pomoč pri usmerjanju in izvedbi moje raziskovalne naloge.

Nazadnje bi se še zahvalil prof. Valentini Hrastnik za lektoriranje raziskovalne naloge.

POVZETEK

Vsako leto na Zemlji proizvedemo več kot 300 milijonov ton plastičnih odpadkov, od tega proizvedemo vsako sekundo, vsakega dneva 1500 kosov plastenk, zato sem začel razmišljati, kako bi lahko pomagal k recikliranju teh snovi. [1]

Plastenke iz PET se uporabljajo za shranjevanje gaziranih in negaziranih pijač. Ker predstavljajo velik ekološki problem, zato so v preteklosti razvili različne metode recikliranja PET plastenk.

Vpeljava in razvoj nove metode za recikliranje PET plastenk, ki temelji na že znanem polimernem kompozitu s široko uporabo, ki se imenuje Kerrock, podjetja Kolpa, d.d.

Namen raziskovalne naloge je ugotoviti kako pretvoriti odpadno plastiko v uporaben kompozit.

V tej raziskovalni nalogi sem izdelal in predstavil polimerni kompozit, ki ima za polimerno osnovo PET in utrjevalno fazo aluminijev (III) hidroksid ter postopek sinteze kompozitnega materiala in nekatere fizikalno kemijske analize, ki sem jih naredil v šolskem laboratoriju (trdota, obnašanje v topilih).

Dobljeni kompozit je trden in je odporen na kisline in organska topila, slabše pa na baze, zato se priporoča, da se ob stiku z bazo, čim prej obriše s površine.

KLJUČNE BESEDE: kompozit, plastenke, ponovna uporaba, reciklaža, PET, aluminijev hidroksid, trdota, odpornost na kemikalije.

ABSTRACT

Every year on Earth we produce over 300 million tons of plastic waste. Every second, of every day 1500 pieces of plastic bottles are produced. So I started thinking, how can I help to recycle those materials

Bottles from PET are used to store carbonated and non-carbonated beverages. Because they pose a major environmental problem, various methods of recycling PET bottles have been developed in the past.

Introduction and development of a new method for recycling PET bottles based on the already known widely used polymer composite called Kerrock, Kolpa, d.d.

The goal of this research project is to find a way to convert waste plastic into a usable composite.

In this research paper I will present the process of making this composite material which has a polymer base PET and hardening phase of aluminium (III) hydroxide and the results of some physico-chemical analysis I did in the school laboratory. (hardness, solvent behavior).

The resulting composite is solid and resistant to acids and organic solvents, but not so resistant to bases, so it is recommended that when in contact with the base, wipe off the surface as soon as possible.

KEY WORDS: composite, plastic, reuse, recycling, PET, aluminum hydroxide, hardness, resistance to chemicals.

1 UVOD

Splošno znano je da je odpadna plastika eden največjih problemov sodobne civilizacije. Iz leta v leto se količina plastike povečuje, nekaj te se reciklira, a kljub temu je ostaja veliko zavržene v naravi. Sam sem si zadal nalogo, da bi čim več teh odpadkov pridelal v nekaj, kar bi lahko ponovno uporabili in s tem zmanjšali obremenjenost okolja.

Pri iskanju literature nismo našli knjižnih virov o tem kompozitu.

1.1 NAMEN NALOGE

Glavni namen je spremeniti odpadno plastiko v uporaben material. S profesorjem sva prišla do ideje, da bi lahko granulat platenke pomešali z aluminijevim hidroksidom, dano zmes stalili in iz tega naredili produkt, ki je po zgradbi podoben kerrocku.

Zatem sem hotel narediti analizo danega produkta in ga primerjati z lastnostmi kerrocka ter ugotoviti za kaj se lahko kompozit uporabi in iz tega narediti prve prototipe izdelka raziskovalne naloge.

1.2 HIPOTEZE

Pred začetkom naloge sem postavil 3 hipoteze:

1. HIPOTEZA:

- Razmerje komponent kompozita ($\text{Al}(\text{OH})_3$ in PET) vpliva na končno trdoto izdelka. Sam polimer PET je zelo mehak, ko pa vanj vgradimo še anorgansko snov, le ta postane trden, ki pa je odvisna od deleža posamezne komponente.

2. HIPOTEZA

- Z ustreznim razmerjem komponent kompozita lahko dosežemo trdoto primerljivo z drugimi kompoziti z aluminijevim hidroksidom, na primer Kerrock. Ker se trdota kompozita spreminja, glede na vsebnost posameznih komponent, bomo to trdoto dobili z ustreznim razmerjem le teh. Kerrock je polimerni kompozit, s širokim spektrom uporabe, zato se želimo približati tem lastnostim.

3. HIPOTEZA

- Kompozit bo dobro odporen na kisline, baze in ostala organska topila. Aluminijeva baza je amfoterna in je dobro topna v kislinah in bazah, če pa jo vežemo v polimerno matrico, se topnost zmanjša.

2 TEORETIČNE OSNOVE

2.1 KOMPOZITNI MATERIAL

Kompozitni materiali so sestavljeni iz dveh ali več komponent. Lahko jih sestavljamo v različne vrste sklopov, pri katerih se lastnost posamezne komponente optimalno izkorišča.

VRSTE KOMPOZITOV

MATERIAL OSNOVE:

- KOVINSKE (MMCs),
- KERAMIČNE (CMCs),
- POLIMERNE (PMCs).

OBLIKA UTRJEVALNE FAZE:

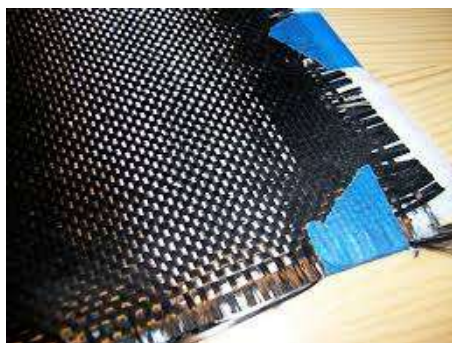
- Kompozite, utrjene z delci,
- Kompozite, utrjene s kosmiči,
- Kompozite, utrjene z vlakni,
- Strukturne kompozite.

OSNOVA daje kompozitu obliko. Zagotavlja ustrezno nosilnost in obremenitve prenaša na vlakna, zavira napredovanje razpok, utrjevalno fazo pa ponavadi ščiti pred okolico.

