

FAKULTETA ZA TEHNOLOGIJO POLIMEROV

Chiara Francesca KALAMAR

**VPLIV IZBIRE TIPA REAKTIVNEGA DILUENTA  
NA MEHANSKE LASTNOSTI IN KEMIJSKO  
OBSTOJNOST EPOKSIDNEGA SAMOLIVNEGA  
TLAKA**

Diplomsko delo

Slovenj Gradec, september 2022

FAKULTETA ZA TEHNOLOGIJO POLIMEROV

**VPLIV IZBIRE TIPA REAKTIVNEGA DILUENTA  
NA MEHANSKE LASTNOSTI IN KEMIJSKO  
OBSTOJNOST EPOKSIDNEGA SAMOLIVNEGA  
TLAKA**

Diplomsko delo

Študent(ka): Chiara Francesca KALAMAR  
Študijski program: Tehnologija polimerov  
Mentor: izr. prof. dr. Irena PULKO  
Delovni mentor: Anita KOVAČIČ, univ. dipl. inž. kem. teh.

Slovenj Gradec, september 2022

## IZJAVA

Podpisana Chiara Francesca Kalamar izjavljam, da:

- je bilo predloženo diplomsko delo opravljeno samostojno pod mentorstvom;
- predloženo diplomsko delo v celoti ali v delih ni bilo predloženo za pridobitev kakršnekoli izobrazbe na drugi fakulteti ali univerzi;
- soglašam z javno dostopnostjo diplomskega dela v knjižnici Fakultete za tehnologijo polimerov v Slovenj Gradcu. Na Fakulteto za tehnologijo polimerov neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve diplomskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico ponuditi diplomsko delo javnosti na svetovnem spletu preko repozitorija DiRROS.

Slovenj Gradec, \_\_\_\_\_

Podpis: \_\_\_\_\_

## **POVZETEK**

### **Vpliv izbire tipa reaktivnega diluenta na mehanske lastnosti in kemijsko obstojnost epoksidnega samolivnega tlaka**

Epoksidne smole (EP) so reaktivne sintetične smole, ki se uporabljajo na različnih področjih in to že več kot 50 let. Eno izmed področij uporabe je površinska zaščita betona. V gradbeništvu se uporablja sistem, ki se strjuje pri sobni temperaturi [1]. Ti materiali so zaradi zelo zamrežene strukture krhki, imajo slabo odpornost na udar in slabo trdnost, kar posledično omejuje njihovo uporabo na določenih področjih [2]. Reaktivna razredčila jim znižajo viskoznost, ne da bi pri tem bistveno vplivala na lastnosti tlaka. Vključitev le teh izboljša rokovanje in enostavnost uporabe zaradi zmanjšanja viskoznosti [3]. V zadnjem obdobju se je povečala uporaba epoksidnih talnih oblog v industrijah, kar je sicer dražja investicija, ampak nudi daljšo življenjsko dobo. Problem, ki ga želimo raziskati, je učinek različnih diluentov (eno-, dvo- ali več funkcionalnega) na lastnosti epoksidnega samolivnega tlaka. Namen diplomskega dela je ugotoviti, v kakšni meri različni reaktivni diluenti vplivajo na kemijsko obstojnost in mehanske lastnosti epoksidnega sistema, ter posledično izbrati najustreznejši reaktivni diluent za aplikacije na trgu. Analiza problema zanima podjetje Murexin d.o.o. Pri pisanju diplomske naloge smo uporabljali metode zbiranja, pregledovanja in študiranja literature s področja reaktivnih diluentov in epoksidnih samolivnih tlakov. Pripravili smo vzorce z različnimi reaktivnimi diluenti v kalupih in petrijevkah. Izvedli smo testiranja mehanskih lastnosti in kemijske obstojnosti. Ugotovili smo, da so se naše predpostavke o izboljšanju lastnosti z večanjem funkcionalnosti delno izkazale kot pravilne. Dokazali smo, da imajo vzorci z več funkcionalnim diluentom boljše lastnosti kot vzorci z eno funkcionalnim diluentom. Pri diplomski nalogi smo spremljali le eno komponento, s spremembo in testi še drugih komponent pa bi verjetno lahko še dodatno izboljšali le-te.

#### **Ključne besede:**

Epoksidne smole, reaktivni diluent, mehanske lastnosti, kemijska obstojnost, vpliv, Murexin d.o.o.

## **SUMMARY**

### **Impact of selected reactive diluent type on the mechanical properties and chemical stability of epoxy self-leveling floor**

Epoxy resin is a reactive synthetic resin that has been used in various fields for more than 50 years. One of the fields of application is the surface protection of concrete. A system that cures at room temperature is used in construction [1]. Due to the very closed structure, these materials are fragile, have a poor impact and poor strength, which consequently limits their use in certain areas [2]. Reactive diluents lower their viscosity without significantly affecting pressure properties [3]. In the last period, the use of epoxy floor coverings in industry has increased, which is a more expensive investment, but offers a longer lifetime. The problem we want to investigate is the effect of different diluents (mono-, bi- or multi-functional) on the properties of epoxy self leveling floor. The purpose of the thesis was to determine to what extent different reactive diluents affect the chemical durability and mechanical properties of the epoxy system, and subsequently to select the most appropriate reactive diluent for applications on the market. Murexin d.o.o. is interested in analyzing the problem. When writing this thesis, we used the methods of collecting, reviewing and studying the literature in the field of epoxy self leveling floors. We prepared samples with various reactive diluents in molds and petri dishes. Conducted testing of mechanical properties and chemical resistance. And we found that our assumptions about the improvement of properties with increasing functionality were partially proven. We have demonstrated that samples with multiple functional diluents have better properties than samples with mono-functional diluents. Except that in this thesis we changed only one component, by changing and testing other components, we could probably further improve only these.

#### **Keywords:**

Epoxy resins, reactive diluents, mechanical properties, chemical stability, influence, Murexin d.o.o.

**KAZALO**

<b>1 UVOD</b>	<b>1</b>
1.1 Opis podjetja	2
1.2 Opis proizvoda	3
<b>2 TEORETIČNI DEL</b>	<b>5</b>
2.1 Splošna predstavitev epoksidov	5
2.1.1 Epoksi ekvivalentna teža (EEW)	8
2.1.2 Učinek na zdravje	9
2.1.3 Zaščita	9
2.1.4 Predelava	9
2.2 Epoksidni samolivni tlaki	11
2.2.1 Vrste epoksidnih talnih oblog in kje jih nanesti	11
2.2.2 Sestava samorazlivnih epoksi tlakov	12
2.2.3 Lastnosti samorazlivnih epoksidnih tlakov	12
2.2.4 Priprava podlage za samolivni epoksi tlak	13
2.2.5 Vgrajevanje samorazlivnih epoksi tlakov	14
2.3 Reaktivni diluenti	14
2.4 Uporaba epoksidnih smol	16
2.5 Mehanske lastnosti in kemijska odpornost	16
<b>3 EKSPERIMENTALNI DEL</b>	<b>17</b>
3.1 Uporabljeni materiali (komponente)	17
3.2 Priprava vzorcev	17
3.3 Metode karakterizacije	17
3.3.1 Merjenje viskoznosti po Brookfieldu	17
3.3.2 Merjenje gostote s piknometrom	18
3.3.3 Razlez	19
3.3.4 Vizualna ocena	19
3.3.5 Trdota po Shore D	19
3.3.6 Ocena površinske trdote epoksida	20
3.3.7 Tlačna trdnost	20
3.3.8 Kemijska odpornost na različne kemikalije	22
3.3.9 Stehiometrija	23
<b>4 REZULTATI IN DISKUSIJA</b>	<b>24</b>
4.1 Merjenje viskoznosti	24
4.2 Merjenje gostote	25
4.3 Razlez	26
4.4 Vizualna ocena	26
4.5 Trdota po Shore D	28
4.6 Ocena trdote epoksida	28
4.7 Tlačna trdnost	29
4.8 Kemijska odpornost z različnimi kemikalijami	31
4.9 Primerjava lastnosti, izbira tipa diluenta	38

---

<b>5 SKLEP</b>	<b>39</b>
SEZNAM LITERATURE IN VIROV	41
SEZNAM SLIK	42
SEZNAM TABEL	43
SEZNAM UPORABLJENIH SIMBOLOV	44
SEZNAM UPORABLJENIH KRATIC	45





## 1 UVOD

Epoksidne smole (EP) so reaktivne sintetične smole, ki se uporabljajo na različnih področjih že več kot 50 let. Eno izmed področij uporabe je površinska zaščita betona. V gradbeništvu se uporablja sistem, ki se strjuje pri sobni temperaturi. To so na primer protikorozijski premazi, industrijski premazi, dekorativni premazi, itd. V uporabi so tudi vroče strjevalni sistemi kot na primer praškasti premazi za zaščito kovin [1].

EP in njihovi trdilci, ki se uporabljajo v gradbeništvu vsebujejo po navadi polnila, pigmente in različne modifikatorje. Za uporabo komponente zmešamo v določenem razmerju in naneseemo na različne načine. Z mešanjem nastane reakcijska smola, ki v nekaj urah do nekaj dneh utrdi, odvisno od reaktivnosti sistema. Pri tem dobimo termoset, ki je kemično inertna in netopljiva plastika [1].

Razredčila oziroma diluenti so spojine z nizko molekulsko maso in nizko viskoznostjo, ki se uporabljajo za znižanje viskoznosti ali povečanje topnosti smol in/ali trdilca. Ta so lahko reaktivna ali nereaktivna. Primeri reaktivnih razredčil za epoksi smole vključujejo: fenilglicidil eter, alilglicidil eter, butandiol diglicidil eter in epoksidne smole na osnovi glicerola. Razredčila je potrebno uporabljati v zmernih količinah toliko, da se zmanjša viskoznost, vendar se ne poslabša lastnost sistema [2].

Dokazano je, da se modul in trdnost postopoma zmanjšujeta, medtem ko se duktilnost s povečevanjem deleža reaktivnega razredčila stalno povečuje. Testiranje vzorcev z upogibnim testom se z vključevanjem razredčila spremeni iz krhkega v duktilno. Dokazano je, da se znatno razširi območje steklastega prehoda epoksi matrik. Poveča se tudi mikrostrukturalna heterogenost po dodatku razredčila, kar je dokazano s pomočjo DMTA. Tudi zlomna žilavost epoksidnih smol se poveča, kar se pripisuje povečani duktilnosti materiala in aktiviranju plastične deformacije v epoksi smolah ob dodatku reaktivnega razredčila [4].

Glavni cilj diplomskega dela je ugotoviti, kako posamezni tipi reaktivnih diluentov/razredčil vplivajo na mehanske lastnosti in kemijsko obstojnost epoksidnega samolivnega tlaka.

Podjetje Murexin d.o.o. želi lansirati nov epoksidni sistem, ki bi z minimalno modifikacijo in s tem skoraj nespremenjenimi materialnimi stroški omogočil uporabo tudi v industriji z visoko kemijsko obremenitvijo.

Na podlagi literature o reaktivnih diluentih smo predpostavljali, da se bodo mehanske lastnosti in kemijska obstojnost materialom izboljšale z večanjem funkcionalnosti, torej da bodo vzorci z dvo- in več funkcionalnimi reaktivnimi diluenti imeli boljše lastnosti kot z eno funkcionalnimi. Z večanjem števila funkcionalnosti smo pričakovali izboljšanje lastnosti. Pri fizikalnih lastnostih smo težje napovedali spremembe, saj imajo različni reaktivni diluenti zelo različne viskoznosti. Ocenili smo, da to ne bo imelo velikega vpliva na končne fizikalne lastnosti, ki smo jih preverjali. Omejitev, ki smo jo pričakovali, je velika viskoznost diluentov.

Vzorci z različnimi reaktivnimi diluenti, torej eno-, dvo- in več funkcionalnimi, smo pripravili v podjetju Murexin d.o.o. Pripravili smo vzorce v petrijevkah za merjenje trdote in kemijsko obstojnost ter v kalupih, kjer smo merili tlačno trdnost posameznih vzorcev. Meritve mehanskih in kemijskih lastnosti smo izvedli z opremo v podjetju Murexin d.o.o.

## 1.1 Opis podjetja

Profil družbe MUREXIN d.o.o. odlikujejo jasne poteze, trden karakter, zmagovalna filozofija, samozavest na trgu in strmenje k odličnosti v vseh segmentih delovanja. So mednarodno, izvozno naravnano podjetje, s tehnološko najsodobnejšo organizirano proizvodnjo kremenovih peskov in materialov za zaključna dela v gradbeništvu. Z inovativno politiko, nenehnimi vlaganji in odgovornim občutkom za prave priložnosti so se uspeli dvigniti iz povprečja panoge s prepoznavnostjo družbe tako v slovenskem kot tudi širšem gospodarskem prostoru.

Strankam nudijo sodobno, vrhunsko, predvsem pa celovito ponudbo univerzalnih in specializiranih gradbenih materialov. Njihov proizvodni program zajema pester nabor izdelkov za celovite rešitve v gradbeništvu.

Kot del podjetja Schmid Industrieholding GmbH je Murexin del avstrijske skupine z bogato tradicijo. Ta družina vključuje podjetja kot so Austrotherm, Baunit, Furtenbach, Wopfinger Transportbeton, Lorencic, Wolf Plastics in Ortner. Sedež podjetja Murexin v kraju Wiener Neustadt (AT), ki je dom proizvodnega obrata, osrednjega skladišča in kompetenčnega centra, ki je odgovoren za raziskave, razvoj in zagotavljanje kakovosti. To temelji na več kot 90 letih izkušenj. Ekologija in trajnost sta dve temeljni temi podjetja. Z okoli 400 zaposlenimi Murexin zagotavlja strokovno podporo na vseh ravneh in visok standard vsestranske podpore. Z mednarodnima proizvodnima obratoma v Szekszárdu na Madžarskem in v Puconcih v Sloveniji so Murexinovi izdelki na voljo na okoli 30 izvoznih trgih preko neposredne prodaje, distribucijskih partnerjev ali ustanovljenih podružnic.

Širok nabor tehnologij premazov vključuje impregnacije, temeljne premaze, reaktivne smole na osnovi epoksija in poliuretana za tla in stene, naravne kamnite preproge, premaze in tesnilne mase za široke možnosti uporabe – v zasebnem, komercialnem ali industrijskem sektorju.

Z neskončnimi oblikovnimi možnostmi je Murexin vedno v skladu z duhom časa uporabnika in izpolnjuje vse njegove zahteve za odporna tla v garažah, večetažnih parkirnih hišah, proizvodnih halah, prodajnih objektih, na terasah, balkonih, v kuhinjah, shrambah, kletih in mnogih drugih prostorih.

