

Destilacijski mulj kao antikorozivni premaz

Fugaš, Lorena

Master's thesis / Diplomski rad

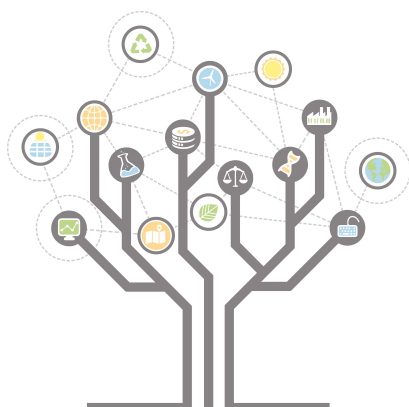
2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:842243>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

LORENA FUGAŠ

DESTILACIJSKI MULJ KAO ANTIKOROZIVNI
PREMAZ

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2022.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva
za 14. 07. 2022. u 9 sa
Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred
ispitnim povjerenstvom u Varaždinu
Varaždin, 30. 06. 2022.

Predsjednik
ispitnog povjerenstva:

izr. prof. dr. sc. Saša Kovač

Članovi povjerenstva

- 1) Prof. dr. sc. Aleksandra Anić Urdinčić
- 2) Doc. dr. sc. Ivana Broić
- 3) Doc. dr. sc. Viktoriir Pecur

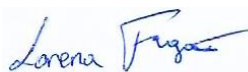
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

DESTILACIJSKI MULJ KAO ANTIKOROZIVNI
PREMAZ

KANDIDAT:

Lorena Fugaš



MENTOR:

Prof. dr. sc. Aleksandra Anić Vučinić

VARAŽDIN, 2022.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

Destilacijski mulj kao antikorozivni premaz

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

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

U Varaždinu, 30.06.2022.

Lorena Fugaš

(Ime i prezime)



(Vlastoručni potpis)

IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI DIPLOMSKOG RADA S VEĆ OBJAVLJENIM RADOVIMA

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:


Destilacijski mulj kao antikorozivni premaz

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog diplomskog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti diplomskog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 27.06.2022.

Prof.dr.sc. Aleksandra Anić Vučinić

(Mentor)



(Vlastoručni potpis)

ZAHVALA

Zahvaljujem Silviji Petković, mag. appl. chem, doktorandici Geotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu te voditeljici kontrole kvalitete i laboratorija tvrtke Premifab d.o.o. te na vodstvu, pomoći, vremenu, savjetima pri izradi ovog diplomskog rada te pruženom velikom znanju i iskustvu.

Ujedno zahvaljujem i direktorima tvrtke Premifab d.o.o. na pruženoj prilici za izradu diplomskog rada u industriji na realnom projektu te svim zaposlenicima tvrtke Premifab d.o.o. na pomoći i ugodnoj radnoj atmosferi.

Zahvaljujem svojoj mentorici, prof. dr. sc. Aleksandri Anić Vučinić, na mentorstvu te omogućenoj prilici za izradu diplomskog rada u Premifabu.

Najveća zahvala ide mojim roditeljima koji su mi bili čvrst oslonac te su mi omogućili bezbrižno studiranje i svu moguću podršku.

Zahvaljujem dečku Dariu na pomoći, strpljenju i savjetima. Također, zahvaljujem i svim prijateljima i bližnjima na podršci tokom studiranja.

Hvala!

SAŽETAK:

Ime i prezime: Lorena Fugaš

Naslov diplomskog rada: Destilacijski mulj kao antikorozivni premaz

U kemijskoj industriji, u procesu regeneracije otpadnih otapala najčešće se koristi postupak destilacije. Procesom destilacije dobivaju se dva produkta. Primarni produkt je destilat/regenerat koji je konvencionalno primjenjiv, odnosno može se koristiti kao novi proizvod. Destilacijski mulj dobiva se kao sekundarni produkt te ostaje neiskorišten i klasificira se kao opasan otpad kojeg je potrebno zbrinuti. Obzirom da klasično zbrinjavanje opasnog otpada nije u skladu s ciljevima kružnog gospodarstva, destilacijskom mulju tražila se primjena u obliku novog proizvoda. Prema porijeklu zaprimljenih otpadnih otapala te fizikalno-kemijskoj karakterizaciji destilacijskog mulja, zaključeno je kako je destilacijski mulj po svom sastavu i svojstvima sličan komercijalnom antikorozivnim premazima. U svrhu izrade ovog diplomskog rada, obrađena su određena fizikalno-kemijska svojstva destilacijskih muljeva, a provedena su ispitivanja mehaničkih svojstava prionjivosti i pokritnosti te reološka ispitivanja viskoznosti i krivulje toka.

Također, usporedno su ispitani i neki komercijalno dostupni antikorozivni premazi na temelju čega je donesen zaključak o perspektivnosti korištenja destilacijskog mulja kao antikorozivnog premaza.

Ključne riječi: kemijska industrija, kružno gospodarstvo, destilacijski mulj, antikorozivni premaz

ABSTRACT:**Name and Surname:** Lorena Fugaš**Graduate Thesis:** Distillation sludge as an anticorrosive coating

In the chemical industry, distillation is the most common process in waste solvents recovery. Distillation results in two products. The primary product is a distillate/regenerate that is conventionally applicable, meaning it can be used as a new product. Distillation sludge is obtained as a secondary product, and it remains unused and is classified as hazardous waste that needs to be disposed. Considering that the disposal of hazardous waste does not match the circular economy targets, a new purpose was sought for the distillation sludge in a form of new product. By the origin of the received waste solvents and the physical-chemical classification of the distillation sludge, it was concluded that the distillation sludge was similar to commercially available anticorrosive coatings in its composition and properties. For the purpose of this thesis, some physical-chemical properties of the distillation sludge were processed, and, along with mechanical properties such as coverage and adhesion, rheological tests of viscosity curve and flow curve were carried out for the distillation sludge.

Also, some commercially available anticorrosive coatings were also examined in parallel what lead to a conclusion on the prospects of using the distillation sludge as an anticorrosive coating.

Keywords: chemical industry, circular economy, distillation sludge, anticorrosive coating

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| 1. Uvod..... | 1 |
| 2. Kemijska industrija i kružno gospodarstvo | 2 |
| 2.1. Kemijska industrija | 2 |
| 2.2. Otpad iz kemijske industrije | 3 |
| 2.3. Kružno gospodarstvo | 6 |
| 3. Regeneracija postupkom destilacije..... | 7 |
| 3.1. Tehnološki postupak destilacije | 9 |
| 3.2. Destilacijski mulj..... | 14 |
| 4. Svojstva premaza | 15 |
| 4.1. Prionjivost i pokritnost..... | 15 |
| 4.2. Reometrija | 15 |
| 4.2.1. Viskoznost i krivulja toka | 16 |
| 5. Eksperimentalni dio..... | 20 |
| 5.1. Fizikalno-kemijska karakterizacija destilacijskog mulja..... | 20 |
| 5.2. Gravimetrijska analiza | 21 |
| 5.3. Prionjivost i pokritnost destilacijskog mulja | 22 |
| 5.4. Reološka ispitivanja | 22 |
| 6. Rezultati | 23 |
| 6.1. Fizikalno-kemijska karakterizacija destilacijskog mulja..... | 23 |
| 6.2. Gravimetrijska analiza | 24 |
| 6.3. Prionjivost i pokritnost destilacijskog mulja | 28 |
| 6.4. Reološka ispitivanja | 45 |
| 6.4.1. Reološka ispitivanja destilacijskog mulja | 45 |
| 6.4.2. Reološka ispitivanja komercijalnih antikorozivnih premaza..... | 47 |
| 6.4.3. Interpretacija reoloških mjerenja | 50 |
| 7. Zaključak..... | 51 |
| 8. Popis literature | 52 |
| 9. Popis slika..... | 54 |
| 10. Popis tablica..... | 57 |
| 11. Popis i objašnjenje kratica korištenih u tekstu | 58 |

1. UVOD

Procesom destilacije oporabljuje se većinski dio otpada (postotak uporabe varira ovisno o šarži) pri čemu se konvencionalno iskoristivi dio tj. destilat/regenerat pretvara u novi proizvod. No, ipak jedan dio ostaje neiskorišten u obliku destilacijskog mulja. Taj destilacijski mulj, koji je ujedno i opasan otpad, potrebno je dalje zbrinuti prema zakonima i propisima o zbrinjavanju opasnog otpada. Opasni otpad u takvom obliku spaljuje se u energanama. Budući da takva postrojenja ne postoje u Republici Hrvatskoj, tvrtke o svom trošku u inozemstvu termički oporabljuju, odnosno spaljuju takvu vrstu opasnog otpada. Uz to, termička uporaba otpada je, prema hijerarhiji gospodarenja otpadom, niže rangirani postupak od recikliranja i ne daje dodanu vrijednost gospodarstvu.

Vodeći se ciljevima kružnog gospodarstva i smanjenju troškova zbrinjavanja otpada te proučavajući porijeklo, sastav, fizikalna, kemijska i druga svojstva, stvorena je ideja o kreiranju novog proizvoda iz destilacijskog mulja.

Opasni otpad koji dolazi iz autoindustrije, industrije boja i lakova te industrije tiska fleksibilne prehrambene ambalaže u sebi sadrži različite komponente poput alkidnih i akrilnih boja, nitroboja, poliesterskih i poliuretanskih smola itd. Također sadrži fizikalna, kemijska, reološka te mehanička svojstva koja se podudaraju sa svojstvima koja sadrže i komercijalni antikorozivni premazi. S tim na umu, destilacijski mulj je zapravo polimerna frakcija.

Temeljem toga provedena su preliminarna istraživanja koja su pokazala kako je ideja inovativna i ostvariva te je bilo potrebno provesti daljnja istraživanja materijala kako bi se mogao proizvesti novi proizvod. Daljnji plan je nastaviti provoditi istraživanja koja bi pomogla u razvitku tehnologije uporabe destilacijskog koji ostaje nepročišćen u procesu regeneracije otpadnih otapala putem destilacije te nadorade samog destilacijskog mulja u svrhu dobivanja kvalitetnog antikorozivnog premaza.

2. KEMIJSKA INDUSTRIJA I KRUŽNO GOSPODARSTVO

2.1. KEMIJSKA INDUSTRIJA

Kemijska industrija, u širem smislu, obuhvaća proizvodnju kemikalija i kemijskih proizvoda, guma, plastike te osnovnih farmaceutskih proizvoda i pripravaka.

Klasifikacija kemijske industrije u Hrvatskoj, prema Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti, dijeli se na tri grane, a to su: proizvodnja kemikalija i kemijskih proizvoda, proizvodnja guma i plastike te proizvodnja farmaceutskih osnovnih proizvoda te farmaceutskih pripravaka. [1]

Podjela prema potkategorijama:

- proizvodnja kemijskih proizvoda i kemikalija
 - bazne kemikalije (npr. kiseline i lužine, tehnički plinovi), gnojiva i dušični spojevi, plastika i sintetički kaučuk u primarnim oblicima (polimeri),
 - pesticidi i druge agrokemikalije,
 - boje i lakovi, premazi, grafičke boje i kitovi,
 - sapuni, deterdženti, sredstva za čišćenje i poliranje, parfemi i kozmetičko-toaletni proizvodi,
 - umjetna vlakna, ostali kemijski proizvodi;
- proizvodnja guma i plastike
 - gume i derivati (prerađevina) gume,
 - vanjske i unutrašnje gume za vozila te ostali proizvodi od gume
 - proizvodnja plastike i derivata (prerađevina) plastike (npr. ploče, listovi, cijevi, profili, ambalaža za građevinu, ostalo);
- proizvodnja farmaceutskih proizvoda i pripravaka. [1]

2.2. OTPAD IZ KEMIJSKE INDUSTRIJE

Kategorizacija kemijskog otpada provodi se prema važećem Katalogu otpada (Zakon o gospodarenju otpadom, Pravilnik gospodarenja otpadom). Katalog otpada sadrži šesteroznamenasti broj prema kojem se klasificiraju određene grane industrije. Primarna podjela Kataloga otpada je na grupe, podgrupe, opis otpada (opasan ili neopasan) te svojstva otpada. Prva dva broja govore iz koje grane industrije otpad proizlazi.