KOVINSKE OSNOVE imajo največkrat veliko trdnost in žilavost, visoko elastičnost pa dosežemo z utrjevanjem z vlakni.

KERAMIČNE OSNOVE imajo veliko trdnost in so zelo krhke. So odporne proti toplotnim ali mehanskim šokom ter imajo nizko toplotno prevodnost.

POLIMERNE OSNOVE imajo manjšo trdnost kot kovinski. Imajo zelo majhno gostoto in so dobro odporni proti kemikalijam in vodi.

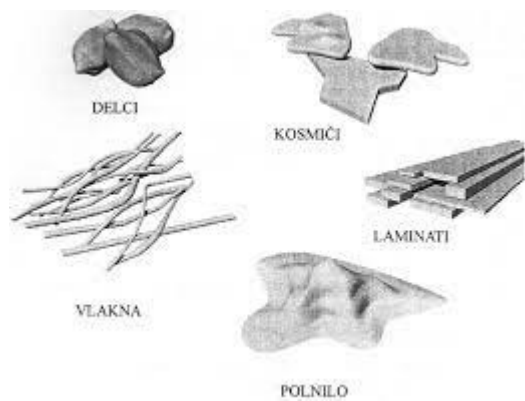


Slika 1: PRIMER KOMPOZITA

MATRIČNI MATERIAL je vezivo, ki daje kompozitni strukturi končno obliko ter določa parametre proizvodnega procesa.

UTJEVALNA FAZA je nezvezna sestavina kompozita, ki izboljša mehanske lastnosti zvezne sestavine - osnove; s tem dosežemo željene lastnosti. Glede na obliko jih delimo na delce, kosmiče, vlakna, lističe in polnila.

[2]



Slika 2: OBLIKE UTRJEVALNIH FAZ

2.2 KERROCK

Kot inspiracijo za nalogo mi je mentor predstavil Kerrock, ki je kompozitni material sestavljen iz aluminijevega hidroksida in PMMA (polimetilmetakrilata). Pri tem sva prišla na idejo, da PMMA zamenjava s polietilen tereftalatom (PET), ki je glavna sestavina za izdelavo plastenk za shranjevanje pijač v prehrambeni industriji.

Kerrock je neporozen, gladek in homogen kompozit, je tudi ekološko prijazen, pridobil je certifikat ISO 14001 (standard za sistem ravnanja z okoljem).

Njegovi primeri uporabe so predvsem v kuhinjah in kopalnicah kot pulti, umivalniki, kadi tuši in je odličen nadomestek keramike. [10]

TRDOTA KERROCKA:

Trdota izmerjena po ASTM (American society for testing and materials) D2 583 (barcol 934 l) ima vrednost med 58 B in 65 B; ta vrednost je trdota po Barcolu.

Trdota Kerrocka po Brinellu znaša med 45 in 50 HB.



Slika 3: KERROCK



Slika 4: KERROCK

2.3 ALUMINIJEV HIDROKSID

Aluminijev hidroksid je spojina s kemijsko formulo $Al(OH)_3$, v naravi ga najdemo kot mineral gipsit. Gipsit (angl. Gibbsite) ima zgradbo, ki je značilna za kovinske hidrokside z vodikovimi vezmi. Zgrajen je iz dvojnih slojev OH skupin z vmesnimi aluminijevimi ioni, ki zasedajo 66 % oktaedrskih lukenj med dvema slojema.

Aluminijev hidroksid je amfoteran, to pomeni da lahko reagira kot kislina ali pa kot baza.

PRIMER:

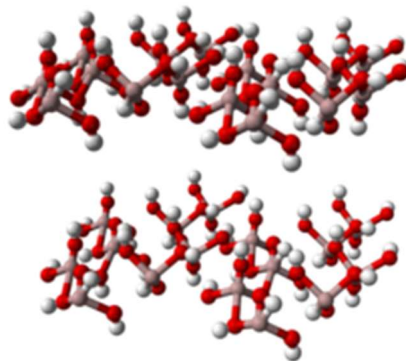
Kot baza - nevtralizira kislino: $Al(OH)_3 + 3HCl \rightarrow AlCl_3 + 3H_2O$

Kot kislina - nevtralizira bazo: $Al(OH)_3 + NaOH \rightarrow Na[Al(OH)_4]$

Aluminijev hidroksid ima štiri polimorfe:

- Monoklinski gipsit
- Heksagonalni bajerit
- Triklinski nordstrandit
- Dojelit

[6]

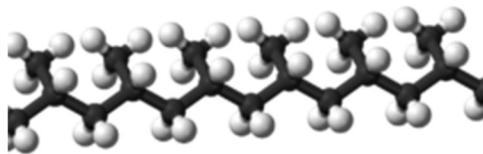


Slika 5: GIPSID MONOKLINSKI POLIMORF ALUMINIJEVEGA HIDROKSIDA

2.4 POLIMERI

Polimeri so večje molekule (makromeri), sestavljene iz več manjših strukturnih enot (monomeri), ki so povezani s kovalentno vezjo.

Poznamo naravne in umetne polimere. Naravni polimeri so hitin, celuloza, škrob, protein. Umetni ali sintetični polimeri so plastične mase. Ti se proizvajajo v velikih količinah za različne namene.



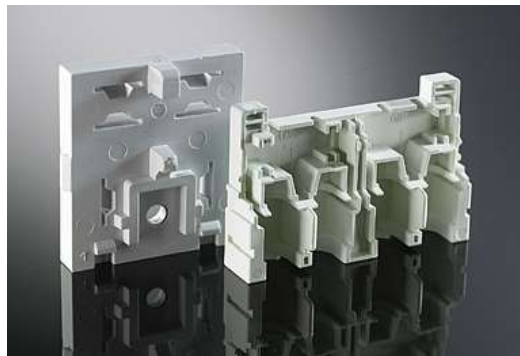
Slika 6: POLIPROPILEN

Glavne značilnosti polimerov so:

- dobra kemijska odpornost,
- majhna gostota,
- majhna trdnost in kemijska odpornost pri visokih temperaturah,
- majhen modul elastičnosti,
- dobra preoblikovalnost pri nizkih temperaturah v primerjavi s kovinami in plastiko.
-

Umetne snovi ločimo na 3 glavne skupine:

- DUROMERI - ti so močno zamrežene makromolekule, so krhke in trde,



Slika 7: PRIMER DUROMERA

- TERMOPLASTI - tudi plastomeri so sestavljeni iz nezamreženih makromolekul. Lahko jih preoblikujemo, saj pri segrevanju postanejo plastični. PET in PMMA sta oba termoplasta.