Industrijski in dekorativni tlaki se delijo na [5]:

- impregnacije in osnovni premazi;
- epoksidni samolivi (industrijski, dekorativni, elektroprevodni sistemi);
- tankoslojni premazi (2K barvni premazi, 2K transparentni premazi, 1K barvni premazi);
- kamnite preproge.

## 1.2 Opis proizvoda

KEMAPOX C 6000 je epoksidni samoliv in premaz, ki se uporablja v notranjih prostorih. Ima dobro kemijsko in mehansko odpornost, svetlečo zaključno površino in je vodoodporen.

Vgradnja: Na pripravljeno podlago se glede na namen uporabe produkt nanaša na naslednji način. Prvi tankoslojni – gladek epoksidni premaz v skupni debelini circa 500 nm in v nanosu 0,4-0,6 kg/m<sup>2</sup> – za dva nanosa (odvisno od debeline nanosa). Premešan material se izlije po površini in se s pomočjo gladilke enakomerno porazdeli po površini. Po circa 5 min se enakomerno razporedi s pomočjo valjčka za nanos epoksidnih smol (s kratkimi dlakami) v križnih potegih. Po circa 10-12 h se nanese še drugi nanos. V primeru, da se nanašajo svetle nianse, se svetuje, da se že podlage pripravi v izbrani barvi, ter se nato nanese vsaj dva sloja željene barve. Glede na namen uporabe je možen posip prvega nanosa sveže smole s suhim peskom. V tem primeru dobimo potrdno površino, s tem pa povečamo mehansko odpornost tlaka. Drugi debeloslojni nanos – samolivni epoksidni tlak debeline circa 1,5 mm in nanosa ca. 2 kg/m<sup>2</sup> (odvisno od načina in debeline vgradnje). Premešan material se izlije po predhodno ustrezno pripravljeno površini. S pomočjo zobate gladilke material enakomerno porazdelimo po površini. Površino je priporočljivo dodatno odzračiti s pomočjo odzračevalnega (ježkastega) valjčka v dveh smereh, tako da se odstrani čim več zračnih mehurčkov in se zagotovi enakomerna debelina. V kolikor je želja po dekorativnem epoksidnim tlaku z dekorativni lističi, je le-te potrebno posipati po sveže vgrajeni samorazlivni smoli. V tem primeru se predlaga še dodatna zaščita tlaka z ustreznim lakom, odvisno od namena uporabe in željenega videza. Glede na uporabo različnih serij oziroma šarž produktov ni možno zagotoviti enakega barvnega odtenka na istem objektu. V primeru, da se dodaja kremenovo polnilo, se ga lahko doda maksimalno 30 %.

Mešanje KEMAPOX C 6000: Vedno si pripravimo toliko mešanice, kolikor jo lahko porabimo v circa 40 min. Epoksidna smola in trdilec imata različno viskoznost, tako da je ustrezno mešanje ključnega pomena, zato sta obe komponenti v prodaji v ustreznem mešalnem razmerju. Za določitev delnih količin moramo obvezno uporabiti tehtnico. Priporoča se, da predhodno premeša vsako komponento posebej. Komponento A temeljito premešamo z nizko stopenjskim električnim mešalnikom (približno 300 obratov/min), dodamo komponento B in nadaljujemo z mešanjem, dokler ne dosežemo homogene konsistence brez prog (približno 2–3 minute). Pomembno je, da maso

premešamo tudi ob straneh in iz dna navzgor, tako da se trdilec enakomerno razdeli tudi v navpični smeri. Izogibati se je potrebno predolgemu in intenzivnemu mešanju, da se zmanjša vnos zračnih mehurčkov v mešanico. Da se izognemo napakam zaradi mešanja in/ali razmerja, moramo premešani material preliti v čisto, suho posodo in ponovno dobro premešati. V primeru, da se dodaja tretja komponenta, to je suhi kremenčev pesek (izbira je odvisna od namena uporabe), je prvotno potrebno po navodilih zmešati obe komponenti [5].

Na sliki 1 je prikazan KEMAPOX C 6000.



*Slika 1: KEMAPOX C 6000*

## 2 TEORETIČNI DEL

### 2.1 Splošna predstavitev epoksidov

Epoksidne smole so reaktivne sintetične smole, ki se uporabljajo na različnih področjih že več kot 50 let. Eno izmed področij uporabe je površinska zaščita betona. V gradbeništvu se uporablja sistem, ki se strjuje pri sobni temperaturi. To so na primer protikorozijski, industrijski, dekorativni premazi, itd. V uporabi so tudi vroče strjevalni sistemi kot na primer praškasti premazi za zaščito kovin.

Epoksidne smole in njihovi trdilci se uporabljajo v gradbeništvu s polnili, pigmenti, različnimi dodatki in modifikatorji. Za aplikacijo se komponente homogeno zmešajo v vnaprej določenem razmerju in nanesejo na različne načine. Z mešanjem komponent nastane reakcijska smola, ki se v nekaj urah ali dneh strdi (komponente zreagirajo in se zamrežijo), odvisno od reaktivnosti sistema. Po tem je tako imenovan termoset, kemično inerten in netaljiv (v nasprotju s taljivo, termoplastično plastiko) [1].

Termoreaktivna smola zreagira pod vplivom toplote ali UV svetlobe. Proces utrjevanja je nepovraten, saj uvaja polimerno mrežo, zamreženo s kovalentnimi vezmi. Pri segrevanju za razliko od termoplastov termoseti ostanejo trdni, dokler temperatura ne doseže točke, ko termoset začne razpadati.

Fenolne smole, amino smole, silikonske smole, epoksidne smole in poliuretanske smole le nekateri primeri termoreaktivnih smol.

Izraz "epoksi", "epoksidna smola" ali "epoksid" se nanaša na široko skupino reaktivnih spojin, za katere je značilna prisotnost oksirana ali epoksi obroča. Ta predstavlja tričlenski obroč, ki vsebuje atom kisika, ki je vezan z dvema ogljikovima atomoma [6].

Utrjeni epoksidni gradbeni sistemi so kemično inertni. Kljub temu da so kemično inertni, lahko posamezne nestrjene komponente reagirajo. V primeru stika z vodo se lahko pojavijo okvare ali poškodbe. Po strditvi nevarnosti ni več, ker je kemična reaktivnost zmanjšana.

Epoksi veziva so običajno sestavljena iz dveh komponent, ker epoksidne smole potrebujejo ustrezen trdilec za njihovo zamreženje. V gradbeništvu se uporabljajo trdilci na osnovi poliaminov. Epoksidna smola se proizvaja z reakcijo polifenolov z epiklorhidrinom. Najpomembnejši za gradbeni sektor so bisfenol–A diglicideter (BADGE) in bisfenol–F diglicideter (BFDGE). Te smole imajo relativno visoko viskoznost in zato slabo pretočnost pri sobni temperaturi. Pretočnost lahko povečamo z dodatkom diluentov, tako je obdelava možna tudi pri nizkih temperaturah.

V gradbeništvu se poliamini pretežno uporabljajo kot epoksidni trdilci zaradi njihove bazičnosti in higroskopnosti (vpojnosti vode).

Za produkte epoksidnih smol so značilne naslednje kemijske in tehnične lastnosti:

- strjevanje v neugodnih okolijskih razmerah;
- neobčutljivost na vlago v strjeni fazi;
- dobra kemijska odpornost na številne kemikalije, kot so kisline, baze, olja in maščobe, goriva ter topila;
- primerna za cementno vezane podlage;
- dober oprijem na mineralne podlage in nizka stopnja krčenja, dobra vez med podlago in epoksidno smolo;
- visoka odpornost proti koroziji (na primer za zaščito jeklenih konstrukcij);
- dolga življenjska doba izdelka s primerno prilagoditvijo pogojem uporabe;
- dolga življenjska doba premazov tudi pri visoki mehanski in kemijski izpostavljenosti.

Eno izmed mnogih področij uporabe epoksi sistemov je v konstrukcijah, ki so izpostavljene kombinaciji različnih vplivov. Poleg stalnih vplivov okolja lahko mehanske, kemijske in toplotne obremenitve prispevajo k postopnem uničenju nezaščitene gradbenih konstrukcij. Če ni zadostne zaščite, so potrebni posegi in popravki. Zaradi svoje vsestranskosti so epoksidni izdelki primerni za zaščito in popravilo konstrukcij.

- **ZAŠČITA BETONA:** V večini primerov se za zaščito navpičnih betonskih površin pred vdorom dežja ali pršilne vode uporabljajo sistemi za barvanje, ki običajno temeljijo na disperziji sintetične smole. Za vodoravne površine, ki so izpostavljene velikim mehanskim obremenitvam, je tipično področje uporabe premazov na osnovi epoksidnih smol.
- **TALNE OBLOGE:** Na voljo je velika paleta premazov, od tesnjenja (< 0,5 mm) preko tanke prevleke (do circa 1 mm), nekaj mm debele samorazlivne malte in razpršene obloge do malte iz epoksidne smole z mineralnimi agregati (do nekaj cm). Površinska obdelava premazov lahko variira od gladkih in visoko sijajnih do nedrsečih oblog [1].

Epoksidna obloga nastane z reakcijo med trdilcem in epoksidno smolo. Epoksidne smole so širok razred predpolimerov in polimerov, ki vsebujejo več kot eno epoksi skupino, pogosto imenovano tudi glicidna ali oksiranska skupina. Večina epoksidnih smol je industrijski proizvod, pridobljen iz nafte in je sam po sebi rezultat reaktivnega procesa, ki vključuje epoksidne enote (ciklični etri s tremi atomi v obroču).

Glede na vrsto reakcije, ki se uporablja za njihovo proizvodnjo, imajo lahko strjene epoksidne smole spremenljive dolžine verige in stopnje čistosti, ki ustrezajo različnim molekulskim masam. Lahko so nizkomolekularne tekočine, podobne medu ali visokomolekularne trdne snovi. Njihova molekularna masa pogosto določa njihovo potencialno uporabo in aplikacijo.

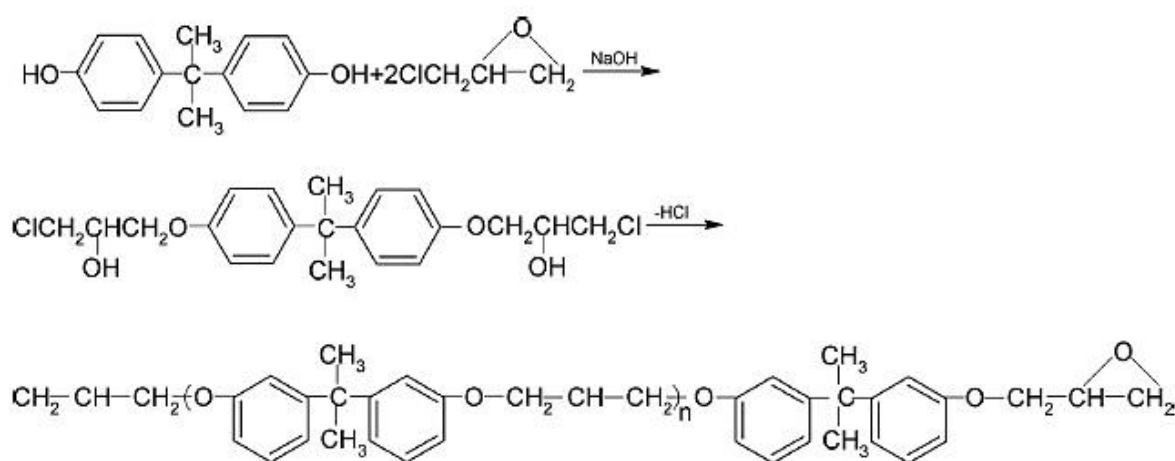
Epoksidne smole so precej stabilne pri sobni temperaturi in pridobijo svoje končne lastnosti delovanja šele pri reakciji s trdilnimi sredstvi, kot so na primer poliamini, aminoamidi in fenolstehidne spojine.

Najpogostejši trdilci za epoksidne smole so:

- Amini: So najbolj razširjeni. Reagirajo pri sobni temperaturi ali pri povišani temperaturi.
- Anhidridi: Uporabljajo se pri povišanih temperaturah. Zelo nizka viskoznost in dolg "open time". Uporabljajo se lahko z mineralnimi polnili za na primer visokonapetostne električne izolatorje.
- Fenoli: Reagirajo pri povišanih temperaturah (130–180 °C), običajno potrebujejo katalizator. Uporablja se za prašno lakiranje.
- Tioli: So zelo reaktivni, tudi pri nižji temperaturi. Uporabljajo se za domača lepila in kemična sidra s kamnitimi vijaki, kjer ni možno segrevanje. Tioli imajo oster vonj.

Najpogostejše epoksidne smole temeljijo na reakciji epiklorhidrina z bisfenolom A. Ta reakcija pretvori osnovne gradnike v drugačno kemično snov, imenovano bisfenol A diglicidil eter, ki je nizkomolekularna smola, bolj znana kot DGEBA [6].

Epoksi smole običajno nastanejo z reakcijo spojin med spojinami, ki vsebujejo vsaj dva aktivna vodikova atoma (polifenolne spojine, diamini, aminofenoli, heterociklični imidi in amidi, alifatski dioli itd.) in epiklorhidrinom. Sinteza diglicidiletra bisfenol A (DGEBA) je prikazana na sliki 2.



Slika 2: Sinteza DGEBA

Oksiranska skupina epoksi monomera lahko reagira z različnimi utrjevalci, kot so alifatski amini, aromatični amini, fenoli, tioli, poliamidi, amidoamini, anhidridi in drugimi spojinami primerni za odpiranje obroča. Utrjeni epoksidi so krhki zaradi visoke stopnje navzkrižnega povezovanja, ki prispevajo k oslabitvi udarne trdnosti epoksida in drugih pomembnih lastnosti. Zato je potrebna modifikacija epoksi monomerov za izboljšanje

njihove prožnosti in žilavosti, ter izboljšanje toplotnih lastnosti. Ključne lastnosti epoksidnih smol:

- visoka trdnost,
- nizko krčenje,
- odličen oprijem na različne podlage,
- učinkovita električna izolacija,
- odpornost na kemikalije in topila,
- relativno nizka cena,
- majhna toksičnost.

Epoksidi se zlahka strdijo in so tudi združljivi z večino substratov. Z lahkoto omočijo površine, zato so še posebej primerni za uporabo v kompozitih. Epoksidna smola se uporablja tudi za spreminjanje več polimerov, kot so poliuretani ali nenasičeni poliestri, da se izboljšajo njihove fizikalne in kemične lastnosti.