Kemijski otpad najčešće proizlazi iz grane 06 koja uključuje otpad iz anorganske industrije, odnosno iz proizvodnje anorganskih kemikalija (Tablica 1.). Zatim, otpad iz grane 07 proizlazi iz farmaceutske industrije, a također se može svrstati pod kemijski otpad (Tablica 2.). Posljednja grana iz koje dolazi kemijski otpad je grana 08 koja uključuje, između ostalog, djelatnosti iz industrije boja i lakova (Tablica 3.). [2, 3]

Sljedeća dva broja u šesteroznamenastom broju iz Kataloga otpada predstavljaju klasifikaciju na otpad iz proizvodnje, formulacije, dobave i uporabe (PFDU) – kiselina, lužina, farmaceutskih pripravaka, boja lakova, ljepila i ostalih proizvoda. [2, 3]

U Tablici 1. nalazi se kataloški prikaz otpada iz anorganskih kemijskih procesa.

Tablica 1.: Kataloški prikaz otpada iz anorganskih kemijskih procesa [2, 3]

| 06 XX YY | OTPAD IZ ANORGANSKOG KEMIJSKOG PROCESA |
|----------|--|
| 01 YY | PFDU kiseline |
| 02 YY | PFDU lužine |
| 03 YY | PFDU soli, njihove otopine i metalni oksidi |
| 04 YY | otpad koji sadrži metale |
| 05 YY | muljevi od obrade efluenata na mjestu njihova nastanka |
| 06 YY | PFDU sumporne iz kemijskog procesa sa sumporom i od procesa odsumporavanja |
| 07 YY | PFDU halogena i kemijskih procesa s halogenima |

| | |
|-------|---|
| 08 YY | PFDU silicija i silicijevih derivata |
| 09 YY | PFDU kemikalija koje sadrže fosfor i kemijskih procesa s fosforom |
| 10 YY | PFDU kemikalije koje sadrže dušik (od kem. procesa s dušikom i proiz. umjetnih gnojiva) npr. petrokemijska industrija |
| 11 YY | proizvodnja anorganskih pigmenata i tvari za povećanje pokrivenosti |
| 13 YY | otpad od ostalih anorganskih kemijskih procesa |

U Tablici 2. nalazi se kataloški prikaz otpada iz organskih kemijskih procesa.

Tablica 2.: Kataloški prikaz otpada iz organskih kemijskih procesa. [2, 3]

| | |
|----------|---|
| 07 XX YY | OTPAD IZ ORGANSKOG KEMIJSKOG PROCESA |
| 01 YY | PFDU osnovnih organskih kemikalija |
| 02 YY | PFDU plastike, sintetičke gume i umjetnih vlakana npr. industrija smola |
| 03 YY | PFDU organskih boja i pigmenata |
| 04 YY | PFDU organskih sredstava za zaštitu bilja, drveta i drugi biocidi |
| 05 YY | PFDU farmaceutskih proizvoda npr. farmaceutska industrija |
| 06 YY | PFDU masti, ulja, sapuna, deterdženata, sredstva za dezinfekciju i kozmetičkih sredstava npr. deterdženti, kozmetičko-toaletna industrija |
| 07 YY | PFDU finih kemikalija i kemijskih proizvoda koji nisu specificirani na drugi način |

U Tablici 3. nalazi se kataloški prikaz otpada od proizvodnje, formulacije, dobave i uporabe (PFDU) prevlaka (boje, lakovi i staklasti emajli), ljepila, sredstava za brtvljenje i tiskarskih tinta.

Tablica 3.: Kataloški prikaz otpada od proizvodnje, formulacije, dobave i uporabe (PFDU) prevlaka (boje, lakovi i staklasti emajli), ljepila, sredstava za brtvljenje i tiskarskih tinta. [2, 3]

| | |
|----------|---|
| 08 XX YY | OTPAD OD PROIZVODNJE, FORMULACIJE, DOBAVE I UPORABE (PFDU) PREVLAKA (BOJE, LAKOVI I STAKLASTI EMAJLI), LJEPILA, SREDSTAVA ZA BRTVLJENJE I TISKARSKIH TINTA npr. industrija boja i lakova, industrija tiska fleksibilne ambalaže |
| 01 YY | PFDU boja i lakova |
| 02 YY | PFDU ostalih prevlaka (uključujući i keramičke materijale) |
| 03 YY | PFDU tiskarskih tinta |
| 04 YY | PFDU ljepila i sredstva za brtvljenje |
| 05 YY | ostali otpad koji nije specificiran na drugi način |

Kemijski otpad sadrži širok spektar ključnih brojeva otpada. Kemijske industrije ne proizvode samo ključni broj opasnog otpada, nego i neopasnog otpada (npr. plastična, kartonska, papirna, metalna, višeslojna ambalaža i sl.).

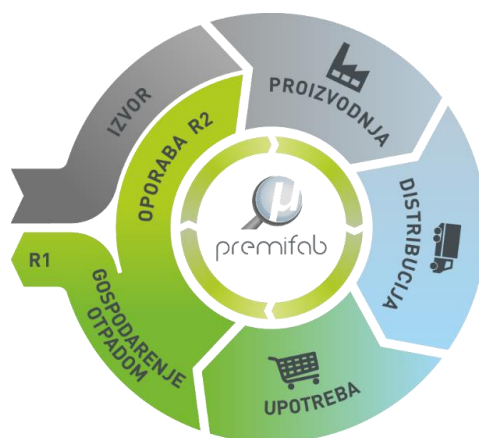
2.3. KRUŽNO GOSPODARSTVO

Pojam kružnog gospodarstva (Slika 1.) predstavlja model proizvodnje i potrošnje koji uključuje dijeljenje, posudbu, ponovno korištenje, popravljanje, obnavljanje i reciklažu postojećih proizvoda i materijala u što duljem vremenskom periodu kako bi se stvorila dodatna, duža vrijednost i dulji životni vijek proizvoda što dovodi do smanjenja količina otpada. Cilj je koristiti materijale u kružnom procesu na način da otpad u jednoj industriji postaje sirovina u drugoj industriji. [4]

Na Slici 2. nalazi se prikaz kružnog gospodarstva u uporabi otapala.



Slika 1. Shematski prikaz kružnog gospodarstva [5]



Slika 2. Kružno gospodarstvo u uporabi otapala [6]

3. REGENERACIJA POSTUPKOM DESTILACIJE

Oporaba otpada je svaki postupak čiji je glavni rezultat oporaba otpada u korisne svrhe kada otpad zamjenjuje druge materijale koje bi inače trebalo uporabiti za tu svrhu ili otpad koji se priprema kako bi ispunio tu svrhu u postrojenju ili širem gospodarskom smislu. [3,7]

Primjeri oporabe su sljedeći:

- korištenje otpada uglavnom kao gorivo ili drugi načini dobivanja energije (R1),
- **obnavljanje/regeneracija otpadnih otapala (R2)**
- recikliranje/obnavljanje otpadne organske tvari koje se ne koriste kao otapala (R3)
- recikliranje/obnavljanje otpadnog metala i spojeva metala (R4)
- regeneracija otpadnih kiselina i lužina (R6) [8]

Zbrinjavanje otpada je svaki postupak koji nije oporaba otpada, uključujući i postupak koji kao sekundarnu posljedicu ima obnovu tvari ili energije. [3]

Na primjer:

- odlaganje otpada na ili u tlo (npr. odlagalište) (D1)
- duboko utiskivanje otpada (D3)
- ispuštanje otpada u kopnene vode (D6)
- ispuštanje otpada u mora i oceane (D7) [8]

Realni gospodarski objekt, u kojem se provodila izrada ovog diplomskog rada, je tvrtka Premifab d.o.o. čija je primarna djelatnost postupak oporabe R2, odnosno obnavljanje/regeneracija otpadnih otapala. Radi se o postupcima kojima je cilj obnavljanje ili oporaba iskorištenih otapala, odnosno o preradi otapala radi odvajanja onečišćujućih tvari i obnavljanja otapala do početne kvalitete ili proizvoda nešto niže kategorije, najčešće destilacijom. Također, ovaj postupak uključuje pripremu sekundarnih tekućih goriva, obično miješanjem s drugim tekućim otpadom. Postupak R2 obuhvaća samo pripremu, dok se za sami proces

spaljivanja mora dodijeliti R1. Ovaj postupak koristi se u pogonima za kemijsko-fizikalnu obradu te se radi o postupcima regeneracije otapala destilacijom, dakle regeneracija upotrijebljenih otapala, otapala od boja i lakova i slično. [9]

Otpadno otapalo klasificira se kao opasni otpad zbog toga što sadrži jedno ili više opasnih svojstava. Može se raditi o zapaljivosti, o štetnom utjecaju na okoliš, opasnosti po zdravlje čovjeka i slično. Otpadna organska otapala mogu se regenerirati postupcima destilacije. Također, i anorganska otapala (kiseline, lužine i ostale otopine) mogu se regenerirati.

Organska otapala koriste se u različitim industrijama: boje, lakovi, izbjeljivači, ljepila, adhezivi, sredstva za odmašćivanje i čišćenje, bojila, polimeri, plastika, tekstili, tiskarske boje, poljoprivredne kemikalije, farmaceutska industrija.

Kako bi se otpadna organska otapala obnovila/regenerirala, koristi se postupak destilacije. Destilacija može biti atmosferska ili vakuumska destilacija, a daljnja podjela je na frakcijske i slične destilacije. U regeneracijskom postupku tvrtke Premifab d.o.o., otpadno onečišćeno otapalo ulazi u proces destilacije pri čemu iz procesa izlaze dvije frakcije. Jedna frakcija je regenerirano, očišćeno, destilirano otapalo (dalje u tekstu: regenerat), a druga je destilacijski mulj. Regenerat je spreman za tržište u obliku u kojem je proizašao iz postupka destilacije ili se zamješava s drugim regeneratima kako bi se kreirao novi proizvod koji se dalje plasira na tržište. Destilacijski mulj druga je frakcija koja proizlazi iz procesa destilacije te nema svoju primjenu i potrebno ga je zbrinuti kao opasan otpad što je dodatni financijski trošak.

Prema tome, svrha ovog diplomskog rada bila je pronaći primjenu ovom destilacijskom mulju u obliku nekog novog proizvoda ili kao aditiva nekom proizvodu. Bilo je bitno istražiti i pronaći poželjna korisna svojstva kako destilacijskog mulja, tako i novog proizvoda. Cilj je bio smanjiti količinu proizvedenog opasnog otpada, odnosno da opasni otpad postane sirovina za nove proizvode što je ključ kružnog gospodarstva.

3.1. TEHNOLOŠKI POSTUPAK DESTILACIJE

Pojam destilacije označava toplinski separacijski proces razdvajanja dviju ili višekomponentnih smjesa te se temelji na različitosti u hlapivosti smjesa, odnosno temperatura vrelišta. Hlađenjem i kondenziranjem pare, kondenzat sadržava više lakših hlapivih komponenti, a u izvornoj smjesi ostaju teže hlapive komponente. Kapljevita smjesa, ovisno o koncentracijama prisutnih komponenti, ima različita vrelišta. [10]

Na Slici 3. prikazan je proces destilacije u Laboratoriju za organska otapala u tvrtki Premifab d.o.o.