Slika 8: PRIMER TERMOPLASTA

- ELASTOMERI - gume imajo šibko zamrežene makromolekule, te plastično ne moremo preoblikovati. [7]

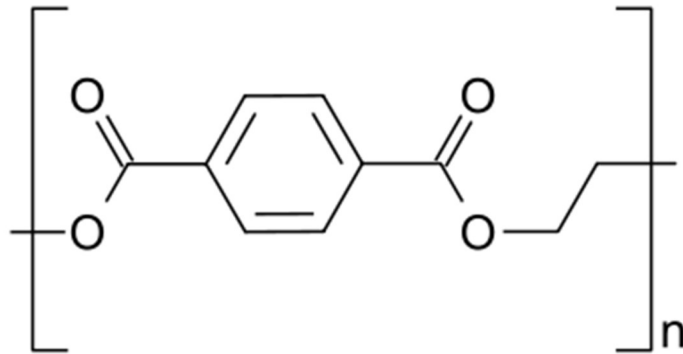


Slika 9: PRIMER ELASTOMERA

2.5 POLIETILEN TEREFTALAT (PET)

PET je termoplastična poliestrska smola iz etilen glikola in tereftalne kisline. Temperatura tališča je 256 °C. [4]

Njena uporaba je zelo razširjena uporablja se za izdelavo vlaken in filmov ter za izdelavo umetnih vlaken in je glavna sestavina pri izdelavi plastenk za brezalkoholne in alkoholne pijače. [3] [5]



Slika 10: MONOMERNA ENOTA PET



Slika 11: OZANKA ZA PET EMBALAŽO

Trikotnik kot mednarodni simbol pomeni, da izdelek lahko recikliramo. Praviloma je sredi trikotnika napisana številka, spodaj pa je kratica, ki označuje vrsto materiala. [11]

3 EKSPERIMENTALNO DELO

Zapisano je razmerje, ki se je med razvojem pokazalo za najbolj ustrezno.

Za pripravo 50 g kompozita, na precizni tehtnici zatehtamo 30 g *PET* in 20 g *Al(OH)₃*.



Zmes prenesemo v žarilni lonček in prižgemo žarilno peč ter nastavimo njeno temperaturo na 250 °C ter počakamo, da se segreje.



Z laboratorijskimi kleščami žarilni lonček postavimo v žarilno peč, jo zapremo ter počakamo da se *PET* stali.



Po taljenju, vzamemo žarilni loček iz peči in zmes premešamo s spatulo, da iz heterogene nastane čim bolj homogena zmes materialov. Nato postavimo žarilni lonček nazaj v žarilno peč in vrata peči zapremo.



Peč ugasnemo in počakamo, da se kompozit ohladi.

3.1 GRANULAT ALI PLASTENKE

Na začetku sem pri sintezi kompozita uporabljal na drobno narezane plastenke. A sem za nadalje raziskave uporabil granulat *PET* zaradi lažje manipulacije. Za to sem se obrnil na lokalno podjetje ALPLA SLOVENIJA, d.o.o., iz Celja, ki so mi priskrbeli potreben material. Dani granulati imajo tališče 250 °C.

Kompoziti, ki so bili narejeni iz plastenek, in tisti, ki so bili narejeni iz granulata *PET*, so bili ne glede na zgradbo, se glede na strukturo in lastnosti med seboj niso razlikovali.

3.2 OPTIMALNO RAZMERJE KOMPONENT

Ker je Kerrock sestavljen iz *PMMA* in aluminijevega hidroksida v razmerju 2 : 3, sem tudi jaz za prvi poskus uporabil 60 % *PET* in 40 % $Al(OH)_3$. To se je v nadaljevanju izkazalo kot najboljše razmerje med obema sestavinama. V nadaljevanju sem spreminjal razmerje komponente *PET* od 30 % do 80 % *PET* in ustrezno količino $Al(OH)_3$.

3.3 PRVI PRODUKT

Za prvi kompozit sem uporabil 60 % *PET* in 40 % $Al(OH)_3$; skupna masa kompozita je bila 20 g.

Masa posameznih komponent se izračuna po sledeči enačbi:

$$w_a = \frac{m_a}{m_{ab}}$$

$$w_b = \frac{m_b}{m_{ab}}$$

w_a masni delež aluminijevega hidroksida [$Al(OH)_3$]

w_b masni delež *PET*

m_a masa aluminijevega hidroksida

m_b masa *PET*

m_{ab} skupna masa (KOMPOZIT)

Če enačbo obrnemo, lahko izrazimo maso posamezne komponente:

$$m_a = w_a \times m_{ab}$$

$$m_b = w_b \times m_{ab}$$

Ko v enačbo vstavimo ustrezne vrednosti za 20 g kompozita potrebujemo 12 g *PET* in 8 g $Al(OH)_3$.

Na spodnji sliki vidite dobljen kompozit. Na zgornji sliki je viden strjen vzorec kompozita, na spodnji je zmes kompozita, ki je bila pravkar vzeta iz žarilne peči in je še staljena.



Slika 12: OHLAJEN KOMPOZIT



Slika 13: NESTRJEN KOMPOZIT



Slika 14: PLASTENKA IN ALUMINIJEV HIDROKSID



Slika 15: HOMOGENA ZMES KOMPOZITA IZ PLASTENKE



Slika 16: HLADEN/STRJEN KOMPOZIT IZ PLASTENKE



Slika 17: NOTRANJA SESTAVA KOMPOZITA IZ PLASTENKE

Kompozit je podoben keramiki ter ima gladko površino. Sprva me je spominjal na keramične pulte, ki jih imamo v laboratoriju. Z mojim produktom sem bil zadovoljen. A me je zanimalo, kakšen bi bil kompozit, če bi uporabil drugačna razmerja komponent.

3.4 RAZLIČNA RAZMERJA

Za naslednje poskuse sem uporabljal sledeče masne deleže.