Za termoreaktivne epokside velja:

- natezna trdnost se giblje od 90 do 120 MPa,
- natezni modul v razponu od 3100 do 3800 MPa,
- temperatura steklastega prehoda ( $T_g$ ), ki se giblje od 150 do 220 °C.

Poleg zgoraj omenjenih lastnosti imajo epoksidne smole dve glavni pomanjkljivosti, ki sta njihova krhkost in občutljivost na vlago [7].

### 2.1.1 Epoksi ekvivalentna teža (EEW)

Za epoksi smole je značilna njihova epoksi ekvivalentna teža (EEW – epoxide equivalent weight), torej teža smole na epoksi skupino. EEW je pomembna pri izračunu stehiometrične vrednosti (teoretične) količine trdilcev ali utrjevalnih sredstev, ki so potrebne za doseganje optimalne vrednosti polimerizacije. Nestehiometrična količina na primer pri uporabi presežka amina po navadi ustavi željeno tvorbo in proizvaja verigo polimerov z nizko molekulsko maso; ti so po navadi krhki. Po drugi strani pa premalo amina povzroči nepopolno strjevanje. Optimalna razmerja komercialno dostopnih dvokomponentnih epoksidnih lepil so izračunana in eksperimentalno preverjena s strani dobavitelja, tako da mora uporabnik upoštevati le podana navodila za mešanje in strjevanje.

Epoksidne smole je mogoče utrditi z najrazličnejšimi utrjevalci s katero koli spojino, ki ima labilen vodikov atom ali hidroksilno skupino. Sredstva za utrjevanje so lahko amini, poliamidi, karboksilne kisline, anhidridi ali amidni amini. Na splošno lahko reagira skoraj vsaka spojina, ki ima reaktiven vodikov atom reagira z epoksi skupino [2].

V predpolimeriziranem stanju so epoksidne smole v tekočem stanju in je potreben postopek zamreževanja, da jih lahko pretvorimo v termosete. Epoksidne smole tipa A in F vsebujejo epoksi skupine ob koncu molekule, sestavljene iz atoma kisika, ki je vezan na dva ogljikova atoma, tako da tvori tričlenski obroč. Značaj ogljik–kisik vezi in



visoka elektronska afiniteta kisika naredi epoksi skupino zelo nestabilno, kar pomeni, da lahko številni sistemi odprejo obroč in reagirajo z epoksidno smolo. Molekule, ki lahko reagirajo z epoksidnimi skupinami, so znane kot trdilci ali utrjevalci oziroma sredstva za zamreženje. Molekule trdilca omogočajo molekuli smole, da se povežejo med seboj in tvorijo tridimenzionalno mrežo. Obstaja veliko vrst trdilcev, najpomembnejši so alifatski ali aromatski amini, anhidridi in poliamidi.

Običajno so molekule trdilca veliko manjše od molekul smole in imajo zato nizko viskoznost. Dodatek trdilca v smolo zniža viskoznost mešanice odvisno od viskoznosti in oblike trdilca in njegovo stehiometrično količino, uporabljeno v zmesi [8].

### 2.1.2 Učinek na zdravje

Smolna komponenta vsebuje različne snovi kot je na primer bisfenol–epiklorohidrin, ki lahko draži kožo in oči, povzroča alergije in je škodljiv za vodne organizme. Komponenta trdilca vsebuje strupene in jedke snovi, kot sta na primer fenol in amini, ki lahko povzročijo alergije.

Fenol povzroča kemične opekline na koži in je toksin. Zaradi svojega baktericidnega učinka so ga v preteklosti uporabljali kot razkužilo pa tudi v milih in kozmetiki, kar je z omejitvami dovoljeno še danes.

Epiklorohidrin, diglicidil eter in predpolimeri so se izkazali kot mutageni in genotoksični in se domneva, da povzročajo raka. Če upoštevamo posamezne snovi, to velja le za visoko dolgotrajno izpostavljenost, ni pa znano, kateri potencialni učinki pridejo v poštev pri kompleksni kombinirani izpostavljenosti. Po različno dolgi fazi senzibilizacije se pojavi neozdravljiv, alergijski kontaktni ekcem.

Pri vdihovanju hlapov se lahko pojavi draženje sluznice, paraliza dihanja, delirij in srčni zastoj. Dolgoročna izpostavljenost hlapom lahko povzroči živčne motnje in poškodbe ledvic [9].

### 2.1.3 Zaščita

Za zaščito kože so primerne le posebne rokavice iz nitrila ali butila. Tanke rokavice za enkratno uporabo niso primerne. Alergene snovi prodrejo skozi rokavice v nekaj minutah, ne da bi bile poškodovane, medtem ko je lastna zaščita kože oslABLJENA zaradi znojenja ob pomanjkanju prezračevanja. Mazila za zaščito kože prav tako ne nudijo sprejemljivo zaščito. Potrebno je nositi zaščitno obleko in zaščito za dihala ter oči.

### 2.1.4 Predelava

Pri mešanju epoksidne smole je potrebno upoštevati stehiometrično razmerje smola/trdilec. V nasprotnem primeru bodo deli smole ali trdilca ostali nezreagirani, kar bo povzročilo lepljivost površine in zmanjšano trdnost končnega izdelka. Nekateri

epoksidni sistemi pa so izrecno primerni za spreminjanje mešalnega razmerja v ozkih mejah. To omogoča vpliv na trdoto, elastičnost in druge lastnosti. Nehomogena mešanica komponent ima podobne negativne učinke kot nepravilno razmerje komponent, saj je polimerizacija nepopolna.

Poliadicija je močno eksotermna, zato ni dovoljeno mešati poljubno velikih količin smole in trdilca, zlasti pri zelo reaktivnih sistemih. Sproščena toplota lahko postane tako velika, da izbruhne požar; pregrevanje lahko negativno vpliva na lastnosti smole. Zato je potrebno za komponente z veliko debelino stene uporabljati samo smole z nizko reaktivnostjo.

Čas obdelave reakcijskih smol se imenuje čas obdelavnosti ali odprti čas. Odvisen je od temperature materiala, okolice, reaktivnosti smole in količine. Običajen odprti čas se giblje od nekaj minut do nekaj ur. Med življenjsko dobo se viskoznost smole še naprej povečuje v nelinearni krivulji, dokler obdelava ni več mogoča. Zato je treba pripraviti le toliko smole, kolikor je je mogoče vgraditi v času obdelovalnosti. Odprti čas je običajno naveden za mešanico na 100 g smole.

Segrevanje mešanice smole zmanjša viskoznost in s tem na splošno izboljša obdelovalnost, a tudi skrajša čas obdelovalnosti. Epoksidne smole z nizko reaktivnostjo zahtevajo dolg čas strjevanja in če je mogoče, povišamo začetno temperaturo sistema (na 30–40 °C). Zvišanje temperature za 10 °C prepolovi čas obdelovalnosti. Reakcijski čas lahko skrajšamo z dodatkom pospeševalcev (visoko reaktivni trdilci). Epoksidne smole se lahko po strjevanju podvržejo toplotnemu utrjevanju, da se zagotovi popolno zamreženje in višja toplotna odpornost.

Med toplotnim utrjevanjem se temperatura steklastega prehoda ( $T_g$ ) poveča za circa 20–25 °C nad maksimalno temperaturo toplotnega utrjevanja. Povečanje temperature med toplotnim utrjevanjem ne sme presegati 20 °C/uro. Nekondicionirane kalupe je potrebno strjevati pri največ 10 °C/uro. Sistemi za utrjevanje pri sobni temperaturi včasih strdijo pri sobni temperaturi z zelo krhko matriko. Utrjevanje nad 40 °C/5–6 ur to odpravi in izboljša tudi mehanske lastnosti.

Epoksidno smolo mešamo z reaktivnimi diluenti (na primer glicidni eter), da zmanjšamo viskoznost epoksidnega sistema, kar zagotavlja boljšo nasičenost tkiv ali obdelovalnost v RTM procesu. Epoksidne smole lahko vsebujejo dodatke (na primer pirogeni silicijev dioksid), da postanejo tiksotropne. To zgoščeno smolo tako uporabljamo kot polnilo ali lepilo. Drugi dodatki služijo kot aditivi za zmanjšanje viskoznosti smole, za odzračevanje sistema, za izboljšanje oprijema ali odpornosti na obrabo površine,... Dodatki lahko pozitivno vplivajo na protipožarne lastnosti epoksidne smole [9].

## 2.2 Epoksidni samolivni tlaki

Epoksidne talne obloge so obloge, ki so sestavljene iz več plasti. Odvisno od izbire sistema in/ali zahtev projekta je nanos lahko v debelini od 0,5 do 2 mm. Vsak nanos v debelini minimalno 2 mm se imenuje epoksi tlak, epoksidni sistem, nanešen v debelini manj od dveh milimetrov imenujemo epoksi talni premaz.

### 2.2.1 Vrste epoksidnih talnih oblog in kje jih nanesti

- SAMORAZLIVNA EPOKSIDNA TLA: Samorazlivni epoksidni sistem se uporablja za nova ali stara, betonska tla kot tudi ob primerni predpripravi za razpokana ali poškodovana betonska tla. Ustvari gladko, vzdržljivo, izravnano, barvno teksturo na površini tal. Samorazlivna epoksidna tla ne zagotavljajo le sijočega, brezhibnega videza, ampak so na voljo v številnih različnih barvah, ki so privlačne za poslovne, industrijske in stanovanjske prostore. Samorazlivna epoksidna tla se uporabljajo v proizvodnih zgradbah, skladiščih, razstavnih prostorih, komercialnih garažah, kuhinjah, v športnih objektih in drugje.
- TLA Z EPOKSI MALTO: Ta možnost talne obloge se uvršča med vzdržljivejše epoksi talne sisteme. Ta epoksidna tla so sestavljena 100 % iz zamreženih, trdnih epoksidov in kremenčevega peska. Maltne sisteme so idealni za prostore, ki zahtevajo veliko mehansko odpornost in lahko prenesejo visoke obremenitve. Uporabljajo se tudi za popravilo razpok pred nanosom druge vrste epoksidnih oblog v skladiščih, poslovnih kuhinjah, restavracijah, garažah, v proizvodnih obratih.
- EPOKSI TLA POLNJENA S KREMENOM: Kvarčna epoksi tla so kombinacija visoko zmogljive epoksi polimerne smole in obarvanih kremenovih zrn. Ti se uporabljajo za dekorativne prostore, ki zahtevajo sanitarne in proti zdrsnosti, kot so garderobe, stranišča, šole, kavarne, avle, pisarne, razstavne sobe in drugo.
- ANTISTATIČNA EPOKSIDNA TLA: Tla odporna na elektrostatični naboj - ESD (electrostatic discharge). Za zmanjšanje statične nevarnosti v prostorih se lahko nanesejo antistatična tla, ki običajno vsebujejo prevodno plast, ki prevaja statično elektriko in prepreči morebitno poškodbo občutljive elektronike. Priporočljiva je za prostore z vnetljivim materialom, kot so elektronski, kemični ali farmacevtski proizvodni obrati, zdravstvene ustanove ali kateri koli prostori, ki uporabljajo vnetljive pline ali tekočine, ki povzročajo tveganje za kopičenje vnetljivega prahu kot za prostore, kjer bi statična elektrika lahko poškodovala opremo.
- DEKORATIVNA EPOKSIDNA OBLOGA S ČIPSI : Ta vrsta epoksidnih talnih oblog vsebuje barvne, lomljene čipse, ki so vgrajeni v svež nanos epoksida, da ustvarijo živahen, večbarven videz. Čipsi doprinesejo tudi utore za zmanjšanje morebitnih zdrsov in padcev. Na voljo so v neomejeni raznolikosti velikosti, barv, stilov in tekstur, ki jih je mogoče prilagajati vsakemu prostoru. Uporabljajo se v garderobah, športnih prizoriščih, razstavnih prostorih, klinikah, kuhinjah in drugo [10].

Epoksi smole so zaradi velike kemične odpornosti in odličnih mehanskih lastnosti široko uporabne pri novo gradnjah in obnovah objektov. Pravi razcvet so epoksi smole doživele v sedemdesetih letih zlasti na področju industrijskih tlakov. Ti morajo namreč poleg nosilnosti omogočati še žilavost, odpornost proti udaru in obrabi, nezdrsnost, neprašnost, električno prevodnost in kemično odpornost.

Večino navedenih zahtev je mogoče izpolniti z epoksi tlaki, ki se lahko nanašajo v obliki epoksi impregnacij, epoksi premazov, epoksi samorazlivnih in maltnih epoksi preplastov ter epoksi estrihov.

Med njimi so glede na dosežene mehanske in fizikalne lastnosti ter obstojnost na eni in ceno na drugi strani najbolj uporabni prav samorazlivni epoksi tlaki.

### **2.2.2 Sestava samorazlivnih epoksi tlakov**

Samorazlivni epoksi tlaki so sestavljeni iz epoksi smole, trdilca in polnil. Poleg navedenih osnovnih komponent se v material dodaja vrsta dodatkov, kot so pospeševalci in zavlačevalci vezanja, dodatki za doseganje primerne razlivnosti in viskoznosti epoksi materiala ter drugo. Od epoksi smol se še vedno največkrat uporabljajo klasične epoksi smole s topili, vse pogosteje pa jih predvsem iz ekoloških razlogov nadomeščajo epoksi smole brez topil, v zadnjem času tudi epoksi smole na vodni podlagi.

Kot polnila za material za epoksi tlak se poleg pigmentov uporabljajo zlasti kremenčevi peski in kalcijevi ali barijevi sulfati. Vsebnost veziva (epoksi smole) v samorazlivnih epoksi tlakih je razmeroma visoka, tako da se težnostno razmerje med polnili in epoksi smolami (vezivom) giblje od 2 : 1 do največ 4 : 1.

### **2.2.3 Lastnosti samorazlivnih epoksidnih tlakov**

Lastnosti epoksi tlakov so praviloma precej boljše od lastnosti podlage (večinoma beton). Trdnosti betona navadno ustrezajo zahtevam konstrukcije, s polimerno epoksi preplastitvijo pa se izboljša kakovost površine, ki je neposredno izpostavljena obremenitvam. Za primerjavo si pogledjmo tabelo 1 približne vrednosti nekaterih lastnosti betona in samorazlivnega epoksi tlaka.