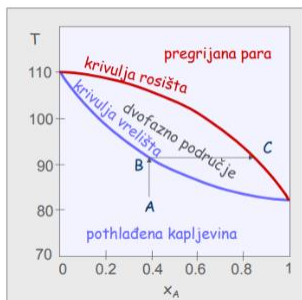
Slika 3. Prikaz postupka probne destilacije u Laboratoriju za organska otapala u tvrtki Premifab d.o.o. – simulacija procesa destilacije te dobivanja postotka iskoristivosti procesa odnosno regenerabilnosti uzorka

Za određivanje lakoće provođenja određene separacije potrebno je odrediti relativnu hlapivost. Relativna hlapivost predstavlja mjeru razlike hlapivosti između temperatura vrelišta dviju komponenti. Definicija relativne hlapivosti glasi:

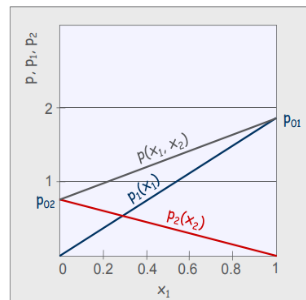
$$\alpha_{ij} = \frac{\left(\frac{y_i}{x_i}\right)}{\left(\frac{y_j}{x_j}\right)},$$

gdje x_i predstavlja udio komponente i u kapljevini, a y_i predstavlja udio komponente i u pari. Kada je vrijednost relativne hlapivosti α približno 1, tada komponente imaju slične karakteristike tlaka para, tj. bliske temperature vrelišta te ih je teško separirati destilacijom. [10]

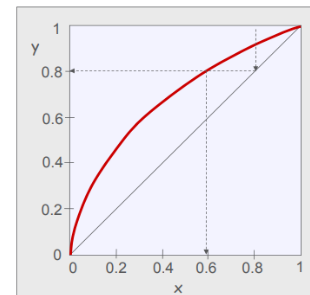
Za grafički prikaz ravnoteža para kapljevina dvokomponentnih sustava koriste se dijagrami tlaka, vrenja i ravnoteže. Dijagram tlaka prikazuje parcijalne tlakove obiju komponenti te ukupni tlak u ovisnosti o molnom udjelu u kapljevini pri stalnoj temperaturi ($p=f(x)$) (Slika 4.). Dijagram vrenja prikazuje krivulje rosišta te krivulje vrelišta u funkciji sustava kapljevine pri stalnom tlaku ($T=f(x)$) (Slika 5.). Dijagramom ravnoteže prikazuje se sustav pare u ravnoteži sa kapljevinom ($y=f(x)$) (Slika 6.). [10]



Slika 4. Dijagram tlaka [10]



Slika 5. Dijagram vrenja [10]



Slika 6. Dijagram ravnoteže - idealne smjese [10]

Destilacijske kolone projektiraju se u različitim izvedbama ovisno o složenosti. Prema načinu rada, kolone se dijele na šaržne i kontinuirane kolone. Šaržne kolone (Slika 7.) rade na način da se pojna smjesa unese u kolonu te se provodi destilacija. Nakon željene separacije u kolonu se unosi nova količina pojne smjese. Kontinuirane kolone (Slika 8.) rade na način razdvajanja kontinuirane struje pojne smjese bez prekida rada osim ako nema problema u radu kolone te mogu raditi sa velikim količinama protoka. [10] Na ovaj se način provodi destilacija u tvrtki Premifab d.o.o.



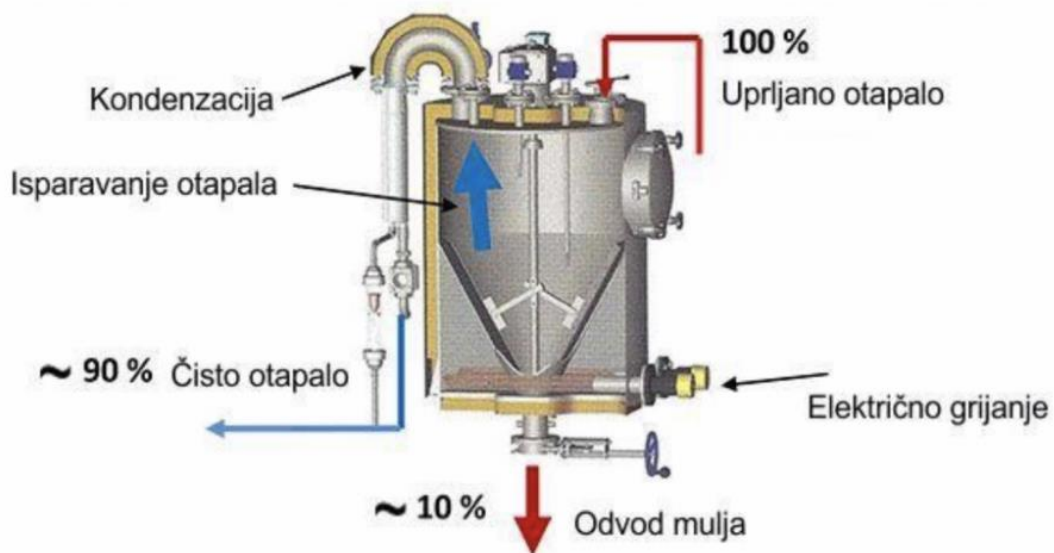
Slika 7. Šaržne kolone [10]



Slika 8. Kontinuirane kolone [10]

Tvrtka Premifab d.o.o bavi se zbrinjavanjem opasnog otpada te regeneracijom istog, odnosno fizikalno-kemijskom preradom u svrhu dobivanja sirovine (regenerata). [11]

Postupak uključuje separaciju i izloaciju korisnih organskih otapala koja se nalaze u otpadu, a temelji se na razlici u svojstvima pojedinih komponenata otpada. Operacije koje koriste su isparavanje te kondenziranje željenog kemijskog spoja koji se nalazi u otpadu, a to se provodi u postrojenjima za destilaciju najviših standarda. Na Slici 9. nalazi se shematski prikaz postupka destilacije kakav se odvija u tvrtki Premifab d.o.o., dok je na Slici 10. vidljivo kako to u stvarnosti izgleda u postrojenju. [11]



Slika 9. Shematski prikaz procesa destilacije u tvrtki Premifab d.o.o. [11]



Slika 10. Prikaz procesa destilacije u postrojenju tvrtke Premifab d.o.o. [11]

Ovakvim postrojenjima upravlja se elektroničkim putem te kontrolira prema svim željenim fizikalno-kemijskim i sigurnosnim zahtjevima. Destilacijom se dobivaju dva produkta. Prvi je željeni čisti isparivi dio, koji je, korisno otapalo. Drugi je neisparivi dio otpada, a to je destilacijski mulj, voda, boja te ostale primjese. [11]

Postupak se provodi na način da se otpad iz zatvorenih IBC spremnika integriranom vakuumskom pumpom prepumpava u zatvoreni spremnik stroja u kojemu se vrši isparavanje tijekom kontinuiranog 24-satnog procesa. Ispareno očišćeno otapalo kondenzira se te, na kraju kontinuiranog procesa destilacije, slijedi proces pražnjenja neželjenih ostataka destilacije, a to je upravo destilacijski mulj. Nakon kondenzacije, regenerirano otapalo transportira se u čiste IBC spremnike. [11]

Obzirom da se radi o opasnom otpadu, potrebno je provesti mjere identifikacije, prihvata te zbrinjavanja takve vrste otpada. Opasan otpad sadrži veliku količinu opasnih tvari različitih kategorija u svim agregatnim stanjima. Kako bi se identificirao otpad, potrebno je koristiti Katalog otpada koji se nalazi u zakonskim i podzakonskim aktima vezanim za djelatnost gospodarenja otpadom, a prema kojima tvrtka Premifab d.o.o. obavlja djelatnosti skladištenja i regeneracije na registriranoj lokaciji tvrtke. Za obavljanje poslovanja, također se koriste i ostali važeći pravni propisi Republike Hrvatske u području zaštite okoliša. [12]

Otpad koji tvrtka prihvaća i zbrinjava dolazi iz različitih područja djelatnosti te industrija poput farmaceutske industrije, industrije boje i lakova, auto industrije, industrije tiska fleksibilne ambalaže itd.

Jednom kada se neka kemikalija u industriji upotrijebi kao radni materijal, npr. sredstvo za čišćenje određenih dijelova postrojenja kao što su organska otapala od čišćenja tiskarskih strojeva i šprica za nanošenje boja i lakova, tada ta kemikalija postaje onečišćena i neupotrebljiva, ona postaje otpad i to opasni otpad, zbog svojeg sastava, i potrebno ju je zbrinuti. Takav opasni otpad zaprima se u tvrtki te se prema prethodno navedenom identificira, zaprima te zbrinjava. Zbrinjava se na način da se otpadna onečišćena kemikalija pročišćava putem destilacije čime se produžuje životni vijek određenog proizvoda ili nastaje novi proizvod te je upotpunjen proces kružnog gospodarstva.

3.2. DESTILACIJSKI MULJ

Destilacijski mulj zapravo je, kao što je već ranije spomenuto, polimerna frakcija. Razlog tome je sastav mulja koji proizlazi iz postupka primjene otapala u kojem otapalo pokupi sve nečistoće anorganskih i organskih bojila, veziva, ljepila, ostalih adheziva, tiskarske tinte te ostalih polimera koji se koriste u samom procesu, za koje određeno otapalo ima svoju funkciju. Radi se o smolnim i kolofonskim kiselinama, poliesterima, diesterima, triesterima, metakrilatima, poliakrilatima te u daljnjoj kombinaciji s određenim stabilizatorima poput aluminijskog praha ili tiskarske tinte, nitroceluloze i ostalih sistemskih aditiva.

Provedena istraživanja bila su usmjerena na primjenu otpadnog destilacijskog mulja uspoređujući konzistenciju, sastav i fizikalno-kemijska svojstva s postojećim komercijalnim proizvodima.

Svrha istraživanja bila je ispitati svojstva destilacijskog mulja s potencijalom primjene kao antikoroziivnog premaza. Iz tog razloga, polimerni sastav destilacijskog mulja može se usporediti s komercijalnim antikoroziivnim premazima. Antikoroziivni premazi, najčešće su na bazi bitumena s manjim količinama/koncentracijama različitih alifatskih ili aromatskih ugljikovodika ili alifatskih alkohola i slično. Prema tome, intencija je bila destilacijski mulj graditi u smjeru postizanja što sličnijih svojstava komercijalno dostupnim antikoroziivnim premazima. Ispitivanja su se provela i provodit će se u nekoliko smjerova, a proizvod se, u ovom radu, razvijao prema upotrebi kao antikoroziivni premaz. Drugi smjerovi su iz sličnih područja djelatnosti, npr. upotreba u cestogradnji, proizvodnji asfaltnih baza, u proizvodnji boja i lakova, itd., no to nije dio ovog rada.

Svojstva destilacijskog mulja naspram komercijalno dostupnih antikoroziivnih proizvoda pokazala su odlična i prilično usporediva kemijsko-fizikalna svojstva; neka mehanička svojstva pokazala su se čak i boljim od komercijalno dostupnih antikoroziivnih premaza, a reološka svojstva poklapaju se s komercijalno dostupnim antikoroziivnim premazima. Skupom svih svojstava i usporedbom destilacijskog mulja i komercijalno dostupnih antikoroziivnih premaza došlo se do rezultata koji će se moći objasniti na znanstvenoj razini.

4. SVOJSTVA PREMAZA

4.1. PRIONJIVOST I POKRITNOST

U svrhu izrade komparativne analize destilacijskog mulja i komercijalno dostupnih antikorozivnih premaza, ispitivana su i promatrana određena svojstva. Ono što je prethodilo eksperimentalnom dijelu ispitivanja, pa tako i samoj ideji o uporabi destilacijskog mulja kao antikorozivnog premaza, jest fizikalno-kemijska analiza.