Tabela 1: MASNI DELEŽI KOMPONENT

w ($Al(OH)_3$) [%]	w (PET) [%]
20	80
30	70
40	60
50	50
70	30

Pri vseh vzorcih je bila skupna masa kompozita 20 g.

Glede na izgled kompozitov lahko vidimo, da večja, kot je količina *PET* bolj je površina kompozita gladka.

Pri preveliki količini aluminijevega hidroksida (>70 %) ni bilo mogoče dobiti homogene zmesi. Dobljen kompozit je imel veliko napak na površini kot tudi v sredini kompozita, v katerih je bil viden bel prah aluminijevega hidroksida, ki se ni pomešal s taljenim *PET*.

Najboljše razmerje je bilo tisto, pri katerem je bilo razmerje obeh komponent 60 % in 40 %. Masni delež *PET* ni smel biti večji od 70 %, saj je bil potem kompozit bolj krhek.

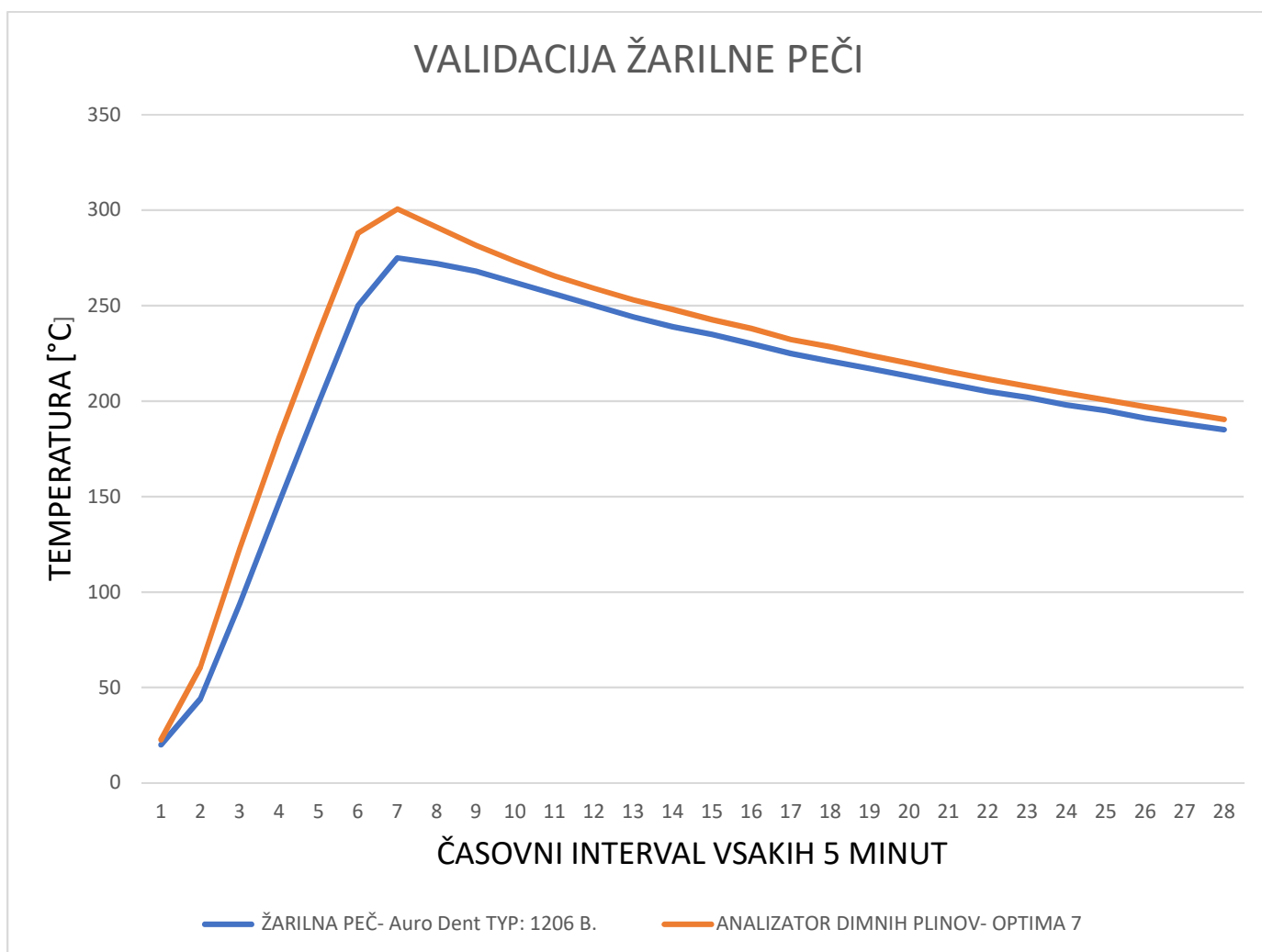
3.5 VALIDACIJA PEČI

Pri taljenju *PET* sem uporabljal žarilno peč znamke Auro Dent TYP: 1206 B. Preden sem začel s taljenjem, sem za zagotovitev točnosti rezultatov peč predhodno še validiral. Za validacijo peči sem uporabil analizator dimnih plinov Optima 7, ki ima integriran kalibriran temperaturni senzor. Peč sem nastavil na temperaturo 275 °C ter vanjo vstavil temperaturni senzor analizatorja ter nastavil zajemanje podatkov. Na podlagi tega sem dobil sledeče rezultate:

Tabela 2: VREDNOSTI VALIDACIJE

Temp. Žarilne peči [°C]	Temp. Optima 7 [°C]
20	22,6
44	60,7
94	122,9
147	181,1
199	235,6
250	287,9
275	300,6
272	291,1
268	281,6
262	273,2
256	265,6
250	259,1
244	253,0
239	248,0
235	242,7
230	238,0
225	232,1
221	228,5
217	224,0
213	219,8
209	215,6
205	211,6
202	207,8
198	204,2
195	200,6
191	197,1
188	193,8
185	190,5

Iz validacije je razvidno, da smo vse zmesi dejansko segrevali na 259,1 °C. Peč je bila nastavljena na 250 °C. Hitrost segrevanja sem nastavil na 9 °C na minuto in primerjal temperature. Najlepše homogene zmesi v tekočem stanju, sem dobil pri dejanski temperaturi 259,1 °C.