Tabela 1: Okvirne vrednosti nekaterih lastnosti betona in epoksi samolivnega tlaka

LASTNOST	BETON	EPOKSI TLAK
Tlačna trdnost (MPa)	30	55- 60
Upogibna trdnost (MPa)	4,5	10- 18
Modul elastičnosti (MPa)	0,25 x 10 <sup>5</sup>	1-2 x 10 <sup>5</sup>
Vodovpojnost	6-8 %	~ 0
Abrazijska odpornost	Majhna	Velika
Kislinska odpornost	Slaba	Dobra do odlična
Protiprašnost	Ne	Da

Iz preglednice je razvidno, da samorazlivni epoksi tlaki dosegajo visoke tlačne in upogibne trdnosti. V povezavi z debelino epoksi tlaka to omogoča razmeroma velike obremenitve, predvsem pa z epoksi tlaki lahko dosežemo veliko abrazijsko odpornost in kemično obstojnost površin. Po drugi strani lahko z uporabo epoksi tlakov zadostimo estetskemu merilu in zahtevam preprostega čiščenja in učinkovitega vzdrževanja. Z ustreznimi spremembami (dodatkom grafitnih zrn, bakrenimi trakovi) lahko dosežemo tudi visoko prevodnost samorazlivnega epoksi tlaka. Ta je potrebna za izvedbo elektroprevodnih tlakov, kakršni se zahtevajo v skladiščih z vnetljivimi in eksplozivnimi snovmi ter v prostorih z občutljivo elektronsko opremo.

#### 2.2.4 Priprava podlage za samolivni epoksi tlak

Dobra podlaga je pri uporabi vseh epoksi materialov tudi samorazlivnih epoksi tlakov, ki je bistvenega pomena za končno kakovost epoksi tlaka. Podlaga mora biti čista, brez slabo sprijetih in kontaminiranih površin, zato je pred nanosi epoksi tlakov večinoma potrebno brezprašno peskanje, brušenje ali rezkanje površin. Priporočljivo je, da se na podlagi pred nanosom epoksi tlaka preverijo:

- vsebnost vlage,
- tlačna trdnost,
- odtržna natezna trdnost površine,
- razpoke,
- razslojevanje v podlagi,
- dilatiranje.

Podlaga mora izpolnjevati minimalne zahteve tlačne trdnosti (25 MPa) in natezne prijemne trdnosti (1,5 MPa po metodi »pull off«). Omejena je tudi vsebnost vlage v podlagi, beton pa naj bi bil star najmanj 28 dni. Če pogoji glede vlage in starosti betona niso izpolnjeni, se uporabljajo epoksi-cementni materiali; najnovejša uspešnica so samorazlivni epoksi tlaki iz epoksidov na vodni osnovi. Njihova paroprepustnost je zelo velika (koeficient paroprepustnosti je 500–1000). Ker takšni epoksi tlaki zelo prepuščajo vlago, jih lahko uporabimo tudi pri preplastitvah betonskih plošč, kjer so opazni porni pritiski zaradi kapilarnega dviga vlage (talne plošče brez hidroizolacije).

### 2.2.5 Vgrajevanje samorazlivnih epoksi tlakov

Samorazlivni epoksi tlaki se nanašajo večinoma v dveh ali treh slojih. Prvi epoksi sloj (predpremaz) zagotovi dobro sprejemljivost med podlago, zapre podlago in zmanjša razlike v kakovosti podlage. Drugi epoksi sloj je samorazlivni, ki se nanaša v debelinah od 1 do največ 5 mm. Za vgrajevanje tankega samorazlivnega epoksi sloja se uporabljajo navadne in nazobčane gladilke, po razgrnitvi epoksi sloja pa ježkasti valjčki za odzračevanje. Če bo po nanosu samorazlivnega epoksi sloja potreben še tretji sloj, je odvisno od želene končne strukture epoksi tlaka. Če želimo doseči manjšo drsnost površin, se kot končni sloj izvede premaz s posipom. Zrnatost posipa in njegova količina sta standardizirana in odvisna od namembnosti prostora. Za zmanjševanje drsnosti epoksi tlaka se lahko uporabijo tudi tako imenovani strukturni premazi ali posipi z lističi (čipsi), ki pa se nanašajo bolj zaradi estetskega videza površin.

Samorazlivni epoksi tlaki so zelo občutljivi za temperaturo (razlivnost), zato je treba pri njihovem nanašanju upoštevati omejitve proizvajalcev materiala glede zunanje temperature pa tudi temperature podlage. Večina proizvajalcev predpisuje temperaturo okolice od 5 do 30 °C, temperatura podlage pa mora presegati 10 °C oziroma biti vsaj 3 °C nad točko rosišča. Med izvedbo je večinoma omejena tudi največja relativna vlažnost v zraku (od 80 do 85 %) [11].

### 2.3 Reaktivni diluenti

Diluenti zmanjšajo viskoznost epoksidnih zmesi z oslavitvijo interakcij med molekulami smole. Obstajajo dve skupini diluentov, in sicer reaktivni in nereaktivni. Nereaktivna razredčila, ki vključujejo aromatične ogljikovodike, kot so toluen, ksilen, dibutil ftalat, stiren in različne fenolne spojine, ki ne sodelujejo v reakciji med epoksidom in trdilcem, medtem ko reaktivna razredčila lahko razvrstimo na epoksi in tiste, ki ne temeljijo na epoksidih. Med reaktivnimi diluenti na lastnosti pomembno vplivajo tista z epoksi skupinami iz epoksidnih smol. Lahko se kemično vežejo na smolo in tvorijo mrežo po navzkrižnem povezovanju. Zaradi tega so manj hlapni in posledično okolju bolj prijazni, kot nereaktivni diluenti [8].

Tekoče epoksidne smole z reaktivnimi diluenti ali razredčili so nizko viskozni, svetli polimeri, modificirani z dodatkom mono-, di- ali polifunkcionalnega reaktivnega diluenta, ki se lahko strdi in tvori prožne, žilave smole. Reaktivni diluent omogoča, da je epoksidna smola manj viskozna za izboljšano površinsko vlaženje in oprijem. Ima tudi daljši odprti čas (oziroma uporabni čas vgradnje) kot epoksidi brez diluenta. Epoksidne smole z reaktivnimi diluenti imajo blag vonj po etru.

Tekoče epoksidne smole z reaktivnimi diluenti so primerni za uporabo v različnih aplikacijah, kot so [12]:

- lepila,
- gradbeništvo,
- kompoziti,
- električni laminati,
- pomorski in zaščitni premazi.

Razlikujemo med mono-, di- in trifunkcionalnimi reaktivnimi diluenti. Ta so v teku reakcije zamreževanja vgrajena v polimerno mrežo. Medtem ko mono-funkcionalni glicidil etri vodijo do prekinitve verige in imajo tako bolj fleksibilen učinek, di- ali trifunkcionalni glicidil etri prispevajo k prostorskemu mreženju. To običajno daje večjo mehansko trdnost kot tudi boljšo kemijsko odpornost. Nereaktivni diluenti niso vgrajeni v mrežo. Glede na tip diluenta lahko delujejo pospeševalno, plastificirano ali hidrofobno [1].

Poleg smole in trdilca so epoksidni sistemi izboljšani s številnimi dodatki, ki spreminjajo njihove osnovne lastnosti. Polnila se uporablja za izboljšanje lastnosti pretoka, zmanjšanje toplotnega raztezanja, zmanjšanje krčenja med strjevanjem, povečanje toplotne prevodnosti ali dodajo električne prevodnosti. Lahko se dodajo elastomerni polimeri za zagotovitev žilavosti in prilagodljivosti. Uporabljajo se lahko tudi katalizatorji in pospeševalci v majhnih količinah. Znanih je na stotine formulacij; veliko komercialno dostopnih formulacij temelji na enakih ali podobnih smolah in trdilcih, vendar se razlikujejo po količini uporabljenih sestavin, številu in vrstah dodatkov in tehnik, ki se uporabljajo pri predelavi.

Reaktivne vrste so bolj zaželeni, ker se med strjevanjem kemično reagirajo z glavno smolo in se ne izločijo oziroma izperejo, posebno med izpostavljenostjo toplotnemu vakuumu. Običajno se za zmanjšanje viskoznosti uporabljajo topila, vendar je večina organskih topil prepovedana ali omejena za uporabo zaradi visokih emisij hlapnih snovi. Dolgoverižna alifatska razredčila lahko izboljšajo tudi upogibno trdnosti epoksidnega lepila. Diluente je treba uporabljati zmerno v količinah 5-15 %, dovolj da se zmanjša viskoznost smole in hkrati ne poslabša lastnosti utrjenega materiala [2].

## 2.4 Uporaba epoksidnih smol

Epoksidne smole se pogosto uporabljajo v gradbeništvu. Zaradi visoke odpornosti proti obrabi se lahko epoksi malte in betoni uporabljajo kot površinski premazi na mostovih, pločnikih in industrijskih tleh. Zaradi njihove izjemne vzdržljivosti se uporabljajo v industrijskih zgradbah, podzemnih aplikacijah in na konstrukcijah na morski obali. Druga pomembna področja uporabe epoksidnih smol so pri sanaciji armiranobetonskih konstrukcij, bodisi za zapolnitev betonskih razpok oziroma lepljenje poškodovanega betona, zaradi odličnega oprijema epoksida na betonske površine. Prav tako pa najdemo tudi epoksidne smole pri odpravljanju korozije. Vendar lahko epoksi predstavljajo tudi nevarnost našemu zdravju, zato je potrebno biti previden pri rokovanju [8].

So široko uporabljeni v visoko zmogljivih materialih, kot so kompoziti kovinskih matrik, lepila, zaščitni premazi in za mnoge druge industrijske in strukturne aplikacije, kot so vesoljske, električne, elektronske in avtomobilске aplikacije. Veliko povpraševanje po visoko zmogljivih epoksidnih smolah temelji na visoki trdnosti in togosti, nizki hlapnosti, dobri kemični odpornosti, nizkem krčenju med strjevanjem, dimenzijski stabilnosti in odličnem oprijemu s polnili, vlakni in drugimi substrati. Diluenti veljajo ta dobro izbiro za izboljšanje elastičnosti in udarne trdnosti strjenega epoksidnega sistema [13].

## 2.5 Mehanske lastnosti in kemijska odpornost

Za izboljšanje udarne trdnosti epoksidnih smol se dodajajo reaktivni diluenti, ki poleg povečanja žilavosti zmanjšajo viskoznost, podaljšajo življenjsko dobo in izboljšajo vlažilne lastnosti. Viskoznost sistema pada s povečanjem dodane količine diluenta. Dokazano je, da dodatek 5 % diluenta povzroči znatno zmanjšanje v viskoznosti, vendar pa nadaljnje povečanje dodane količine diluenta viskoznosti več ne zmanjšuje [8].

Zaradi njihove zelo navzkrižno povezane strukture epoksidni sistemi kažejo krhkost, slabo odpornost proti razpokam in nizko lomno žilavost, kar omejuje njihovo uporabo na določenih področjih. Vsebnost diluenta zmanjšuje viskoznost epoksidnih vzorcev, a na odprti čas ne vpliva. Modul elastičnosti, stiskalni modul in končna napetost se postopoma zmanjšujejo, medtem ko se duktilnost vzorca poveča z masnim deležem diluenta. Prehod iz krhkega v duktilno stanje je bil opažen pri testu z vgradnjo diluenta. Uvedba reaktivnega razredčila v različne epoksidne smole je razširila območje steklastega prehoda epoksidnih matrik, kar kaže na povečano mikrostrukturno heterogenost epoksidnih vzorcev [4].



### **3 EKSPERIMENTALNI DEL**

#### **3.1 Uporabljeni materiali (komponente)**

Za delo smo potrebovali reakcijski smoli bisfenol A in F, pigment, talk - magnezijev silikat (za dobre zaščitne lastnosti, odlično odpornost na mokro drgnjenje, dobro obstojnost na prostem, dobre protikorozijske lastnosti, dobra brusnost in oprijem), barijev sulfat - polnilo, kremen - kremenčevo moko (odpornost proti obrabi pri večjih obremenitvah, elektrostatično se ne polni, odpornost na cestno sol, vodoodporen za mokre prostore), aditiv 1 - omočilni in dispergirni dodatek, mikrosiliko - sredstvo protu usedanju, aditiv 2 – antipenilec oziroma dodatek za sproščanje zraka za premaze na osnovi topil in brez topil, reaktivni diluent (mono-, di- ali polifunkcionalen) in trdilec, B komponento.

#### **3.2 Priprava vzorcev**

Najprej smo pripravili recepturo, pri čemer smo upoštevali stehiometrijo reaktivnih komponent. Komponente, ki sodijo v mešanico, smo natehtali v posodo po vrstnem redu, kot določa tehnologija mešanja. Pri določenih obratih (ne premajhni in ne preveliki, da se nam mešanica ni pregrevala), smo pripravili vzorce mešanic, ki so pripravljene, ko je mešanica popolnoma homogena. Zaprte posode smo negovali v komori pri 23 °C vsaj 24 ur, da se temperirajo pred analitiko.

Vzorci za merjenje trdote in kemijsko obstojnost smo pripravili v petrijevkah fi 10 cm, za tlačno trdnost pa v kalupih 4 x 4 x 16 cm.

#### **3.3 Metode karakterizacije**

Vzorci z različnimi reaktivnimi diluenti, torej eno-, dvo- in večfunkcionalnimi, smo pripravili v podjetju Murexin d.o.o., ki smo jih testirali z različnimi metodami. Preverjali smo večinoma fizikalne lastnosti, viskoznost, gostoto, obstojnost na različne kemikalije, merjenje razleza, trdoto, odpornostjo proti praskam ter tlačno trdnost.

##### **3.3.1 Merjenje viskoznosti po Brookfieldu**

Viskozimeter je potrebno umeriti s standardnim oljem, ki ga je potrebno predhodno temperirati na temperaturo 25 °C.

V posodo smo zmes nalili dovolj visoko, da je bilo vreteno viskozimetra potopljeno do merilne oznake (v 200 ml posodi circa 200 g). Vreteno smo vstavili v preizkušane pod kotom, tako da nismo ujeli zraka in nato navpično v viskozimeter. Vreteno je bilo potopljeno do oznake. Hkrati smo vstavili merilnik temperature. Na zaslonu viskozimetra smo izbrali ustrezno oznako vretena (glede na oznako vretena), določili smo hitrost vrtenja vretena tako, da je bila meritev izvedena pri circa 80 % uporabi. Na viskozimetru smo pritisnili gumb start in počakali eno minuto, da je bila meritev

izvedena. Ko je bila meritev zaključena, smo zabeležili viskoznost, temperaturo in hitrost vrtenja.