Fizikalna svojstva tvari bitni su pokazatelj stanja neke tvari, odnosno činjenice da neka tvari (ne) mijenja svoja svojstva prilikom ulaska u neki tehnološki proces. Kemijska svojstva govore o sastavu neke tvari te kakvo djelovanje i ponašanje ima takav sastav tvari. Kod fizikalno-kemijske karakterizacije, a vezano uz tematiku ovog diplomskog rada, provedena je i gravimetrijska analiza destilacijskog mulja kojom se utvrđuje udio [%] suhe tvari, odnosno volatila, u materijalu.

Po utvrđivanju fizikalno-kemijske karakterizacije, bilo je potrebno ispitati mehanička svojstva. Jedna od osnovnih mehanička svojstava vezana uz premaze su prionjivost i pokritnost. Prionjivost, kao što sama riječ kaže, pokazuje prijanja li materijal na neku površinu. Pokritnost pokazuje u kojoj mjeri nanese materijal prekriva površinu.

4.2. REOMETRIJA

Reologija je grana fizike. Reolozi se bave opisivanjem deformacija i tečenja raznih materijala. Naziv potječe od grčke riječi "*rhei*" koja znači "teći" te "*logos*" koja znači "znanost". Reologija se koristi za opisivanje i procjenu deformacije i ponašanja materijala. Tekućine teku različitim brzinama, a krute tvari imaju sposobnost deformacije do neke određene mjere. Ulje, med, šampon, krema za ruke, pasta za zube, slatki žele, plastični materijali, drvo i metali – ovisno o njihovom fizikalnom ponašanju, mogu se rasporediti na slijedeći način: s jedne strane nalaze se tekućine, s druge strane nalaze se krute tvari, a između su

visoko viskozne, polukrute tvari. Reometrija je mjerna tehnika koja se koristi za određivanje reoloških svojstva. [15]

Mnoge tekuće, gelaste ili polukrute svakodnevne tvari obično se karakteriziraju mjerenjem viskoznosti uzorka, krivulje protoka i točke popuštanja pomoću rotacijskih viskozimetara/reometara. Voda je tipičan uzorak niske viskoznosti i nema točku tečenja. S druge strane, pasta za zube ima veću viskoznost i granicu tečenja. Točka popuštanja nam govori koliko silu treba primijeniti da bi materijal počeo teći. [15]

4.2.1. VISKOZNOST I KRIVULJA TOKA

Sve tekućine sastavljene su od molekula, a disperzije sadrže i neke značajno veće čestice. Pri pokretanju molekula i čestica, javlja se sila zbog koje one klizite jedna uz drugu. Viskoznost je upravo to unutarnje trenje molekula i čestica; molekule i čestice razvijaju otpor protoka. Prisutnošću većih komponenata u tekućini, javljaju se više vrijednosti viskoznosti. [15]

Krivulja toka logaritamski je prikaz procjene točke tečenja kao smičnog naprezanja pri najnižoj brzini smicanja koja je moguća. Tipični rotacijski testovi su funkcije viskoznosti koje ovise o brzini smicanja, posmičnom naprezanju, vremenu ili temperaturi. Brzina smicanja ($\dot{\gamma}$) [s^{-1}] izračunava se softverom, a reometar bilježi brzinu kao brzinu vrtnje pri svakom mjerenju u svakoj točki. Posmično naprezanje (T) također se izračunava softverom, a reometar bilježi posmičnu silu preko momenta na svakoj mjernoj točki; torzija (okretni moment) je ili postavljen ili se određuje preko sile otpora protoka zraka. [15]

Rezultati rotacijskog ispitivanja mogu se s jedne strane prikazati kao dijagram krivulje toka koji prikazuje rezultirajuće vrijednosti posmičnog naprezanja, a s druge strane kao odgovarajuća funkcija viskoznosti. Mjerenje na rotacijskom viskozimetru/reometru u kojem se brzina smicanja povećava korak po korak, a odgovarajuće smično naprezanje određuje se za svaku brzinu smicanja naziva se krivulja toka. Materijal može pokazati različita ponašanja tečenja

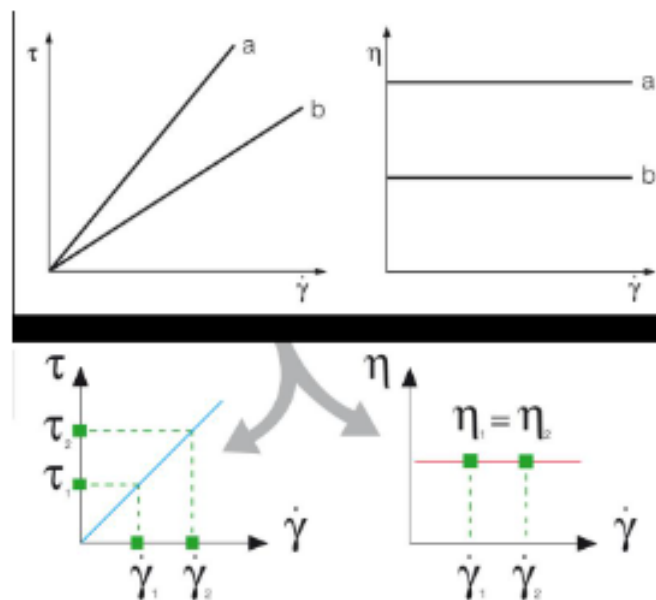
kao što je idealno viskozno, ponašanje pri smicanju i stanjivanju te zgušnjavanju. [15]

Krivulja toka može se generirati putem unaprijed definiranih postavki na rotacijskom viskozimetru/reometru:

- Brzina smicanja povećava se postupno s definiranim trajanjem točke mjerenja za svaku točku.
- Temperatura i drugi uvjeti okoline su konstantni. [15]

Rezultirajuća krivulja toka pokazuje smično naprezanje u odnosu na brzinu posmika. Obično su pojedinačne mjerne točke povezane linijama kako bi se prikazala krivulja protoka. [15]

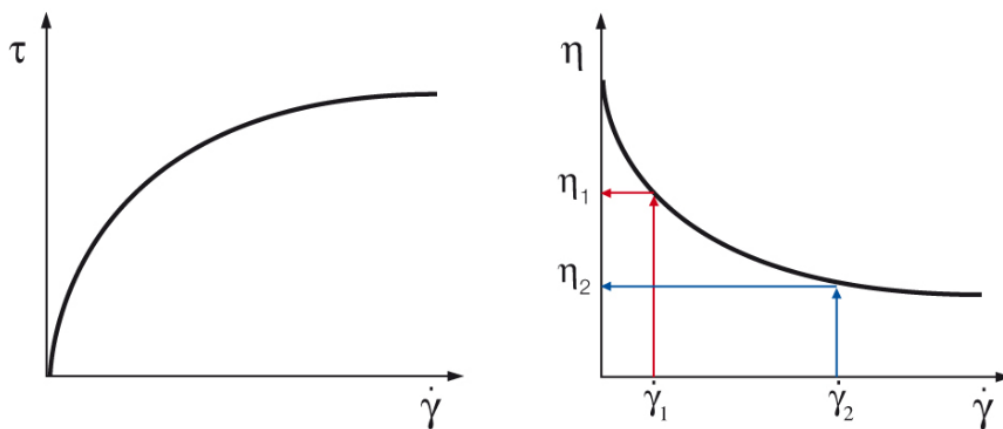
Za idealno viskozne ili takozvane Newtonove uzorke, posmično naprezanje raste linearno s povećanjem brzine smicanja. Slika 11. prikazuje takvu krivulju toka za dva Newtonova uzorka, pri čemu je uzorak (a) viskoziji od uzorka (b). Viskoznost uzoraka se ne mijenja s povećanjem brzine smicanja. Tipični primjeri bi bili maslinovo ulje za uzorak (a) i voda za uzorak (b). [15]



Slika 11. Krivulje toka idealno viskoznih tvari [15]

Za materijale s ponašanjem tečenja pri smičnom stanjivanju (*shear-thinning*), odnosno za pseudolastične materijale, gradijent posmičnog naprezanja opada pri većim brzinama smicanja. To znači da viskoznost uzorka postaje niža pri većim brzinama smicanja. To je tipično ponašanje mnogih materijala iz svakodnevnog života, npr. kozmetike kao što su kreme i losioni, uzoraka hrane kao što su kečap ili otopljena čokolada, kao i kemijskih uzoraka kao što su boje i premazi. [15]

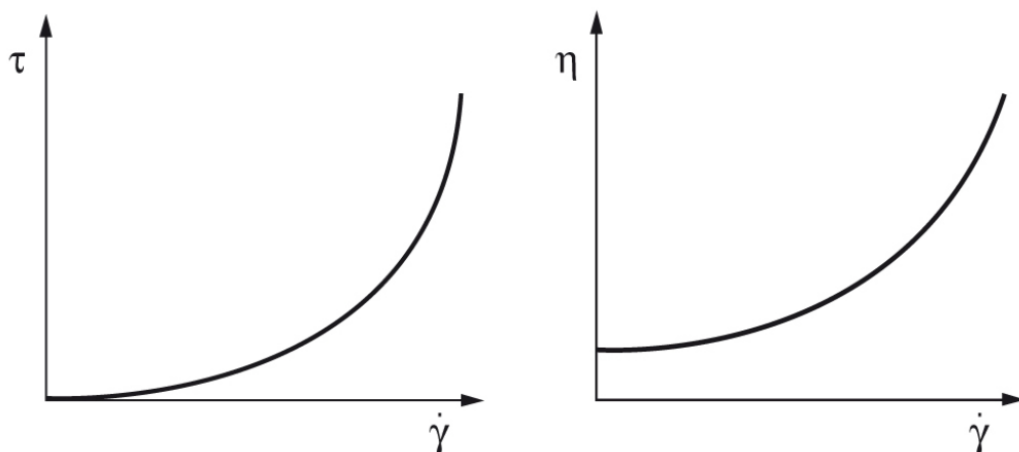
Slika 12. prikazuje krivulju toka materijala koji se razrjeđuju smicanjem.



Slika 12. Krivulje toka materijala koji se razrjeđuju smicanjem [15]

Za materijale s ponašanjem tečenja pri smicanju zadebljanja (*shear thickening*), odnosno za dilatantne materijale, gradijent posmičnog naprezanja raste pri većim posmičnim brzinama. To znači da se viskoznost uzorka povećava pri većim brzinama smicanja. Ovo je relativno rijetko ponašanje protoka, koje se obično vidi u uzorcima s visokim sadržajem krutih tvari kao što su keramičke suspenzije, škrobne disperzije ili dentalni kompoziti. [15]

Slika 13. prikazuje krivulju toka materijala koji se zgušnjavaju smicanjem.



Slika 13. Krivulje toka materijala koji se zgušnjava smicanjem [15]

Točka tečenja/popuštanja (*Yield Stress*) (T) najniža vrijednost je posmičnog naprezanja iznad koje će se materijal ponašati kao tekućina, a ispod koje će se materijal ponašati kao krutina. Primjeri materijala koji imaju granicu tečenja su kreme, kečap, pasta za zube i brtvila. Točka popuštanja je minimalna sila koja se mora primijeniti na te uzorke kako bi počeli teći. Tvari koje imaju granicu tečenja počinju teći tek kada vanjska sila koja djeluje na njih bude veća od njihovih unutarnjih strukturnih sila. Ispod granice tečenja, tvar pokazuje "čvrsto" ponašanje. Na primjer, pasta za zube ne istječe iz svoje tube ako se ne primjenjuje vanjska sila. Ispod granice popuštanja, ponaša se čvrsto. Točka popuštanja može se prevladati povećanjem posmičnih sila (npr. pritiskom na cijev). Iznad granice tečenja, uzorak teče (izvan cijevi) i ponaša se kao tekućina. Dakle, točka popuštanja najniža je vrijednost posmičnog naprezanja iznad koje će se materijal ponašati kao tekućina, a ispod koje će se materijal ponašati kao vrlo meka čvrsta tvar. [15]

Točka popuštanja je od vitalne važnosti za mnoga praktična pitanja i primjene, npr. za kontrolu kvalitete finalnih proizvoda ili za optimizaciju proizvodnog procesa. [15]

5. EKSPERIMENTALNI DIO

5.1. FIZIKALNO-KEMIJSKA KARAKTERIZACIJA DESTILACIJSKOG MULJA

Materijali koji su korišteni u svrhu izrade ovog diplomskog rada interni su destilacijski muljevi tvrtke Premifab d.o.o., a koji dolaze iz industrije tiska fleksibilne ambalaže (FP1, FP2, FP3) te autoindustrije - boje i lakovi (AM1). Ispitivani su uzorci iz 2021. i 2022. godine.