Slika 18: GRAF VALIDACIJE PEČI

3.6 PEŠČENA KOPEL

Poleg žarilne peči sem poskusil staliti *PET* v peščeni kopeli. To sem naredil tako, da sem kovinski krožnik napolnil z mivko ter vanj postavil keramično izparilnico, v kateri je bila zmes za pripravo kompozita. Izparilnico sem začel segrevati na gorilniku, dokler se *PET* ni stalil. Nato sem zmes dobro premešal in po ohlajanju dobil kompozit.

Zaradi obstoječe velikosti, peščena kopa ni bila tako količinsko učinkovita kakor žarilna peč, res je da sem imel vpogled v celoten postopek taljenja, a ta postopek enostavno traja predolgo in sem lahko delal samo en kompozit naenkrat.

3.7 PROBLEMI PRI PRIDELAVI

Največji problem je predstavljalo hitro strjevanje kompozita, ko je bil kompozit vzet iz žarilne peči, je trajalo 30 sekund, da se je strdil. Zaradi hitrega strjevanja je prišlo do razpok v samem materialu.

Ta problem sem rešil tako, da sem kompozit pustil v ugasnjeni žarilni peči čez noč, da se je počasi ohladil. Zaradi tega ni razpokal in je bil primeren za nadaljnje analize.

3.8 ANALIZE KOMPOZITA

3.8.1 OBNAŠANJE V TOPILIH

Namen te analize, je bila določitev kemijske odpornosti kompozita na različne kemikalije, ki jih srečujemo v laboratoriju, ali v domačem okolju.

Za to analizo sem uporabil različne kemikalije;

3.8.1.1 KEMIKALIJE

- deionizirana voda,
- etanol,
- heksan,
- cikloheksan,
- dušikova kislina,
- žveplova kislina,
- natrijev hidroksid,
- očetna kislina,
- aceton.



Slika 19: INVENTAR ZA ANALIZE OBNAŠANJA KOMPOZITA V TOPILIH

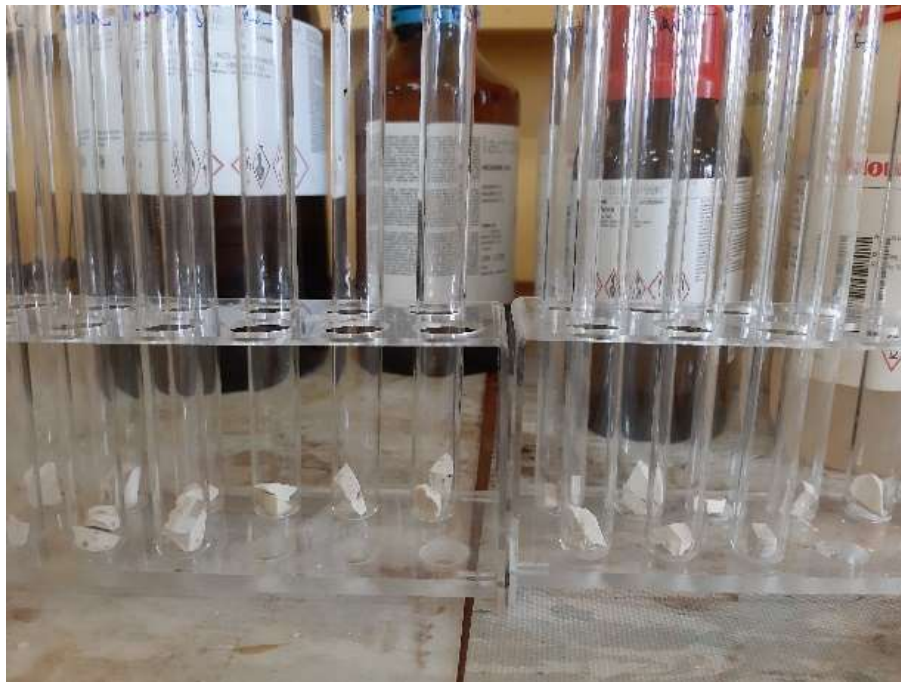
3.8.1.2 POTEK ANALIZE

V vsako epruveto sem dal kos vzorca kompozita ter vanjo nalil določeno topilo, katerega sem nalil toliko, da je prekrival celoten kos vzorca. Nato sem epruveto zaprl z zamaškom ter vse pustil stati en teden.

Po pretečenem času sem organoleptično določil lastnosti materiala.

Poskus sem delal z dvema vzorcema kompozita . V enem je bilo razmerje $Al(OH)_3$: *PET* 2 : 3; v drugem je razmerje $Al(OH)_3$ in *PET* znašalo 3 : 2.

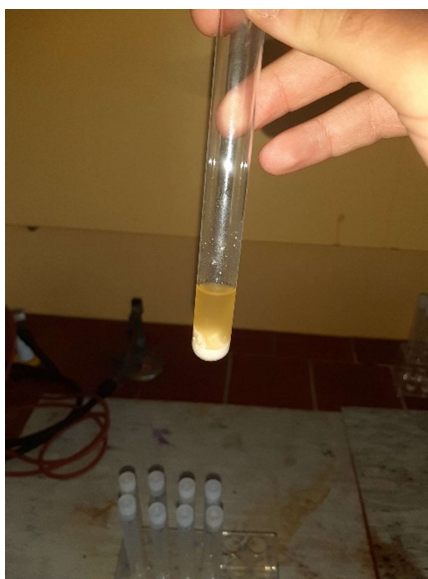
Oba kompozita sta odporna na kisline in organska topila. Slabše sta obstojna v bazičnem mediju, saj se je površina nekoliko zmeščala, zato lahko sklepam, da ta vrsta polimernega kompozita ni primerna za dolgotrajen stik z močnimi bazičnimi raztopinami.



Slika 20: EPRUVETE IN KOMPOZIT



Slika 21: EPRUVETE S TOPILOM IN KOMPOZITOM



Slika 22: KOMPOZIT V 2 M NaOH

3.8.2 TRDOTA

Namen analize je bil določanje trdote s pomočjo merilnika ULTRA PRAZISION- PORTABLE HARDNESS TESTER- HARTIP 3000, napravo sem nastavil na merjenje trdote po Brinellu.

3.8.2.1 TRDOTA PO BRINELLU

Trdoto po Brinellu ugotavljamo z vtiskanjem trde kaljene kroglice iz jekla, ki ima premer od 1,00 do 10,00 milimetra.