Viskoznost merimo A in B komponentam, ter tudi A + B zmesem, ko jih zmešamo po predpisanem mešalnem razmerju. Na sliki 3 je prikazan Brookfieldov viskozimeter.



Slika 3: Brookfieldov viskozimeter

### 3.3.2 Merjenje gostote s piknometrom

Najprej smo zatehtali prazno časo (s pokrovom) piknometra na precizni tehtnici. V čašo smo konkavno glede na rob natočili tekočino (temperirana na 23 °C) in počakali toliko časa, da se je tekočina odzračila. Čašo smo pokrili s pokrovčkom. Ob tem smo bili pozorni, da je čaša popolnoma polna (identifikator je iztek majhne količine tekočine skozi luknjico v pokrovu). Na precizni tehtnici smo stehali polno čašo, si zapisali oba rezultata, odšteli maso prazne čaše od mase polne čaše. Rezultat smo delili z volumnom, ki je v našem primeru 50 ml.

Na sliki 4 je prikazana naprava za merjenje specifične teže, to je piknometer.



Slika 4: Piknometer - čaša za merjenje specifične teže

### 3.3.3 Razlez

Vzorec epoksida smo dobro premešali ter ga nalili v tulec oziroma cilinder točno določene velikosti (50 ml), ki je stal na stekleni podlagi. Tulec oziroma cilinder smo dvignili, da je epoksid iztekel. Epoksidna masa tvori nepravilen krog, kar imenujemo razlez. Meritev premera kroga ali razleza smo merili 1 minuto po dvigu tulca, 5 min in en dan po aplikaciji vzorca. Razlez je odvisen od materiala. Ta podatek nam pove, kako teče epoksi na idealni podlagi.

Na sliki 5 je prikazano razlivanje premaza.



*Slika 5: Razlivanje premaza*

### 3.3.4 Vizualna ocena

Pri vizualni oceni se vizualno preveri stanje vzorcev pred in po obremenitvi z različnimi snovmi. Pri tem se dodeli eno izmed lastnosti: razbarvanje, deformacija površine, ni spremembe.

### 3.3.5 Trdota po Shore D

Vzorec smo pripravili v petrijevki. Negovali smo ga 7 dni, nato smo izvedli meritve. Dvignili smo ročaj, nastavili merilno uro (kazalec na 0) in ročaj spustili. Kazalec nam pokaže vrednost, ki smo si jo zapisali. Izvedli smo 5 meritev na eni petrijevki, pri tem smo pozorni na to, da je razmik med meritvenimi točkami vsaj 10 mm in da ne merimo 1 cm od roba. Vrednosti smo si zapisovali in izračunali povprečno vrednost.

Na sliki 6 je prikazana meritev trdote po Shore D.



Slika 6: Merjenje trdote po Shore D

### 3.3.6 Ocena površinske trdote epoksida

Odpornost na praske oziroma Wolff-Willbornov test za oceno površinske trdote premaza. Pri tem smo z različnimi trdotami svinčnikov od 6B do 6H ugotavljali odpornost epoksida na praske - raze. Svinčnik pritrjen v tester pri stalnem kotu  $45^\circ$  in s silo 7,5 N pritiska na površino. Najnižja vrednost trdote svinčnika, ki ne poškoduje površine premaza, določa oceno trdote premaza.

Na spodnji sliki 7 je prikazan tester za oceno trdote premaza.



Slika 7: Tester za oceno trdote premaza

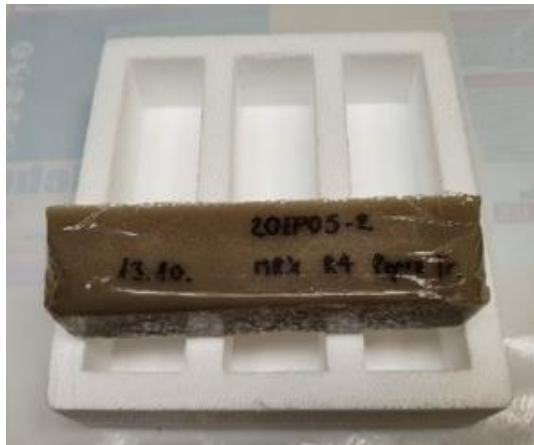
### 3.3.7 Tlačna trdnost

Vzorec epoksida smo nalili v stiroporne kalupe velikosti 40 x 40 x 160 mm. Naredili smo po 3 preizkušance za posamezen material. Po 7 dneh utrjevanja (torej 8. dan) smo jih testirali na stroju, prikazanem na sliki 9. Merimo preizkušance zmesi A + B komponent.

Zgornja plošča preizkusne naprave mora biti premična tako, da lahko prosto nalega, ko pride v stik s preizkušancem. Plošče se ob obremenitvi ne smejo naslanjati ena na drugo. Robna dimenzija plošč je 40 x 40 mm ( $40,0 \pm 0,1$  mm) in debelina 10 mm. Za zagotavljanje pravilnega položaja preizkušanca in nosilnih plošč je bilo potrebno nastaviti lego na pomičnih delih naprave.

Za meritev tlačne trdnosti se uporablja prizma, ki je po opravljeni meritvi upogibne trdnosti prepolovljena na dva dela. Polovico preizkušanca smo položili v ležišče za preizkušanje tlaka, tako da je zlomljena ploskev obrnjena v smeri zadnje strani naprave, spodnja stran prizme pa proti nosilcu. Za preklop med posameznimi načini meritev (upogibna, tlačna trdnost) smo izbrali ustrezno nastavitvev na zaslonu.

Na sliki 8 je prikazana prizma, na sliki 9 pa naprava za merjenje tlačne in upogibne trdnosti.



*Slika 8: Prizma*



*Slika 9: Preša za tlačne in upogibne trdnosti*

### 3.3.8 Kemijska odpornost na različne kemikalije

Za določitev kemijske obstojnosti se pripravijo vzorci v petrijevki. Vzorci se strjujejo 7 dni pri standardnih pogojih. Nato se po 7 dneh vsem vzorcem izmeri trdota po Shore D (glej merjenje trdote po Shore D), ter se jih prelije z določeno kemikalijo (vino, mleko, močna kislina, šibka kislina, močna baza, šibka baza, gorivo, olje), ki se jo pusti 3 ure, 1 dan in 7 dni na vzorcu. Vzorce po 3 urah, 1 dnevu ali 7 dneh speremo z destilirano vodo ter po enem dnevu izmerimo ponovno Shore D. Oceni se tudi vizualna ocena vzorca glede na prvotni vzorec, ki ni bil obremenjen; pri tem se dodeli eno od karakteristik: deformacija, razbarvanje, ni spremembe. Pripravili smo tabelo v katero smo vpisovali podatke, ki je izgledala kot je prikazano v tabeli 2.

*Tabela 2: Prikaz tabele za vpisovanje podatkov za kemijsko obremenitev*

Po 3 h, 1 dan, 1 teden obremenitve	VZ. 1		VZ. 2		VZ. 3	
	Shore D	Def.	Shore D	Def.	Shore D	Def.
Mleko						
Vino						
NaOH						
Metanol						
Amonijev hidroksid						
Žveplova kislina						
Etanojska kislina						

### 3.3.9 Stehiometrija

Stehiometrično razmerje smola/trdilec smo preračunali s pomočjo Excelove tabele, s prednastavljenimi enačbami. Vstavili smo le količine posameznih snovi v prikazano spodnjo tabelo številka 3.

*Tabela 3: Preračun razmerja smola/trdilec*

Ime materiala						
Formulacija:		Produkt	min	max	ee-povp	viskoznost
<b>A komponenta:</b>	Reaktivna smola 1	X	X	X		
	Reaktivna smola 2	X	X	X		
	Reaktivni diluent	X	X			
	Barijev sulfat			/		
	Talk					
	Kremenčeva moka					
	Omočevalo					
	Antipenikec					
	Mikrosilika					
	Pigment					
<b>ee:</b>						
				Heq		
	Trdilec					
<b>MR:</b>	100:					

Tabela prikazuje preračun razmerja smola/trdilec. Vstavljali in spreminjali smo procent dodatkov oziroma količine; s to tabelo smo si olajšali preračun recepture za stehiometrično razmerje. V tabeli so navedene vse komponente, ki sodijo v mešanico.

## 4 REZULTATI IN DISKUSIJA

### 4.1 Merjenje viskoznosti

Viskoznost diluentov smo izmerili po 24 urah v komori na 23 °C. Rezultati so prikazani v spodnji tabeli številka 4.

*Tabela 4: Viskoznosti diluentov*

DILUENTI	Temperatura [°C]	Viskoznost [mPas]	Upor [%]	Hitrost mešala [rpm]
Monofunkcijski diluent	26,1	7,2	22,5	200
Difunkcijski diluent	25,5	118,1	77,5	42
Večfunkcijski diluent	25,6	24,5	76,7	200

Nato smo izmerili viskoznosti A komponentam, po 24 urah v komori na 23 °C. Rezultati so prikazani v tabeli 5.

*Tabela 5: Viskoznosti A komponent*

A KOMPONENTE	Temperatura [°C]	Viskoznost [mPas]	Upor [%]	Hitrost mešala [rpm]
1. Vzorec	23,7	6673	80,0	12
2. Vzorec	23,4	2939	80,7	28
3. Vzorec	22,6	8240	82,4	10

Sledi še tabela 6 viskoznosti A + B komponentam po mešanju. Razvidno je, da se pri mešanju A + B komponente material segreva.

*Tabela 6: Viskoznosti A+B komponent*

A+B	Razmerje A+B	Temperatura [°C]	Viskoznost [mPas]	Hitrost mešala [rpm]
1. Vzorec	100:20	32,1	898,9	90
2. Vzorec	100:25	28,4	957,3	82
3. Vzorec	100:23	29,2	2523,0	31



## 4.2 Merjenje gostote

Gostoto smo izmerili s pomočjo specifične teže s piknometrom, in sicer vsem diluentom, A komponentam in A+B komponenti. Meritve so prikazane v tabelah 7, 8 in 9.

*Tabela 7: Gostota diluentov*

DILUENTI	Temperatura [°C]	Gostota [g/ml]
Monofunkcijski	26,1	0,899
Difunkcijski	25,5	1,132
Večfunkcijski	25,6	1,053

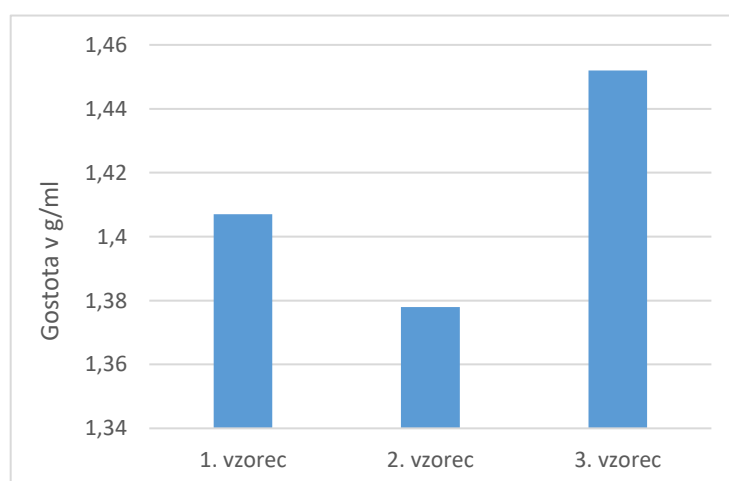
*Tabela 8: Gostota A komponent*

A KOMPONENTA	Temperatura [°C]	Gostota [g/ml]
1. Vzorec	23,7	1,665
2. Vzorec	23,2	1,634
3. Vzorec	23,4	1,677

*Tabela 9: Gostota A+B komponent*

A+B KOMPONENTA	Razmerje A+B	Temperatura [°C]	Gostota [g/ml]
1. Vzorec	100:20	32,1	1,505
2. Vzorec	100:25	28,4	1,451
3. Vzorec	100:23	29,2	1,507

Na grafu 1 je prikazana razlika v gostoti strjenega materiala oziroma prizmic.



*Graf 1: Gostota strjenega materiala (prizmic)*

### 4.3 Razlez

Tečenje oziroma razlez smo preverili s cilindrom oziroma tulcem, ki smo ga postavili na ravno podlago. Rezultati so prikazani v tabeli 10. Na sliki 10 je prikazano tečenje vzorcev.

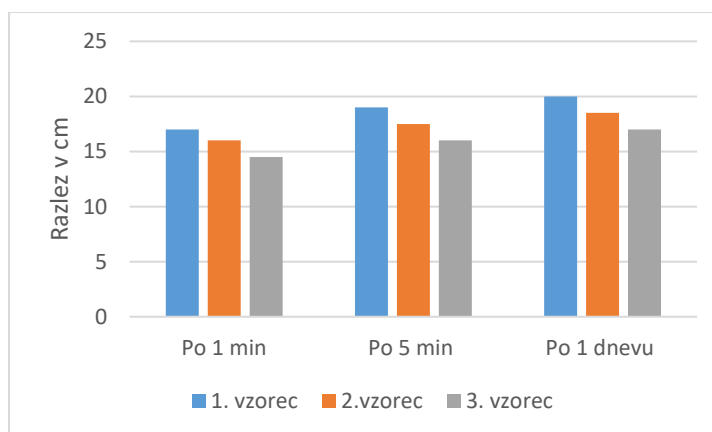
Tabela 10: Razlez oziroma tečenje

RAZLEZ	Po 1 min [cm]	Po 5 min [cm]	Po 1 dnevju [cm]
1. Vzorec	17,0	19,0	20,0
2. Vzorec	16,0	17,5	18,5
3. Vzorec	14,5	16,0	17,0



Slika 10: Prikaz tečenja vseh vzorcev, od leve proti desni od 1. do 3. vzorca

Iz slik in tabele je razvidno, da 1. vzorec najbolj teče, sledi 2. in 3. vzorec, kljub temu pa je tudi razlez 3. vzorca zadovoljiv za potrebe tega proizvoda na trgu. Na grafu 2 lahko vidimo tečenje oziroma razlez.



Graf 2: Tečenje oziroma razlez

### 4.4 Vizualna ocena

Na mavčno kartonskih ploščah smo pripravili podlago za nanos epoksida. Razdelili smo jo na 3 dele, vzorce zmešali v že prej preračunanem razmerju ter jih nanесли na podlago z valjčkom. Po nanosu smo odzračili nestrjen material z ježkastim valjčkom. Pri tem smo opazili, da 3. vzorec najboljše pokriva podlago in se najlepše nanaša, oziroma je nanos najbolj primeren. Drugi dan po nanosu smo preverili še spenjenost oziroma če so v površini ostali ujeti mehurčki. Pri tem se je prav tako 3. vzorec najboljše odrezal. Na sliki 11 je prikazan nanos epoksida.