Osnovne karakteristike destilacijskog mulja dane su u rezultatima kroz fizikalno-kemijsku karakterizaciju dobivenu iz dostupne interne literature. Uz fizikalno-kemijska svojstva, bilo je bitno ispitati udio suhe tvari [%], odnosno udio volatila [%] koja se nalazi u destilacijskom mulju što je i odrađeno u sklopu izrade ovog rada.

Kemijski sastav destilacijskog mulja čine polimeri, sintetske smole, anorganski i organski pigmenti, tiskarska tinta i boja te sintetski aditivi/razrjeđivači na bazi organskih otapala, ljepila i adhezivi. Ovisno o vrsti odnosno porijeklu otpada, u svakom destilacijskom mulju nalazimo jedan dio od prethodno nabrojenih tvari. Primjerice u destilacijskom mulju interne oznake FP1 nalaze se sintetske smole (smolne i kolofonske kiseline) te anorganski pigmenti: titanijev fosfat kompleks i aluminijev prah. Nadalje, u destilacijskom mulju interne oznake AM1 nalaze se metakrilati, poliesteri, ljepila i adhezivi (1K i 2K – primarni premaz). Naposljetku, u destilacijskom mulju interne oznake FP2 nalaze se sljedeće komponente: nitroceluloza, smola polivinil te poliuretanske boje u manjoj količini.

5.2. GRAVIMETRIJSKA ANALIZA

Sušenje ostatnog, odnosno destilacijskog mulja, aktualni je problem u području inženjerstva okoliša te u znanstvenoj literaturi nije dovoljno opisan. Istraživanja ovog tipa neophodna su u skladu s industrijskim zahtjevima. Iz raznih industrija proizlaze velike količine otpadnog mulja, no rijetko koje industrijsko postrojenje ima sušionik za otpadni mulj. Sami proces sušenja otpadnog mulja dosta je poznat, no primjena istog nije, pogotovo po pitanju rezidualnog (ostatnog) mulja. Za uklanjanje vlage (ili hlapljivih organskih tvari), koristi se konvektivno strujanje zraka prilikom kojeg vlaga isparava, a ostatni mulj suši se dok mu se ne ustali masa te pritom nastaje osušena kora tog materijala. [13]

U skladu s time [13], provedena je gravimetrijska metoda sušenja destilacijskog mulja iz destilacije otpadnih otapala. Udio suhe tvari ispitivao se na način da se 50 grama uzorka stavilo u aluminijsku posudicu te se sušilo u sušioniku (model *Estherm S100-15-SD*) na temperaturi od 105°C ($\pm 5^\circ\text{C}$) svakih 30 minuta vadilo van iz sušionika i vagalo. Postupak se ponavljao do usklađenja, odnosno ponavljanja mase. Kod nekih uzoraka destilacijskog mulja pojavio se fenomen suhe kore na površini, dok je unutrašnjost ostajala tekuća. Isto se dogodilo i kod nekih komercijalnih antikorozivnih premaza prilikom njihova sušenja. Sušenje se provodilo na triplikatima uzorka koji su se istovremeno sušili i vagali, bilježila se masa i vrijeme sušenja te je, na posljetku, izračunata srednja vrijednost postotka suhe tvari u uzorku. Isti postupak primijenjen je i na uzorcima komercijalnih antikorozivnih premaza u svrhu usporedbe rezultata i svojstava.

5.3. PRIONJIVOST I POKRITNOST DESTILACIJSKOG MULJA

Kao dio istraživanja proveden je jedan, zapravo vrlo jednostavan, test. Nakon što je utvrđeno da je prema fizikalno-kemijskom sastavu destilacijski mulj sličan antikorozivnim premazima, kao takav je i apliciran na metalne pločice kako bi se vidjelo ponašanje u ulozi premaza.

Po završetku destilacije, destilacijski mulj uzet je iz IBC spremnika u posude s poklopcem volumena 1 litre. Svaki uzorak otpadnog mulja dobro je promiješan pneumatskom miješalicom u trajanju miješanja od 5 minuta kako bi se uzorak homogenizirao, a pneumatska miješalica čistila se nitro razrjeđivačem od smjese različitih organskih otapala namijenjenim za čišćenje elemenata od boja i lakova. Uzorak je, potom, kistom nanesen na prethodno očišćenu i odmašćenu metalnu pločicu dimenzija 10x10 cm. Za odmašćivanje metalnih pločica najčešće se koriste alkoholi, a za potrebe ovog rada korišten je izopropanol. Izopropanol je organski spoj iz skupine alkohola opće formule C_3H_8O . [14] Nakon nanošenja, metalna pločica s uzorkom destilacijskog mulja označena je internom oznakom istog te je ostavljena da se suši na zraku u prostoriji gdje temperatura iznosi 27°C. Nakon tjedan dana sušenja, uzorci su pregledani i dokumentirani u obliku fotografije, vizualne inspekcije te subjektivne deskripcije. Promatrana je mazivost, sadrži li materijal nehomogenizirane čestice, je li gumen, ostaje li hrapav na površini, trajanje sušenja itd.

5.4. REOLOŠKA ISPITIVANJA

Kako bi se odredila reološka svojstva destilacijskog mulja, u tu svrhu provedena su reološka ispitivanja. Reološka ispitivanja provodila su se u laboratoriju tvrtke Anton Paar Croatia d.o.o. Mjerenja su provođena na modularnom kompaktnom reometru MCR 92 kojim je upravljano preko *RheoCompass* softvera te preko kojeg su dobiveni rezultati mjerenja. Na reometru se provodio test *Flow Curve*, odnosno određivanje krivulje tečenja i *Yield Point*, odnosno točke popuštanja kod rotacije. Ovim testom, također se određuje i viskoznost uzorka.

6. REZULTATI

6.1. FIZIKALNO-KEMIJSKA KARAKTERIZACIJA DESTILACIJSKOG MULJA

Fizikalni sastav destilacijskog mulja uzetog iz realnog gospodarskog objekta, u ovom slučaju tvrtka Premifab d.o.o., u vremenskom periodu od 2017. do 2020. godine, prikazan je u Tablici 4.

Tablica 4.: Prikaz fizikalnih svojstava otpadnog mulja

| | |
|------------------------|---------------|
| Udio pepela: | 2 – 3 % |
| Udio vlage: | < 1 % |
| Kalorijska vrijednost: | 24 – 25 MJ/kg |

U Tablici 5. nalazi se intervalni prikaz nekih kemijskih svojstava destilacijskog mulja uzetog iz realnog gospodarskog objekta, i u ovom slučaju tvrtka Premifab d.o.o., u vremenskom periodu od 2017. do 2020. godine.

Tablica 5.: Prikaz kemijskih svojstava otpadnog mulja

| | |
|----------------------------|-------------|
| Udio teških metala: | 80 – 90 ppm |
| Udio sumpora i halogenida: | < 1 % |
| Udio suhe tvari: | 55 – 60 % |

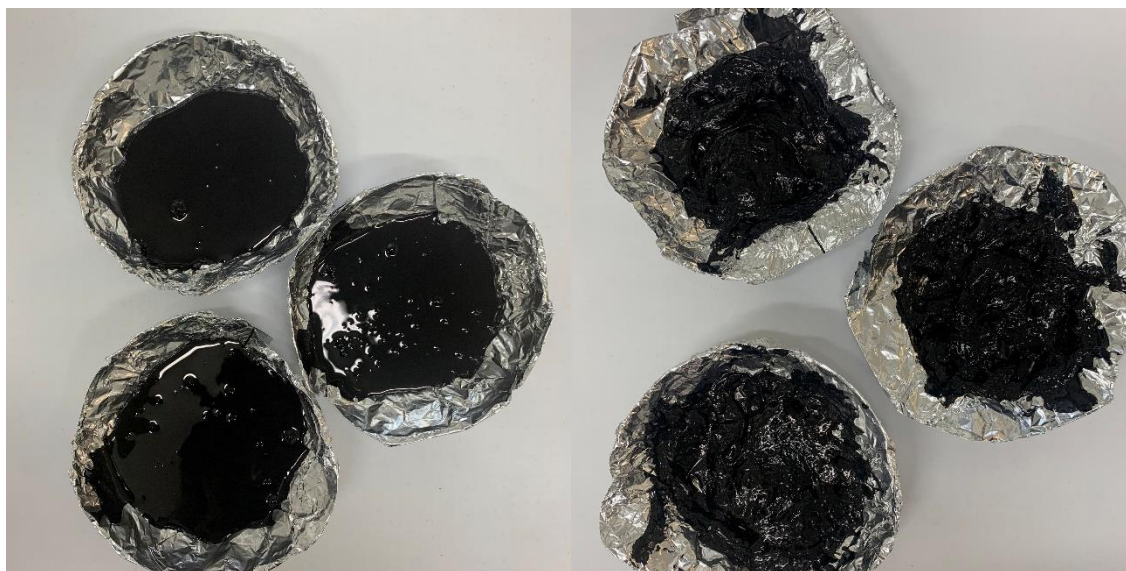
6.2. GRAVIMETRIJSKA ANALIZA

Postoci udjela suhe tvari u uzorcima destilacijskog mulja iznose otprilike 61%, dok u komercijalnim antikorozivnim premazima iznose otprilike 70%, što je prikazano u Tablici 6.

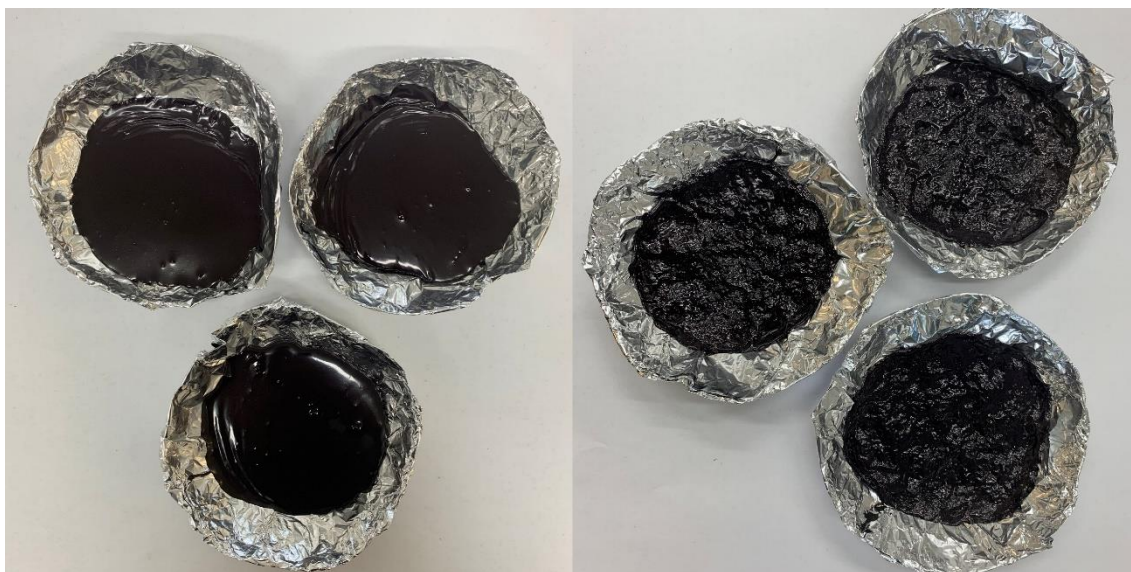
Tablica 6.: Udio suhe tvari [%] u destilacijskom mulju kao i u komercijalnim antikorozivnim premazima

| | | | | |
|-----------|-------------------------|-----------------------|-------|-------|
| Suha tvar | FP1 | 30%, 71%, 74%, 60% | 58.8% | ≈ 61% |
| | FP2 | 46%, 52%, 52% | 50% | |
| | AM1 | 82%, 86%, 76%, 36% | 70% | |
| | Komercijalni AK premazi | 86%, 74%, 50%, 66-76% | 70.3% | ≈ 70% |