Kroglico z določeno silo (F) potisnemo na ravno površino materiala. Nato izmerimo premer (d) vtisnjene vdolbine in njeno površino izračunamo (A).

Trdoto po Brinellu (HB) pove razmerje med pritiskno silo (F) in površino vdolbine (A).

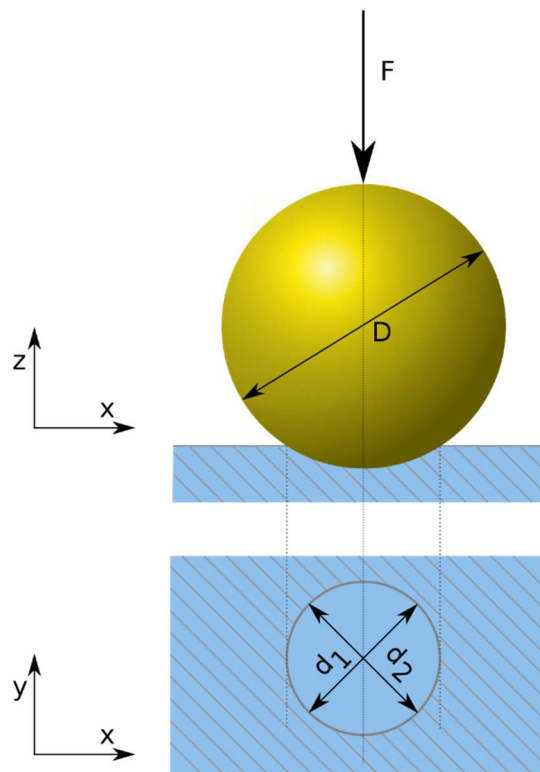
Debelino jeklene kroglice izbiramo na podlagi debeline preizkušene materiala. Za tanjši material uporabljamo kroglice z manjšim premerom (D), za debelejši material pa kroglice z večjim premerom (D).

Na podlagi debeline kroglice izbiramo s katero silo pritiskamo na material, ki ga analiziramo.

Trdota po Brinellu se izračuna po sledeči enačbi:

$$HB = \frac{F}{A}$$

Sila F se meri v Newtnih, površina A pa v mm². [8]



Slika 23: MERJENJE TRDOTE PO BRINELLU

3.8.2.2 POTEK VAJE

Z merilnikom ULTRA PRAZISION - PORTABLE HARDNESS TESTER- HARTIP 3000, sem izmeril trdoto kompozitnim materialom, z različnimi masnimi deleži $Al(OH)_3$ in PET. S tem sem hotel ugotoviti, kako masni delež PET vpliva na trdoto kompozita.

Naprava meri trdoto glede na odboj kroglice, ki pade na gladko površino materiala.

Na merilniku sem nastavil metodo za merjenje po Brinellu. Merilno sondo sem postavil na ravno podlago kompozita in pritisnil gumb, ob katerem je kroglica padla na površino in se odbila. Senzor je zaznal višino odboja in na zaslonu se je napisala vrednost trdote.

3.8.2.3 REZULTATI

Vsi rezultati so aritmetična sredina petih zaporednih meritev.

Tabela 3: TRDOTA KOMPOZITA

Masni delež PET [%]	Trdota kompozita [HB]
40	108,00
60	125,25
70	80,25
80	Naprava ni zaznala trdote, kompozit je počil ob padcu kroglice nanj

Poleg trdote različnih vzorcev kompozita sem izmeril trdoto še naslednjih materialom in rezultate primerjal:

Tabela 4: TRDOTA DRUGIH MATERIALOV

Material	Trdota [HB]
Baker	89
Keramična izparilnica	157,67
PET	20
Aluminij	173

Največjo trdoto je imel kompozitni material z $w(PET) = 60\%$, in sicer s trdoto 125,25 HB, za njim je bil 40 % kompozit z vrednostjo 108,00 HB.

Najmanjšo trdoto je imel kompozit, v katerem je bil masni delež PET enak 80 %, saj se je že pri udarcu kroglice na površino zdrobil.

Največjo vrednost po Brinellu sta imela kompozita, v katerih je bil masni delež PET 60 % in 40 %.

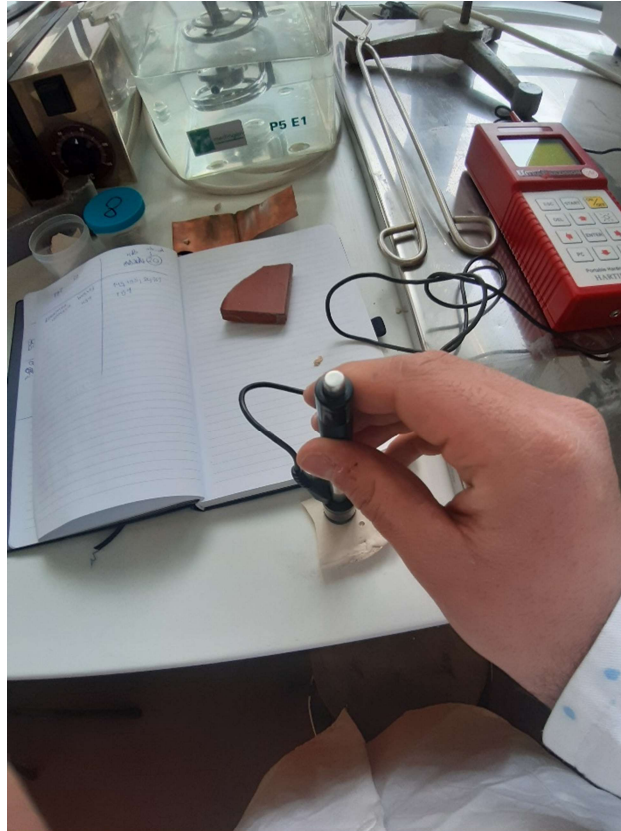
Tako je najbolj primeren kompozit v katerem je masni delež PET 60 %.



Slika 24: ULTRA PRAZISION- PORTABLE HARDNESS TESTER- HARTIP 3000



Slika 25: MERITVE MA ULTRA PRAZISION- PORTABLE HARDNESS TESTER- HARTIP 3000



Slika 26: MERJENJE TRDOTE S TESTERJEM

3.8.3 PRIMERJAVA TRDOTE Z DRUGIMI MATERIALI

Za primerjavo bom vzel kompozit, ki ima trdoto 125,25 HB.