Slika 11: Nanos epoksida

Pokrivnost smo preverjali še na testni karti. Na karto smo z aplikatorjem nanesli epoksid, ki smo ga zmešali, ter preverili ali epoksid prekriva črno podlago ali se vidi prehod. Vidno je, da 1. in 3. vzorec boljše prekrivata površino od 2. vzorca. Na sliki 12 je prikazan aplikator za nanos filma, na sliki 13 pa je prikazano prekrivanje oziroma kritnost podlage.



Slika 12: Aplikator za nanos filma z dvema različnima vdolbinama, za nanašanje različne debeline



Slika 13: Prikaz prekrivanja podlage oziroma kritnost

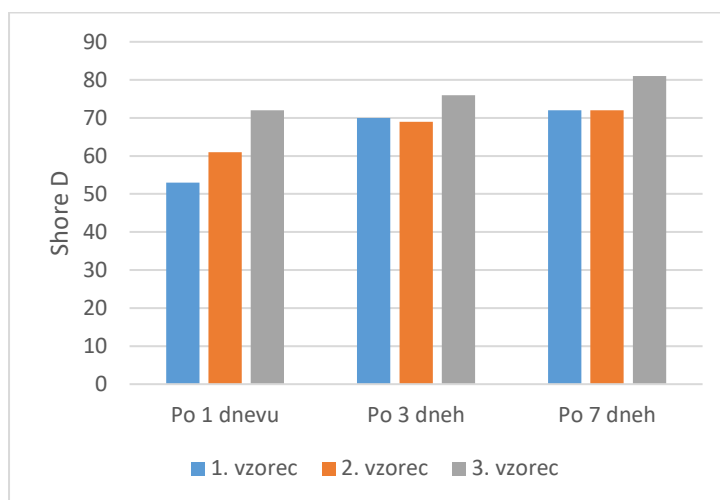
## 4.5 Trdota po Shore D

Trdoto smo merili po 1, 3 in 7 dneh zamreževanja v petrijevkah. Rezultati so prikazani v spodnji tabeli 11.

Tabela 11: Trdota po Shore D po 1, 3 in 7 dneh

SHORE D	Po 1 dnevu	Po 3 dneh	Po 7 dneh
1. Vzorec	53	70	72
2. Vzorec	61	69	72
3. Vzorec	72	76	81

Iz zgornje tabele je razvidno, da trdota materialu raste z večanjem funkcionalnosti, kot smo tudi predvidevali. 3. vzorec, ki je večfunkcionalen ima večjo trdoto po Shore D, kot eno- in dvofunkcionalen, kar pripisujemo večji oziroma gostejši zamreženosti. Na grafu 3 je prikazana trdota po Shore D.



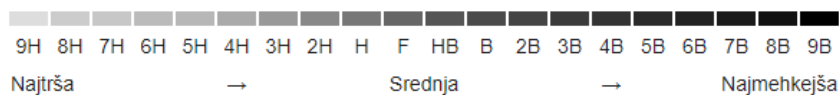
Graf 3: Trdota po Shore D

## 4.6 Ocena trdote epoksida

Odpornost na praske smo preverjali s trdoto svinčnika od 6 B do 6 H, najnižja vrednost trdote svinčnika, ki razi premaz, določa oceno trdote premaza. V tabeli 12 je prikazana odpornost na praske, na sliki 14 pa trdota svinčnikov od najtršega do najmehkejšega.

Tabela 12: Odpornost na praske

ODPORNOST PROTI PRASKAM	Trdota svinčnika, ki razi podlago
1. Vzorec	6 H
2. Vzorec	6 H
3. vzorec	/ (ne razi)



Slika 14: Prikaz trdote svinčnikov od najtršega do najmehkejšega

Iz tabele je razvidno, da 1. in 2. vzorec razi svinčnik trdote 6 H. 3. vzorca ni razil noben svinčnik, torej je trdota 3. vzorca največja. Na sliki 15 je prikazana posledica razenja s svinčnikom.



Slika 15: Prikaz posledic razenja s svinčnikom

#### 4.7 Tlačna trdnost

Tlačno trdnost smo preverjali tako, da smo pripravljene prizme vzeli iz kalupov, jih prerezali na polovice, ter jih nato testirali na stroju za tlačno trdnost. 1.1 pomeni prva prizma zgornji del prizme, 1.2 pa prva prizma spodnji del prizme. Rezultati so zbrani in prikazani v tabeli 13, prikaz prizmic na sliki 16 in prikaz prizmic po obremenitvi s tlakom na sliki 17.

Tabela 13: Rezultati meritev tlačnih trdnosti

	Tlačna trdnost [MPa]				POVPREČJE
	1.1	1.2	2.1	2.2	
1.vzorec	53,05	52,05	50,90	52,12	52,03
2.vzorec	53,22	52,27	53,47	51,14	52,53
3.vzorec	80,32	79,46	81,96	81,51	80,81

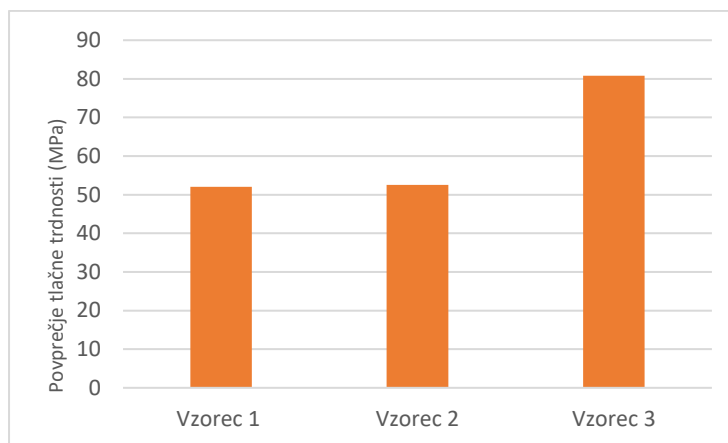


Slika 16: Prikaz prizmic



Slika 17: Prikaz prizmic po obremenitvi s tlakom

Iz slik je razvidno, da so se vzorci različno obnašali pod tlakom. 1. in 2. vzorec delujeta bolj togo, neelastično. 3. vzorec se obnaša nekoliko bolj elastično, posledično je dosegel tudi višje vrednosti, ki so razvidne iz tabele 12 in grafa 4.



Graf 4: Rezultati meritev tlačne trdnosti

#### 4.8 Kemijska odpornost z različnimi kemikalijami

V spodnjih tabelah so prikazani rezultati meritev trdnosti po 3 urah, 1 in 7 dneh obremenitve z različnimi kemikalijami. Delo je potekalo pri sobni temperaturi v laboratoriju, ki se je redno prezračeval. Petrijevke s tekočino smo pokrili s pokrovom, da ne izhlapevajo. Rezultati meritev po 3 urah obremenitve so prikazane v tabeli 14.

*Tabela 14: Rezultati meritev po 3 urah obremenitve s kemikalijami*

Po 3 h obremenitve	VZ. 1		VZ. 2		VZ. 3	
	Shore D	Def.	Shore D	Def.	Shore D	Def.
Mleko (3,5 %)	68	X	75	x	81	x
Vino	70	x	65	x	81	x
NaOH (10 %)	70	x	74	x	81	x
Metanol	64	x	63	x	73	x
Amonijev hidroksid (25 %)	80	x	77	x	81	x
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (10 %)	70	x	71	Deformacija, obarvanje	74	x
Nafta	71	x	76	x	77	x
Motorno olje (odpadno)	67	x	73	x	73	x

Rezultati meritev po 1 dnevu obremenitve so prikazane v tabeli 15.

Tabela 15: Rezultati meritev po 1 dnevu obremenitve s kemikalijami

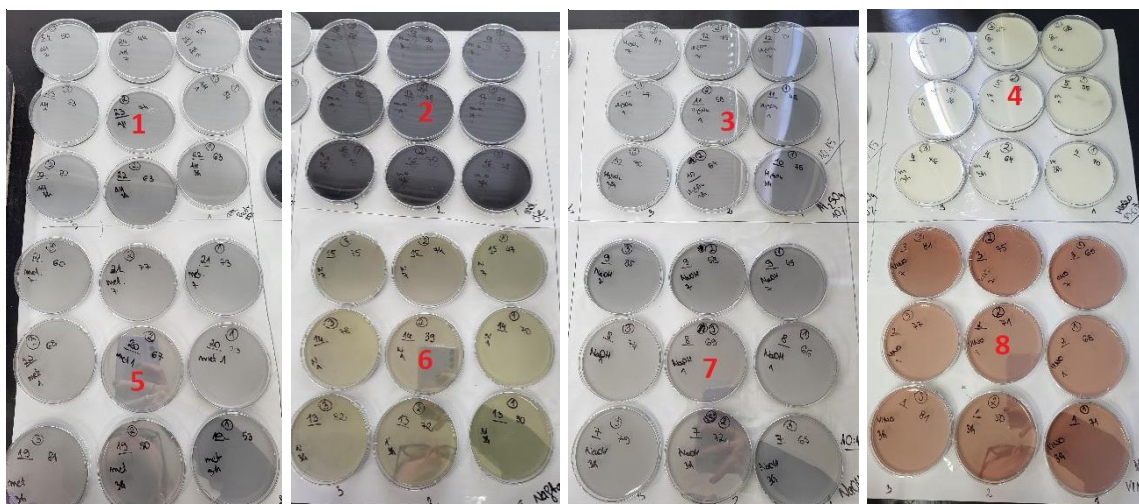
Po 1 dnevu obremenitve	VZ. 1		VZ. 2		VZ. 3	
	Shore D	Def.	Shore D	Def.	Shore D	Def.
Mleko (3,5 %)	67	x	73	x	80	x
Vino	71	x	68	x	83	x
NaOH (10 %)	71	x	71	x	83	x
Metanol	57	x	58	x	55	x
Amonijev hidroksid (25 %)	69	x	74	x	83	x
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (10 %)	67	Obarvanje	66	Deformacija, Obarvanje	75	Obarvanje
Nafta	73	x	73	x	75	x
Motorno olje (odpadno)	70	x	75	x	85	X

Rezultati meritev po 7 dneh obremenitve so prikazane v tabeli 16.



Tabela 16: Rezultati meritev po 7 dneh obremenitve s kemikalijami

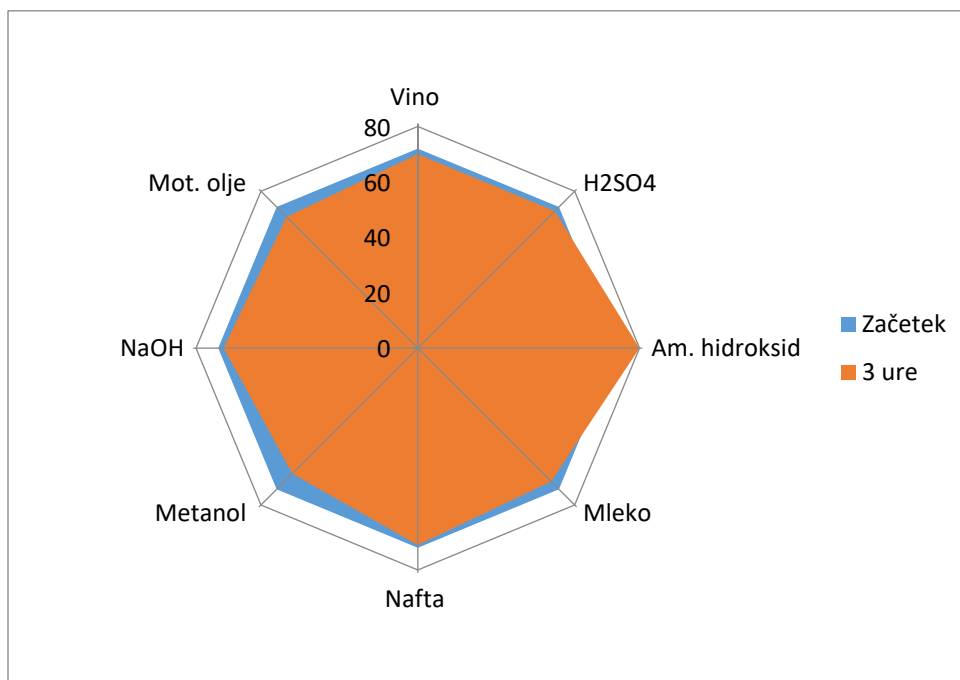
Po 7 dneh obremenitve	VZ. 1		VZ. 2		VZ. 3	
	Shore D	Def.	Shore D	Def.	Shore D	Def.
Mleko (3,5 %)	63	x	69	x	74	X
Vino	64	x	65	x	73	X
NaOH (10 %)	61	x	67	x	73	X
Metanol	55	x	57	x	62	X
Amonijev hidroksid (25 %)	76	x	61	x	76	X
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (10 %)	73	Obarvanje	62	Deformacija, obarvanje	71	Deformacija, obarvanje
Nafta	69	x	72	x	84	X
Motorno olje (odpadno)	66	x	74	x	79	X



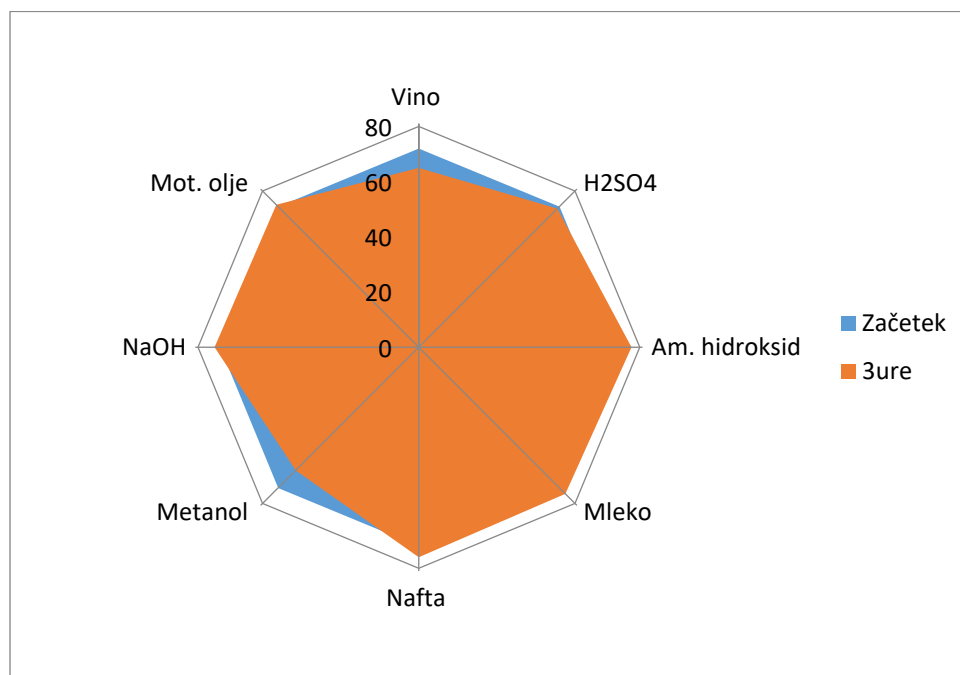
Slika 18: Prikaz obremenitve z (od leve proti desni) amonijevim hidroksidom- 1 (komplet 3 x 3), motornim oljem- 2, žveplovo kislino- 3, mlekom- 4, metanolom- 5, nafto- 6, natrijevim hidroksidom- 7 in vinom- 8