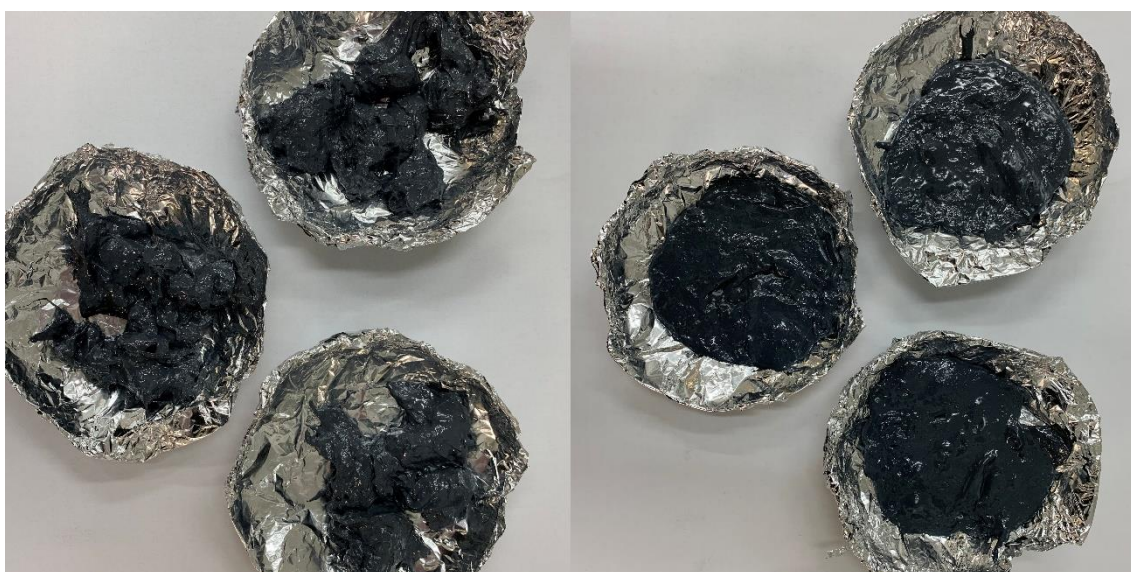
Slike 14. – 16. prikazuju neke od uzoraka destilacijskog mulja u postupku sušenja – od prije sušenja do konačnog izjednačenja mase, odnosno osušenog uzorka.



Slika 14. Prije i nakon sušenja uzorka FP1-210210-1

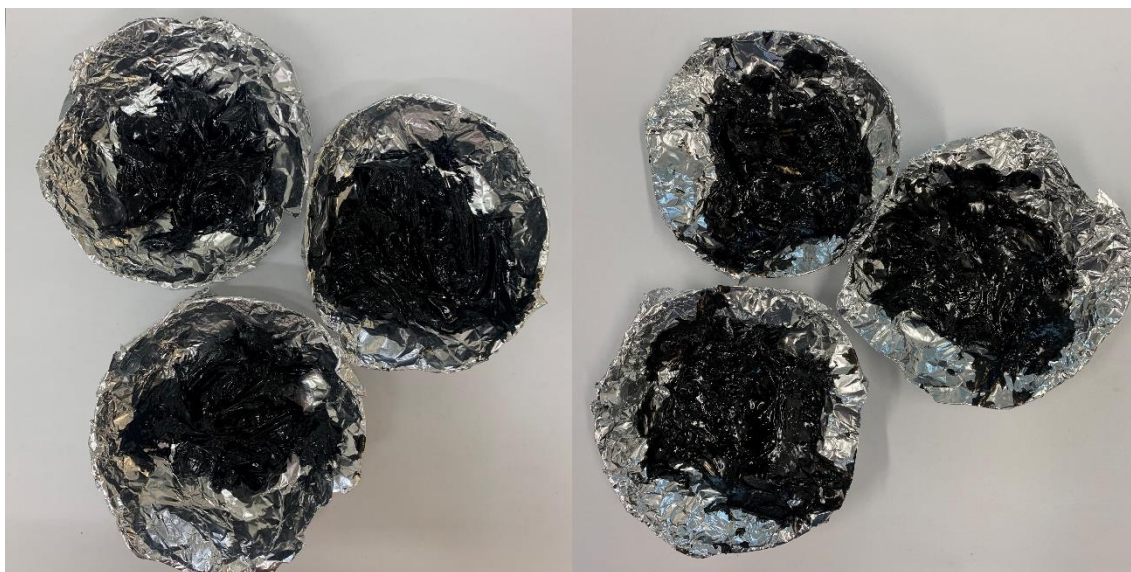


Slika 15. Prije i nakon sušenja uzorka FP2-220128-1

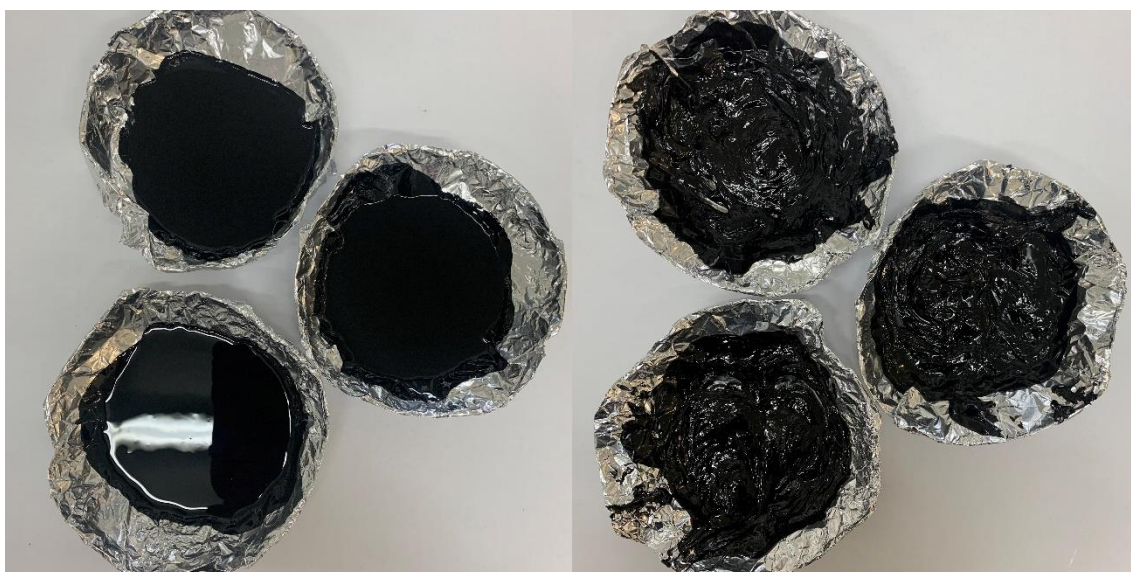


Slika 16. Prije i nakon sušenja uzorka AM1-220223-2

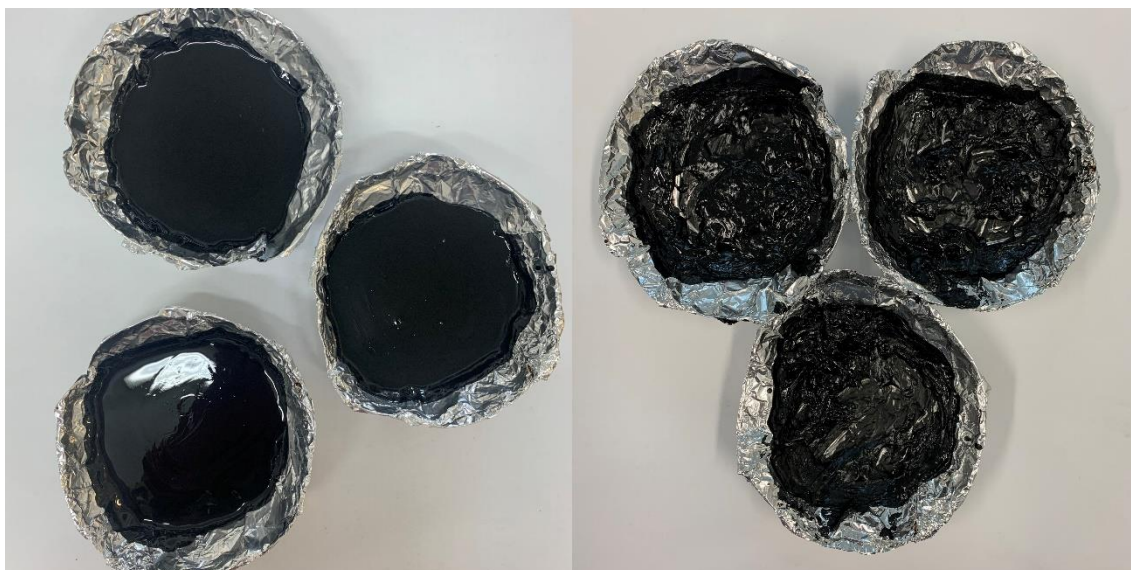
Slike 17. – 20. prikazuju neke od uzoraka komercijalnih antikorozivnih premaza u postupku sušenja – od prije sušenja do konačnog izjednačenja mase, odnosno osušenog uzorka.



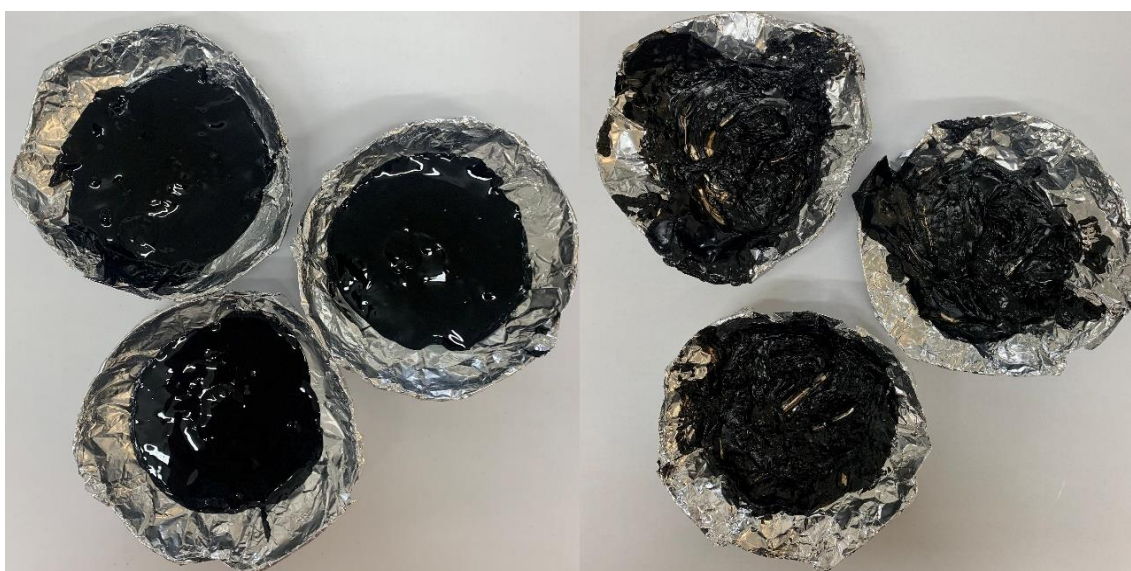
Slika 17. Prije i nakon sušenja uzorka Chamaleon Bitumen Brushable 710



Slika 18. Prije i nakon sušenja uzorka Mobihel AntiGravel Low VOC



Slika 19. Prije i nakon sušenja uzorka Seles UnderBody Protection AntiGravel



Slika 20. Prije i nakon sušenja uzorka Mipa Underbody Coating

Prema dobivenim rezultatima istraživanja najperspektivnih šarži destilacijskog mulja te usporedbom s rezultatima ispitivanja komercijalnih antikorozivnih premaza, svojstva destilacijskog mulja pokazala su se odličnima u smislu kreiranja proizvoda za antikorozivnu zaštitu.