V primerjavi s keramično izparilnico ima kompozit manjšo trdoto, za vrednost 32,42 HB ima pa večjo trdoto kot sam *PET*.

V primerjavi z bakrom, ki je mehka kovina, je trdota večja za 36,25 HB. Aluminij ima večjo trdoto kot sam kompozit.

4 PRIMERI UPORABE

Kompozit se lahko uporablja kot nadomestilo keramiki. Primeren je za izdelavo ploščic, pultov in ob ustrezni obdelavi tudi za umivalnike.

Ob dodajanju steklenih vlaken, pa se bo trdnost še povečala in njegova uporaba bo primerna za kakšne bolj obremenjujoče funkcije.

Zaenkrat se bom osredotočil na izdelavo ploščic iz kompozita, saj menim, da je glede na izdelavo to najlažji produkt.

Končni kompozit se da staliti v temperaturnem območju med 250 °C do 260 °C in je primeren za ponovno uporabo. Lahko ga vlijemo v silikonske kalupe in s tem naredimo druge izdelke.

5 DISKUSIJA

5.1 I. HIPOTEZA

- Razmerje komponent kompozita ($Al(OH)_3$ in *PET*) vpliva na končno trdoto izdelka.

Hipoteza je potrjena, saj so različni masni deleži posameznih komponent vplivali na trdoto danega kompozita.

Tabela 5: TRDOTA KOMPOZITA

Masni delež <i>PET</i> [%]	Trdota kompozita [HB]
60	125, 25
70	80,25

Največjo trdoto je imel kompozit z masnim deležen $Al(OH)_3$ 40 %, najmanjšo pa kompozit z masnim deležem $Al(OH)_3$ 20 %.

Zato je tudi optimalno razmerje aluminijevega hidroksida in *PET* 2 : 3 in 3 : 7.

5.2 II. HIPOTEZA

- ustreznim razmerjem komponent kompozita lahko dosežemo trdoto primerljivo z drugimi kompoziti z aluminijevim hidroksidom, na primer Kerrock.

Za primerjavo bom vzel vzorec z največjo trdoto, to je bil kompozit z razmerjem *PET* in *Al(OH)₃*, 3 : 2.

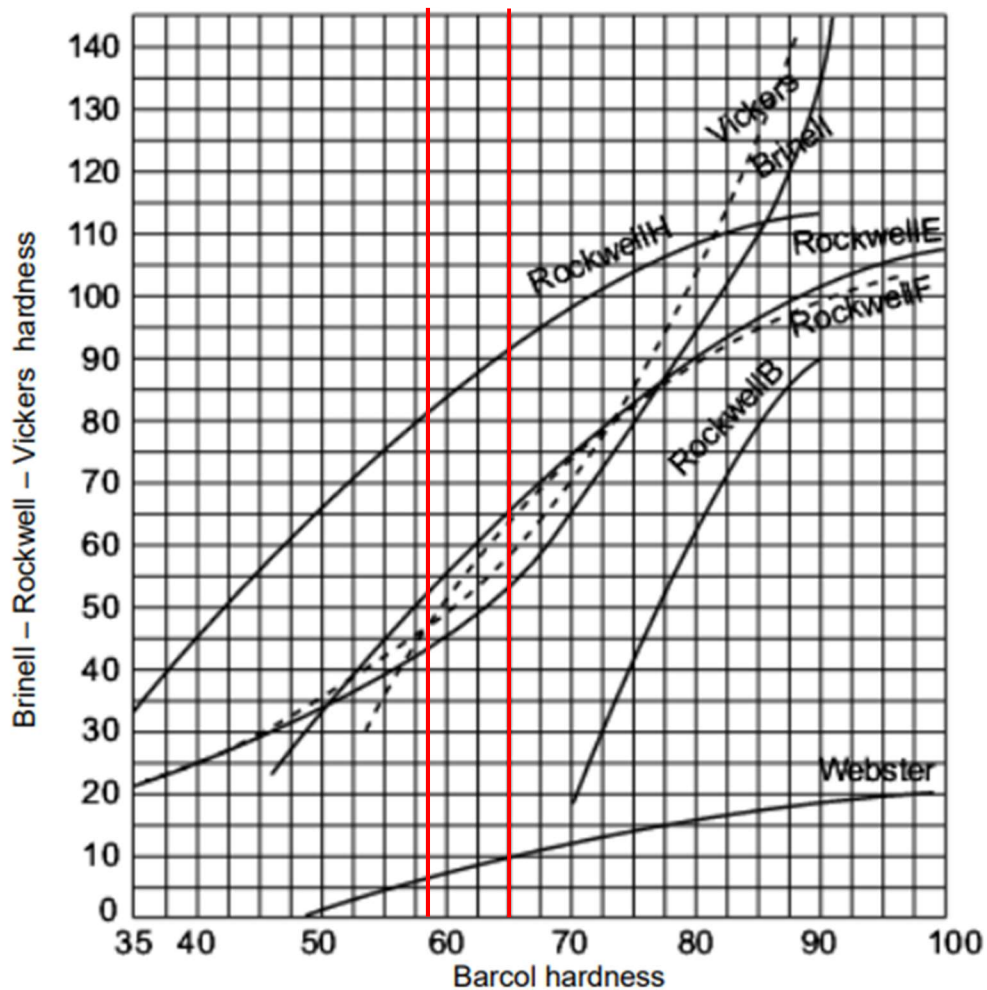
TRDOTA KERROCKA:

Trdota izmerjena po ASTM (American society for testing and materials) D2 583 (barcol 934 I) ima vrednost med 58 B in 65 B; ta vrednost je trdota po Barcolu.