Kemijska odpornost na vzorce po 3 urah obremenitve je prikazana spodaj na tortnih grafikonih 5, 6 in 7. Na grafikonu 5 je prikazana kemijska odpornost za vzorec 1. Ob tortnem grafikonu najdemo kemikalije, ki smo jih uporabili za obremenitev, modro polje

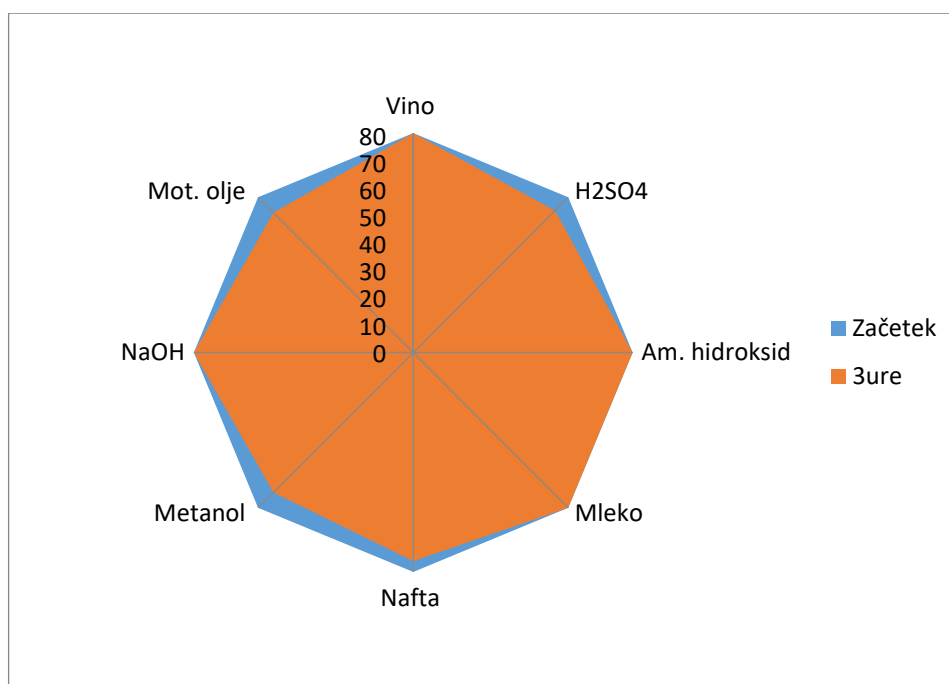
prikazuje meritve na začetku testiranja, oranžno pa po 3 urah obremenitve. Enako velja tudi za spodnje, le da veljajo za 1 dan in 7 dni obremenitve.



Graf 5: Kemijska odpornost za vzorec 1 (3 ure)

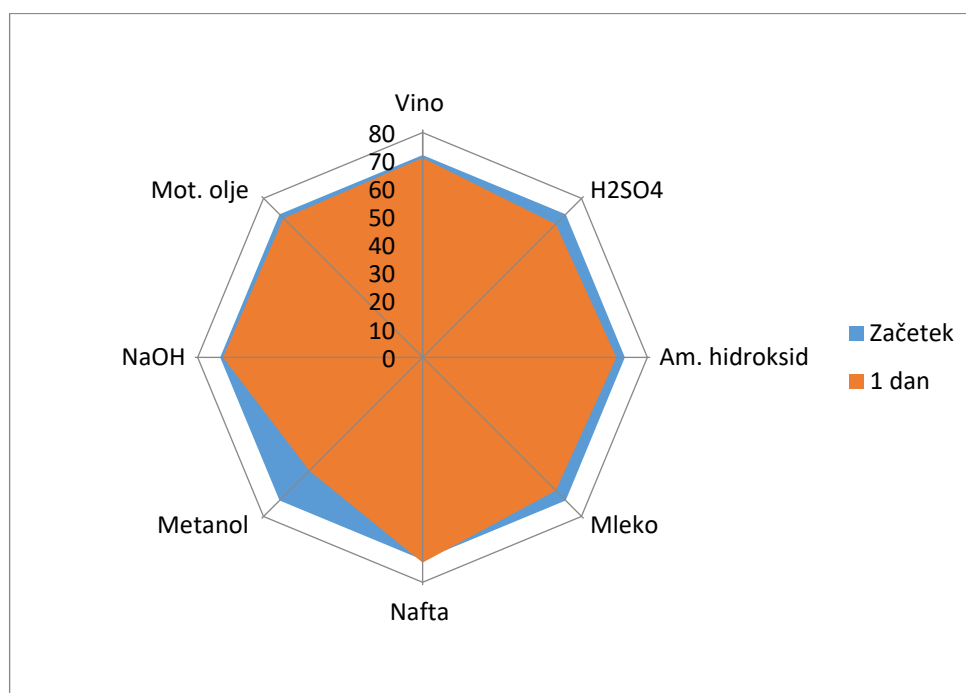


Graf 6: Kemijska odpornost za vzorec 2 (3 ure)

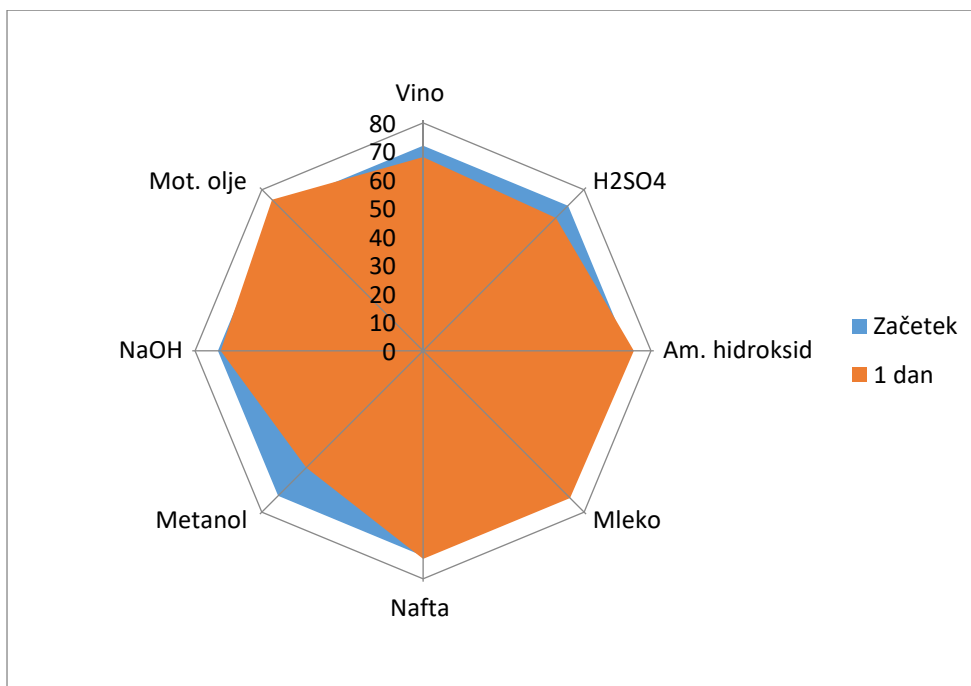


Graf 7: Kemijska odpornost za vzorec 3 (3 ure)

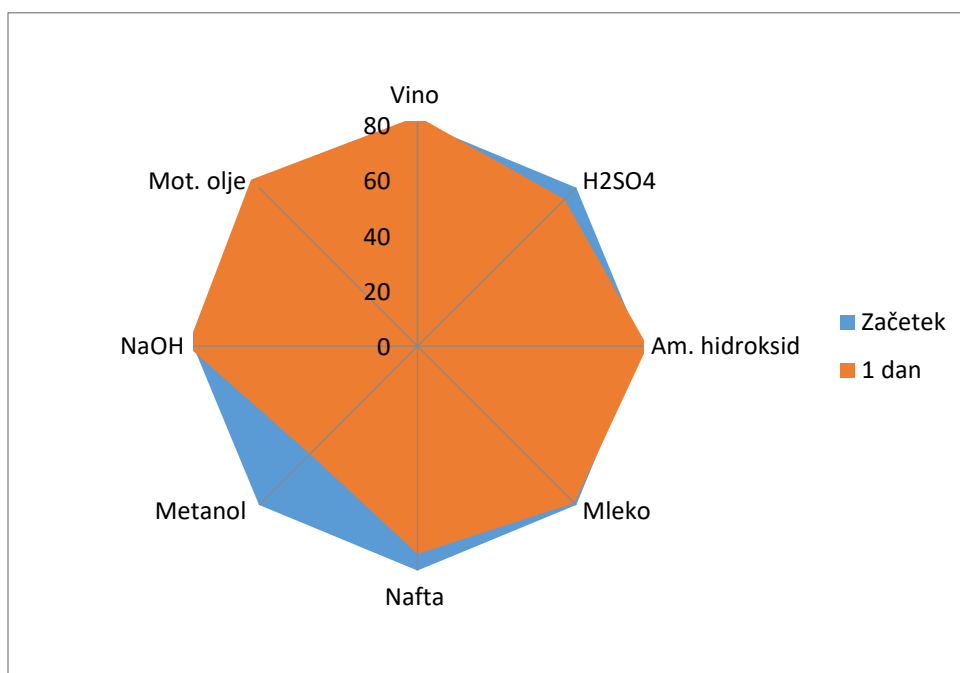
Kemijska odpornost na obremenitev po 1 dnevu je prikazana spodaj na grafikoni 8, 9 in 10.



Graf 8: Kemijska odpornost za vzorec 1 (1 dan)

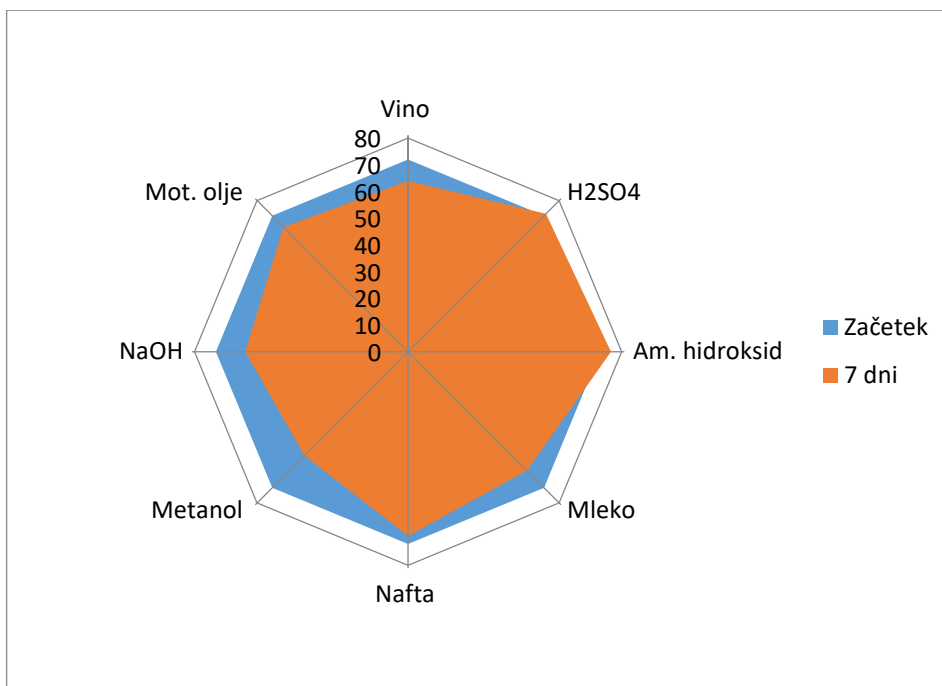


Graf 9: Kemijska odpornost za vzorec 2 (1 dan)

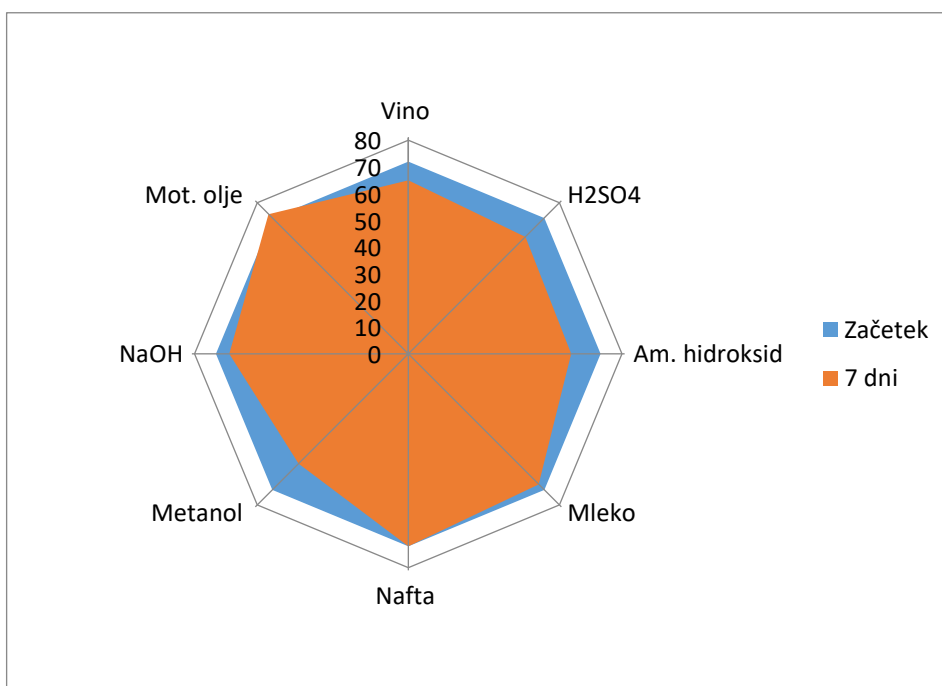


Graf 10: Kemijska odpornost za vzorec 3 (1 dan)