6.3. PRIONJIVOST I POKRITNOST DESTILACIJSKOG MULJA

Prionjivost i pokritnost destilacijskog mulja nanesenog na metalne pločice ispitana je, na svim tada dostupnim uzorcima, iz više sličnih industrija i šarža. Ispitivanja su provedena na većem broju uzoraka kako bi se odredila perspektivnost uzoraka u vidu antikorozivnog premaza. Prema perspektivnosti, uzorci su podvrgnuti daljnjim ispitivanjima.

Na Slici 21. prikazan je kolaž slika koje prikazuju uzorke otpadnog mulja nanesenog kistom na metalne pločice.



Slika 21. Uzorci otpadnog mulja naneseni kistom na metalne pločice

Prema dobivenim poželjnim ponašanjima otpadnog mulja u vidu premaza odabrana su 3 najperspektivnija uzorka te je napravljena mješavina tih uzoraka koja je na isti način aplicirana na metalne pločice. Na Slici 22. prikazana je metalna pločica na koju je aplicirana mješavina najperspektivnijih uzoraka.



Slika 22. Metalna pločica sa premazom od mješavine najperspektivnijih uzoraka

Odabranim perspektivnim uzorcima, koji su se pokazali gušćima, dodano je 5% i 10% regenerata proizašlog iz destilacije istog opasnog otpada. Praćene su promjene u gustoći, boji, česticama u destilacijskom mulju i načinu nanošenja.

U uzorak FP1-210210-1, koji je prvotno bio crne boje sa sjajem, prilično gust, teško maziv, sadržavao čestice i mjehuriće zraka, dugo se sušio, bio gumen te ostajao gladak na površini pločice, dodan je regenerat na bazi etanola i etil-acetata. Prvo je dodano 5% regenerata na ukupnu masu uzorka. Poboljšanje je bilo vidljivo po pitanju gustoće: uzorak se razrijedio, no i dalje je bio gust i gumen, teško maziv, sadržavao je čestice i mjehuriće zraka, dugo se sušio te je ostao gladak na površini pločice. Potom je dodano 10% regenerata na masu uzorka. Primijećena je mala promjena u gustoći, dakle uzorak se dodatno razrijedio, ali ne značajno. Ostala svojstva ostala su ista. Slika 23. prikazuje pločicu premazanu uzorkom bez nadorade, dok slike 24. i 25. prikazuju pločice s destilacijskim muljem FP1-210210-1 u koji je dodano 5% i 10% regenerata.



Slika 23. Pločica premazana destilacijskim muljem FP1-210210-1 bez nadorade



Slika 24. Pločica premazana otpadnim muljem FP1-210210-1 u koji je dodano 5% regenerata



Slika 25. Pločica premazana otpadnim muljem FP1-210210-1 u koji je dodano 10% originalnog otapala

U uzorak FP3-210202-1, koji je prvotno bio crne boje, gust, teško maziv, sadržavao čestice i mjehuriće zraka, dugo se sušio te ostajao hrapav na površini pločice, dodan je regenerat na bazi etil-acetata i metil-etil-ketona. Prvotno je dodano 5% regenerata na ukupnu masu uzorka. Poboljšanje je bilo odmah vidljivo po pitanju gustoće: uzorak je postao znatno rjeđi, maziv, nije sadržavao čestice po površini, bio je mat crne boje te su ostali vidljivi su tragovi nanošenja kistom. Potom je dodano 10% regenerata na masu uzorka. U usporedbi s prethodnim uzorkom, promjena u gustoći bila je mala: uzorak se dodatno razrijedio te se bolje nanosio kistom. Ostala svojstva ostala su ista. Slika 26. prikazuje pločicu premazanu uzorkom bez nadorade, dok slike 27. i 28. prikazuju pločice s destilacijskim muljem FP3-210202-1 u koji je dodano 5% i 10% regenerata.



Slika 26. Pločica premazana destilacijskim muljem FP3 -210202-1 bez nadorade



Slika 27. Pločica premazana destilacijskim muljem FP3-210202-1 u koji je dodano 5% regenerata



Slika 28. Pločica premazana destilacijskim muljem FP3-210202-1 u koji je dodano 10% regenerata

U uzorak FP3-210202-2, koji je prvotno bio ljubičasto-crne mat boje, nije bio tečan, bio je gust, ali maziv, ostajali su tragovi nanošenja, nije sadržavao čestice, dodan je regenerat, također na bazi etil-acetata i metil-etil-ketona. Prvo je dodano 5% regenerata na ukupnu masu uzorka. Očekivano je poboljšanje svojstava dodatkom otapala, no to se u ovom slučaju nije dogodilo. Uzorak je promijenio strukturu i postao, neočekivano, lošiji. Novi uzorak bio je sive boje, gust, teško maziv, nehomogeniziran, pun čestica, ostajali su tragovi nanošenja te je bio hrapav na površini pločice. Zatim je, za svaki slučaj, dodano još 10% regenerata na ukupnu masu uzorka. U usporedbi s prethodnim uzorkom, ovaj uzorak je postao još gušći s još lošijim svojstvima. Kod ovog uzorka, zanimljivo je uočiti kako dodavanjem regenerata, uzorak postaje lošiji dok su ostali uzorci, koji su nadorađivani regeneratom, postajali bolji. Na Slici 29. prikazana je pločica premazana uzorkom destilacijskog mulja interne oznake FP3-210202-2, dok Slike 30. i 31. prikazuju pločice premazane destilacijskim muljem FP3-210202-2 u koji je dodano 5% i 10% regenerata.



Slika 29. Pločica premazana destilacijskim muljem FP3 -210202-2 bez nadorade



Slika 30. Pločica premazana destilacijskim muljem FP3-210202-2 u koji je dodano 5% regenerata



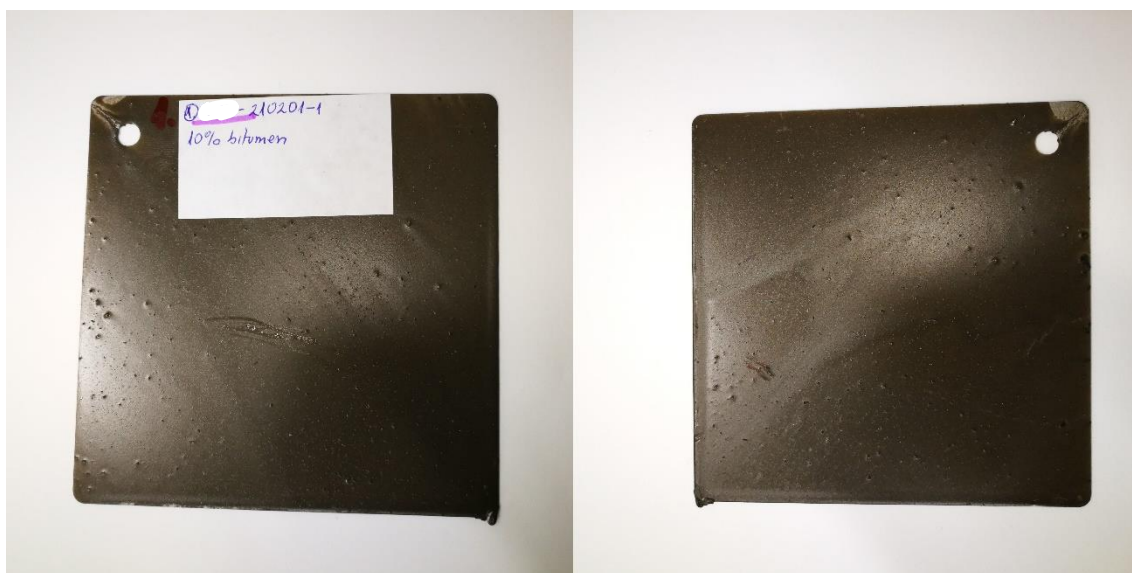
Slika 31. Pločica premazana destilacijskim muljem FP3-210202-2 u koji je dodano 10% regenerata

Odabrana su još četiri perspektivna uzorka koji su se pokazali malo rjeđima. Kako bi se vidjelo kakav će utjecaj imati dodatak bitumena u određene perspektivne uzorke, u svaki uzorak dodano je 10%, zatim 20%, pa 30% bitumena na ukupnu masu uzorka. Bitumen koji je korišten, komercijalni je proizvod pod proizvođača Chameleon, a vrsta je 710 - *brushable*.

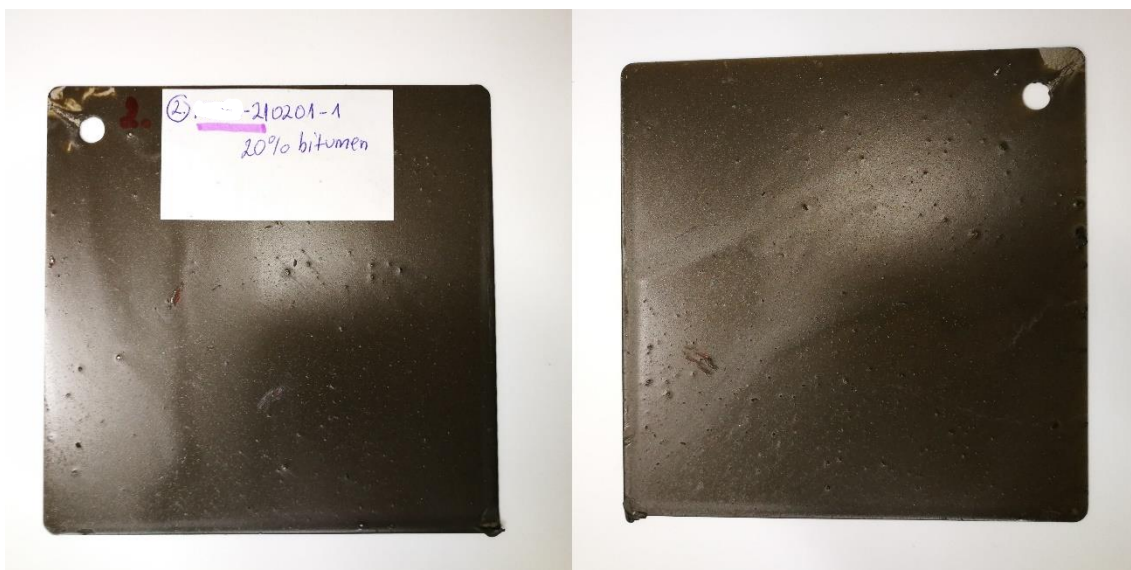
Uzorak AM1-210201-1 bio je sjajne sive boje, prihvatljive gustoće, tečan, maziv, sadržavao čestice, dobro se sušio te ostajao gladak i sjajan na površini pločice. Na svakih 100 grama mase, dodano je 10%, zatim 20% te 30% bitumena. Za svaki postotak napravljen je premaz na metalnu pločicu. Vidljivo je kako se boja mijenjala povišenjem postotka bitumena u masi uzorka, dakle boja je postajala tamnija. Što se tiče gustoće, gustoća je rasla. Najbolja gustoća dobivena je pri dodatku 10% bitumena na masu uzorka. Slika 32. prikazuje pločicu premazanu destilacijskim muljem AM1-210201-1 bez prethodne nadorade dodatkom bitumena. Na slikama 33. - 35. nalaze se pločice premazane destilacijskim muljem AM1-210201-1 s doradom od 10%, 20% i 30% dodanog bitumena na ukupnu masu uzorka.