Po sledečem grafu lahko trdoto po Barcolu pretvorimo v trdoto po Brinellu. [9] [11]



Slika 27: NAPRAVA ZA MERJENJE TRDOTE BARCOL 934 I



Slika 28: GRAF PRETVORBE TRDOT

Na proizvajalčevi strani je zapisana trdota kerrocka, ki znaša od 58 do 65 po Barcolu, kar znaša glede na pretvorbo od 38 do 48 HB po Brinellu. Pretvorba je bila narejena z namenom, da smo lahko preverjali trdoto kerrocka z rezultati našega kompozita. Ugotovili smo, da smo dobili material, ki ima višjo trdoto od kerrocka in je dovolj kvaliteten za uporabo ter nadaljnje raziskave, zato lahko potrdim to hipotezo. [9] [11]

5.3 III. HIPOTEZA

- Kompozit bo dobro odporen na kisline, baze in organska topila.

Kompozit je kemijsko obstojen glede na sestavo, $Al(OH)_3$: *PET* 2 : 3; v drugem je razmerje $Al(OH)_3$ in *PET* znašalo 3 : 2. v vseh organskih topilih (ki smo jih imeli na voljo v laboratoriju) in tudi v kislem, slabše pa sta obstojna v bazičnem mediju, zato je moja hipoteza delno potrjena in delno ovržena.

6 ZALKJUČEK IN NADALJNJE RAZISKAVE

Do sedaj sem naredil osnovo za kompozitni material. Izmeril sem trdoto in odpornost na kisline, organska topila in baze, moje nadaljnje delo pa po izpopolnjevanje danega izdelka. V kompozit nameravam vgraditi steklena vlakna različnih oblik in ga s tem ojačati ter narediti uporabnega.

Ker sem se v tej nalogi omejil predvsem na šolske naprave in postopke, se nameravam v nadaljevanju povezati s Fakulteto za polimere in tehnologije v Slovenj Gradcu in s podjetjem Kolpa, d.o.o., ki imajo veliko izkušenj pri izdelavi polimernega kompozita.

Glavni cilji za naslednje leto so torej:

- uporabiti vlakna,
- izmeriti toplotno prevodnost,
- izmeriti natezno in upogibno trdnost
- dodajanje barvil.
- termoformiranje ter
- tako dobiti praktično uporaben izdelek, ki bo zagotavljal zahteve po konstantnih mehanskih lastnostih in odpornosti na kemijske reagente.

7 VIRI LITERATURE

- [1] <https://www.jerseyislandholidays.com/plastic-bottle-pollution-statistics/> (datum dostopa: 24.2.2022)
- [2] <http://lab.fs.uni-lj.si/latem/IZPITI-IN-PREDAV/STURM/Slike%20s%20predavanj/20-Kompozitni%20materiali.pdf> (datum dostopa: 24.2.2022)
- [3] <https://sh.wikipedia.org/wiki/Polietilentereftalat> (datum dostopa: 25.2.2022)
- [4] <https://www.eionet.europa.eu/gemet/sl/concept/6497> (datum dostopa: 28.2.2022)
- [5] https://sl.wikipedia.org/wiki/Recikla%C5%BEEa_plastenk#Uporaba_povratnih_PET_plastenk (datum dostopa: 15.5.2022)
- [6] https://sl.wikipedia.org/wiki/Aluminijev_hidroksid (datum dostopa: 13.3.2022)
- [7] <https://sl.wikipedia.org/wiki/Polimer> (datum dostopa: 15.3.2022)
- [8] http://pefprints.pef.uni-lj.si/371/1/DD_Stepisnik_J.pdf (datum dostopa: 15.3.2022)
- [9] https://www.pce-instruments.com/eu/api/getartfile?_fnr=1717738&_dsp=inline (datum dostopa: 18.3.2022)
- [10] https://www.kerrock.si/wp-content/uploads/2021/08/SL_Obdelava-Kerrocka.pdf (datum dostopa: 19.3.2022)
- [11] https://www.embakom.si/default.asp?mid=sl&pid=novice_podrobno&novicaid=78&katid=24 (datum dostopa: 18.3.2022)
- [12] https://www.pce-instruments.com/eu/measuring-instruments/test-meters/hardness-tester-pce-instruments-barcol-hardness-tester-pce-1000n-det_5971485.htm (datum dostopa: 19.3.2022)

8 VIRI SLIK

- SLIKA 1: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Kompozit> (datum dostopa: 11.3.2022)
- SLIKA 2: <https://www.ntf.uni-lj.si/toi/wpcontent/uploads/sites/7/2017/09/6.Kompozitni-materiali.pdf> (datum dostopa: 11.3.2022)
- SLIKA 3: <https://www.kerrock.eu/> (datum dostopa 11.3.2022)
- SLIKA 4: <https://www.kerrock.eu/> (datum dostopa 11.3.2022)
- SLIKA 5: https://sl.wikipedia.org/wiki/Aluminijev_hidroksid (datum dostopa 12 .3.2022)
- SLIKA 6: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Polimer> (datum dostopa 12.3.2022)
- SLIKA 7: <https://www.dr-boy.de/en/applications/thermoset> (datum dostopa: 19.3.3022)
- SLIKA 8: http://www.exmega.si/slo/prodajni_program.html (datum dostopa: 19.3.2022)
- SLIKA9: <https://www.hbfuller.com/en/north-america/products-and-technologies/markets-and-applications/elastomers> (datum dostopa: 19.3.2022)
- SLIKA 10: https://en.wikipedia.org/wiki/Polyethylene_terephthalat (datum dostopa: 13.3.2022)
- SLIKA 11: https://sl.wikipedia.org/wiki/Recikla%C5%BEa_plastenk (datum dostopa 14.3.2022)
- SLIKA 12: osebni arhiv
- SLIKA 13: osebni arhiv
- SLIKA 14: osebni arhiv
- SLIKA 15: osebni arhiv
- SLIKA 16: osebni arhiv
- SLIKA 17: osebni arhiv
- SLIKA 18: osebni arhiv
- SLIKA 19: osebni arhiv
- SLIKA 20: http://pefprints.pef.uni-lj.si/371/1/DD_Stepisnik_J.pdf (datum dostopa: 11.3.2022)
- SLIKA 21: osebni arhiv
- SLIKA 22: osebni arhiv
- SLIKA 23: osebni arhiv
- SLIKA 24: <https://bqc.be/en/hardnesstester/hardnesstester-barcol/barcol-hardness-tester-934-1/a-25917-10000064> (datum dostopa 16.3.2022)
- SLIKA 25: https://www.pce-instruments.com/eu/api/getartfile?_fnr=1717738&_dsp=inline (datum dostopa: 16.3.2022)
- SLIKA 26: osebni arhiv