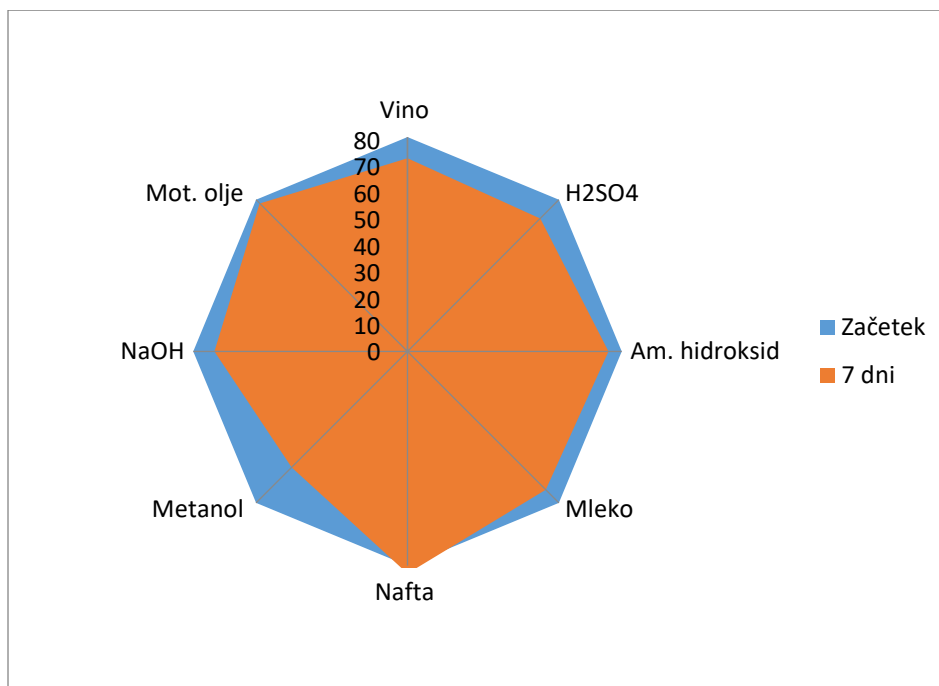
Kemijska odpornost na obremenitev po 7 dneh je prikazana spodaj na grafikonih 11, 12 in 13.



Graf 11: Kemijska odpornost za vzorec 1 (7 dni)



Graf 12: Kemijska odpornost za vzorec 2 (7 dni)



Graf 13: Kemijska odpornost za vzorec 3 (7 dni)

#### 4.9 Primerjava lastnosti, izbira tipa diluenta

Iz meritev je razvidno, da se lastnosti izboljšujejo z večanjem funkcionalnosti, vendar ne vedno. Vseeno pa ima 3. vzorec, torej vzorec z večfunkcionalnim diluentom, boljše mehanske ter kemijske lastnosti in prekrivanje podlage od prvih dveh vzorcev. Tretji vzorec A komponenta je imela najvišjo viskoznost, a ima vseeno dobro obdelovalnost. Slika 4 kaže, da lepo razteka in tudi prekrivnost je primerljiva s prvim vzorcem. Na splošno se je kemijska odpornost povečala s večanjem funkcionalnosti. Pri tem pa je zelo pomembna izbira trdilca, saj bi lahko z spremembo le-tega kemijsko odpornost še dodatno izboljšali. Pri tlačni trdnosti 1. in 2. vzorec delujeta bolj togo, neelastično. 3. vzorec se obnaša nekoliko bolj elastično, zato je dosegel tudi višje vrednosti. Tudi iz ocene trdote premaza je razvidno, da ima 3. vzorec najboljše lastnosti, saj ga noben svinčnik ni razil, medtem ko je prva dva vzorca razila svinčnika trdote 6 H.

Pri izbiri diluenta bi izbrali 3. vzorec, le da bi pri tem bilo potrebno še veliko drugih testov ter optimizacija dodatka ostalih komponent, saj na kemijske in mehanske lastnosti ne vpliva le diluent, ampak tudi druge komponente v zmesi.

## 5 SKLEP

Namen diplomskega dela je bil ugotoviti, v kakšni meri različni reaktivni diluenti vplivajo na kemijsko obstojnost in mehanske lastnosti epoksidnega sistema, ter posledično izbrati najustreznejši reaktivni diluent za aplikacije na trgu. Analiza problema zanima podjetje Murexin d.o.o.

Glavni cilj diplomskega dela je bil ugotoviti, kako posamezni tipi reaktivnih diluentov vplivajo na mehanske lastnosti in kemijsko obstojnost epoksidnega samolivnega tlaka.

Podjetje Murexin d.o.o. želi lansirati nov epoksidni sistem, ki bi z minimalno modifikacijo in s tem skoraj nespremenjenimi materialnimi stroški, omogočil uporabo tudi v industriji z visoko kemijsko obremenitvijo. Naša predpostavka je bila, da se bodo mehanske lastnosti in kemijske obstojnosti materialom izboljšale z večanjem funkcionalnosti. Pričakovali smo izboljšanje lastnosti.

Pri delu smo naleteli na kar nekaj omejitev, saj so se nam materiali penili, zato je sledila sprememba recepture. Pri mešanju komponent se je material hitro segreval, zato smo hitrost mešala upočasnili. Merili smo tlačno trdnost, trdoto po Shore D, kemijsko odpornost, gostoto, viskoznost in tečenje materialov.

Na podlagi literature o reaktivnih diluentih smo predpostavili, da se bodo mehanske lastnosti in kemijska obstojnost materialom izboljšale z večanjem funkcionalnosti, torej smo predpostavili, da bodo vzorci z dvo- in večfunkcionalnimi reaktivnimi diluenti imeli boljše lastnosti kot z eno funkcionalnimi. Pri fizikalnih lastnostih težje napovemo, kaj se bo dogajalo, saj imajo različni reaktivni diluenti zelo različne viskoznosti. Ocenjujemo pa, da to ne bo imelo velikega vpliva na končne fizikalne lastnosti, ki jih bomo preverjali. Omejitev, ki smo jo pričakovali je velika viskoznost diluentov.

Pri tem smo dokazali, da se z večanjem funkcionalnosti diluenta izboljšujejo mehanske lastnosti in kemijska obstojnost. To smo dokazali z rezultati, ki se izboljšujejo z večanjem funkcionalnosti.

Omejitev, ki smo jo pričakovali, torej visoka viskoznost reaktivnih diluentov, ni povzročala težav. Pri tem smo opazili, da je imel 2. diluent največjo viskoznost in gostoto, ampak ko smo ga zmešali, se ta ni odrazila v povečani viskoznosti mešanice. Kemijska odpornost se je povečevala z večanjem funkcionalnosti za 3.vzorec za razliko od 1. za 35,8 %. Ne glede na najvišjo viskoznost in gostoto 3. vzorec najboljše prekriva podlago in se najlepše nanaša. Bil je najtrši in najbolj odporen. Postavljeno hipotezo smo delno potrdili. 3.vzorec, torej vzorec z več-funkcionalnim diluentom, je imel boljše lastnosti od 1.vzorca (mono-funkcionalni diluent). Predpostavke smo delno potrdili. Pričakovali smo izredna izboljšanja lastnosti, ki jih pa nismo dosegli.

Na koncu smo našli recepturo, ki je ustrezala, torej se material ni penil in imel zadovoljive lastnosti za našo raziskavo. Receptura še zmeraj potrebuje optimizacijo. Naredili smo osnovne meritve in postavili izhodišča za nadaljnje raziskave tega materiala. Zmes ima kar nekaj komponent, in sicer od aditivov, polnil ter dodatkov,

spreminjali smo le eno. S spremembo posamezne komponente in opazovanjem sprememb bi lahko lastnosti še izboljšali. Imamo kompleksni sistem, pri katerem bi morali spremeniti tudi trdilec, kajti le-ta vpliva tudi na kemijsko obstojnost.



**SEZNAM LITERATURE IN VIROV**

- [1] M. Hummel, W. Karl, O. Nickel, M. Ortelt, Epoxidharze in der Bauwirtschaft und Umwelt, 1 (2009). [https://deutsche-bauchemie.de/publikationen/weitersprachen/details?tt\\_products%5Bproduct%5D=293&cHash=0c0109f54ea602e204b52dde569860be](https://deutsche-bauchemie.de/publikationen/weitersprachen/details?tt_products%5Bproduct%5D=293&cHash=0c0109f54ea602e204b52dde569860be)
- [2] J.J. Licari, D.W. Swanson, Chemistry, Formulation, and Properties of Adhesives, 1 (2011). <https://doi.org/10.1016/b978-1-4377-7889-2.10003-8>.
- [3] Evonik Industries, Mono- and difunctional reactive diluents, (n.d.). <https://crosslinkers.evonik.com/en/products/epodil>, 2005 (dostopano 8. 7. 2022)
- [4] M. Khalina, M.H. Beheshty, A. Salimi, The effect of reactive diluent on mechanical properties and microstructure of epoxy resins, Polym. Bull. 76 (2019) 3905–3927. <https://doi.org/10.1007/s00289-018-2577-6>.
- [5] Murexin GmbH, Murexin d.o.o., <https://www.murexin.si/>, 2000 (dostopano 17. 7. 2022)
- [6] Patel, Chemistry basics, 9–25. <https://epoxy-europe.eu/epoxies/chemistry-basics/>, 2019 (dostopano 8. 5. 2022)
- [7] T.E. Polymer, Epoxy Resins : A to Z Technical Review of Thermosetting Polymer Epoxy Resins : A to Z Technical Review of Thermosetting Polymer, 1 (2019) 3–7. <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/epoxy-resins-a-to-z-technical-review-of-thermosetting-polymer> .
- [8] E. Ozeren Ozgul, M.H. Ozkul, Effects of epoxy, hardener, and diluent types on the workability of epoxy mixtures, Constr. Build. Mater. 158 (2018) 369–377. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.008>.
- [9] Lumitos, Epoxidharz Chemi, <https://www.chemie.de/lexikon/Epoxidharz.html>, 2007 (dostopano 15. 6. 2022)
- [10] Epoxy Central, WHAT IS EPOXY FLOORING? & WHAT ARE THE DIFFERENT TYPES OF EPOXY FLOOR COATINGS?, 2022. <https://www.epoxycentral.com/blogs/epoxy-floor-coatings/what-is-epoxy-flooring-what-are-the-different-types-of-epoxy-floor-coatings>, 2018 (dostopano 3. 7. 2022)
- [11] PET-BM d.o.o., Samorazlivni epoksi tlaki, 2022. <https://www.epoksitlak.si/storitve/samorazlivni-epoksi-tlaki/>, 2003 (dostopano 3. 7. 2022)
- [12] The Dow Chemical Company, Product Safety Assessment Liquid Epoxy Resins with Reactive Diluents, 1 (2007) 1–7. <https://www.zag.si/ajax/DownloadHandler.php?file=1560> (5. 5. 2022)
- [13] A. Sinha, N. Islam Khan, S. Das, J. Zhang, S. Halder, Effect of reactive and non-reactive diluents on thermal and mechanical properties of epoxy resin, High Perform. Polym. 30 (2018) 1159–1168. <https://doi.org/10.1177/0954008317743307>.

**SEZNAM SLIK**

Slika 1: KEMAPOX C 6000 .....	4
Slika 2: Sinteza DGEBA.....	7
Slika 3: Brookfieldov viskozimeter .....	18
Slika 4: Piknometer - čaša za merjenje specifične teže .....	18
Slika 5: Razlivanje premaza.....	19
Slika 6: Merjenje trdote po Shore D .....	20
Slika 7: Tester za oceno trdote premaza .....	20
Slika 8: Prizma .....	21
Slika 9: Preša za tlačne in upogibne trdnosti .....	21
Slika 10: Prikaz tečenja vseh vzorcev, od leve proti desni od 1. do 3. vzorca .....	26
Slika 11: Nanos epoksida .....	27
Slika 12: Aplikator za nanos filma z dvema različnima vdolbinama, za nanašanje različne debeline .....	27
Slika 13: Prikaz prekrivanja podlage oziroma kritnost.....	27
Slika 14: Prikaz trdote svinčnikov od najtršega do najmehkejšega .....	29
Slika 15: Prikaz posledic razenja s svinčnikom .....	29
Slika 16: Prikaz prizmic.....	29
Slika 17: Prikaz prizmic po obremenitvi s tlakom .....	30
Slika 18: Prikaz obremenitve z (od leve proti desni) amonijevim hidroksidom- 1 (komplet 3 x 3), motornim oljem- 2, žveplovo kislino- 3, mlekom- 4, metanolom- 5, nafto- 6, natrijevim hidroksidom- 7 in vinom- 8 .....	33

**SEZNAM TABEL**

Tabela 1: Okvirne vrednosti nekaterih lastnosti betona in epoksi samolivnega tlaka	13
Tabela 2: Prikaz tabele za vpisovanje podatkov za kemijsko obremenitev .....	22
Tabela 3: Preračun razmerja smola/trdilec .....	23
Tabela 4: Viskoznosti diluentov .....	24
Tabela 5: Viskoznosti A komponent .....	24
Tabela 6: Viskoznosti A+B komponent.....	24
Tabela 7: Gostota diluentov.....	25
Tabela 8: Gostota A komponent.....	25
Tabela 9: Gostota A+B komponent .....	25
Tabela 10: Razlez oziroma tečenje .....	26
Tabela 11: Trdota po Shore D po 1, 3 in 7 dneh .....	28
Tabela 12: Odpornost na praske .....	28
Tabela 13: Rezultati meritev tlačnih trdnosti.....	29
Tabela 14: Rezultati meritev po 3 urah obremenitve s kemikalijami.....	31
Tabela 15: Rezultati meritev po 1 dnevu obremenitve s kemikalijami .....	32
Tabela 16: Rezultati meritev po 7 dneh obremenitve s kemikalijami .....	33

## **SEZNAM UPORABLJENIH SIMBOLOV**

*T<sub>g</sub>* - temperatura steklastega prehoda

## **SEZNAM UPORABLJENIH KRATIC**

EP - epoksidne smole

AT - Avstrija

2K - dvokomponentni

1K - enokomponentni

BADGE - bisfenol-A diglicideter

BFDGE - bisfenol-F diglicideter

EEW - epoksi ekvivalentna teža

ESD - elektrostatični naboj