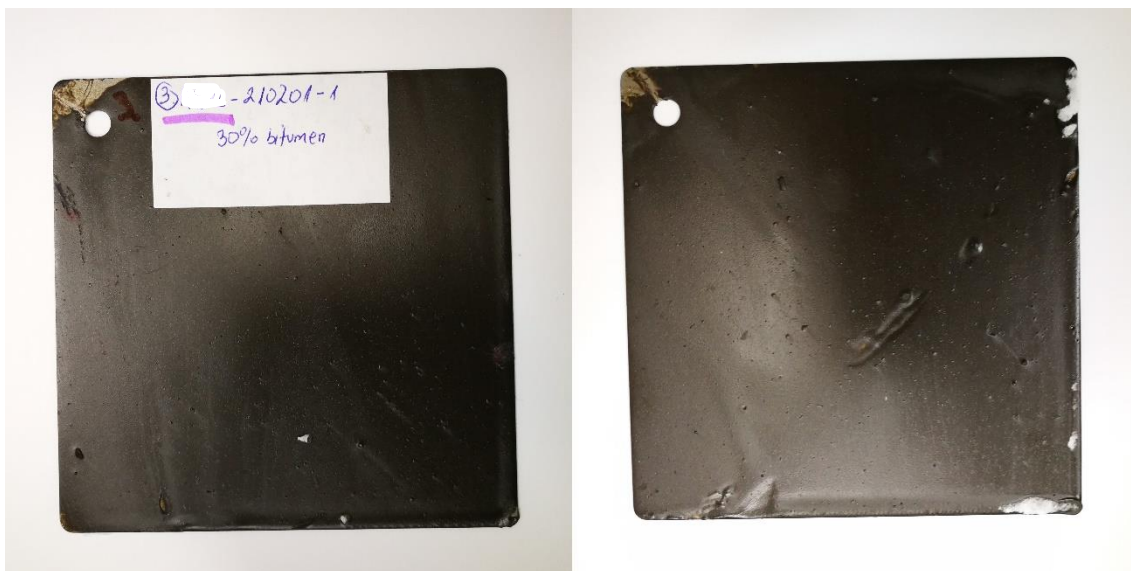
Slika 32. Pločica premazana destilacijskim muljem AM1-210201-1 bez prethodne nadorade dodatkom bitumena



Slika 33. Pločica premazana destilacijskim muljem AM1-210201-1 s dodatkom 10% bitumena



Slika 34. Pločica premazana destilacijskim muljem AM1-210201-1 s dodatkom 20% bitumena

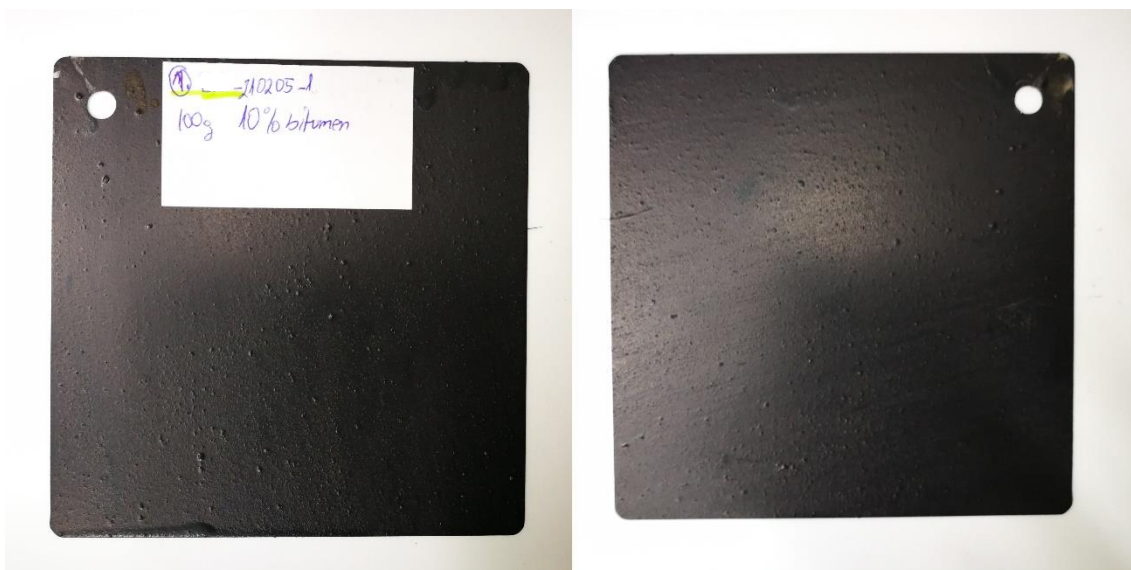


Slika 35. Pločica premazana destilacijskim muljem AM1-210201-1 s dodatkom 30% bitumena

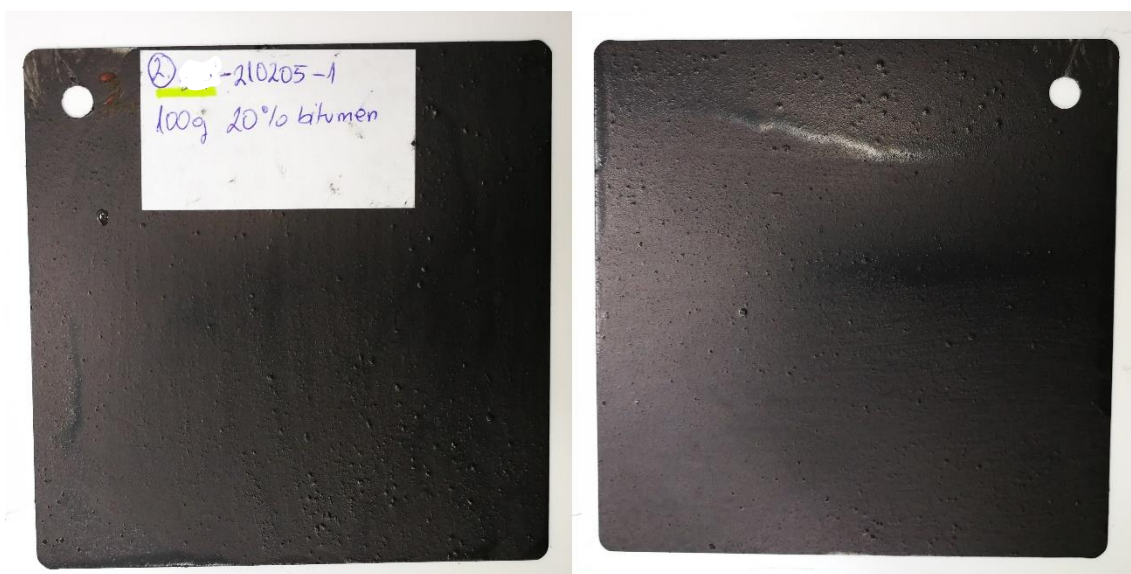
Uzorak FP1-210205-1 bio je crne mat boje, tečan, maziv, srednje gustoće, sadržavao čestice, bolje se sušio, ostajao hrapav na površini pločice. U uzorak prvo je dodano 10%, zatim 20%, pa 30% bitumena u odnosu na ukupnu masu uzorka. Za svaki postotak napravljen je premaz na metalnu pločicu. Vidljivo je da je boja ostala crna. U uzroku gdje je dodano 10% bitumena, gustoća je ostala gotovo nepromijenjena te se lijepo nanosio na pločicu. U uzroku gdje je dodano 20% bitumena, gustoća se malo povećala, uzorak se bolje nanosio na pločicu te je procijenjeno da je ovo najbolji uzorak od ova tri. U uzorak gdje je dodano 30% bitumena, gustoća se još više povećala te se uzorak lošije nanosio na pločicu od prethodnog. Slika 36. prikazuje pločicu premazanu destilacijskim muljem FP1-210205-1 bez prethodne nadorade dodatkom bitumena. Na slikama 37. - 39. nalaze se pločice premazane destilacijskim muljem FP1-210205-1 sa doradom od 10%, 20% i 30% dodanog bitumena na ukupnu masu uzorka.



Slika 36. Pločica premazana destilacijskim muljem FP1-210205-1 bez prethodne nadorade dodatkom bitumena



Slika 37. Pločica premazana destilacijskim muljem FP1-210205-1 s dodatkom 10% bitumena



Slika 38. Pločica premazana destilacijskim muljem FP1-210205-1 s dodatkom 20% bitumena



Slika 39. Pločica premazana destilacijskim muljem FP1-210205-1 s dodatkom 30% bitumena

Uzorak FP1-210205-2 bio je crne boje, srednjeg sjaja, tečan, maziv, prihvatljive gustoće, sadržavao je čestice, dobro se sušio te ostajao hrapav na površini pločice. U ovaj uzorak prvo je dodano 10%, zatim 20%, pa 30% bitumena u odnosu na ukupnu masu uzorka. Za svaki postotak napravljen je premaz na metalnu pločicu. Vidljivo je da je boja ostala crna, samo je postala više sjajnija. Gustoća se povećavala s povišenjem postotka dodanog bitumena na masu uzorka te se sukladno tome pogoršavala mazivost. Procjena je da je najbolji uzorak s dodatkom 10% bitumena na masu uzorka. Promjene nisu bile od velikog značaja. Slika 40. prikazuje pločicu premazanu destilacijskim muljem FP1-210205-2 bez prethodne nadorade dodatkom bitumena. Na slikama 41. - 43. nalaze se pločice premazane destilacijskim muljem FP1-210205-2 sa dodatkom od 10%, 20% i 30% dodanog bitumena na ukupnu masu uzorka.



Slika 40. Pločica premazana destilacijskim muljem FP1-210205-2 bez prethodne nadorade dodatkom bitumena



Slika 41. Pločica premazana destilacijskim muljem FP1-210205-2 s dodatkom 10% bitumena



Slika 42. Pločica premazana destilacijskim muljem FP1-210205-2 s dodatkom 20% bitumena



Slika 43. Pločica premazana destilacijskim muljem FP1-210205-2 s dodatkom 30% bitumena

Uzorak FP2-210224-1 bio je ljubičasto-crne mat boje, tečan, prihvatljive gustoće, maziv, sadržavao je čestice po površini, duže se sušio te je ostajao hrapav na površini pločice. U uzorak prvo je dodano 10%, zatim 20%, pa 30% bitumena u odnosu na masu ukupnu uzorka. Za svaki postotak napravljen je premaz na metalnu pločicu. Vidljivo je da je dodatkom bitumena boja postajala više sjajnija te više smeđa. Uzorci u koje je dodano 10% i 20% bitumena na masu uzorka bili su procijenjeni kao prihvatljivi, no najbolji je bio uzorak s 30% bitumena na masu uzorka koji je bio gušći od prethodna dva te se najbolje nanosio na pločicu. Slika 44. prikazuje pločicu premazanu destilacijskim muljem FP2-210214-1 bez prethodne nadorade dodatkom bitumena. Na slikama 45. - 47. nalaze se pločice premazane destilacijskim muljem FP2-210214-1 sa doradom od 10%, 20% i 30% dodanog bitumena na ukupnu masu uzorka.



Slika 44. Pločica premazana destilacijskim muljem FP2-210214-1 bez prethodne nadorade dodatkom bitumena



Slika 45. Pločica premazana destilacijskim muljem FP2-210224-1 s dodatkom 10% bitumena



Slika 46. Pločica premazana destilacijskim muljem FP2-210224-1 s dodatkom 20% bitumena



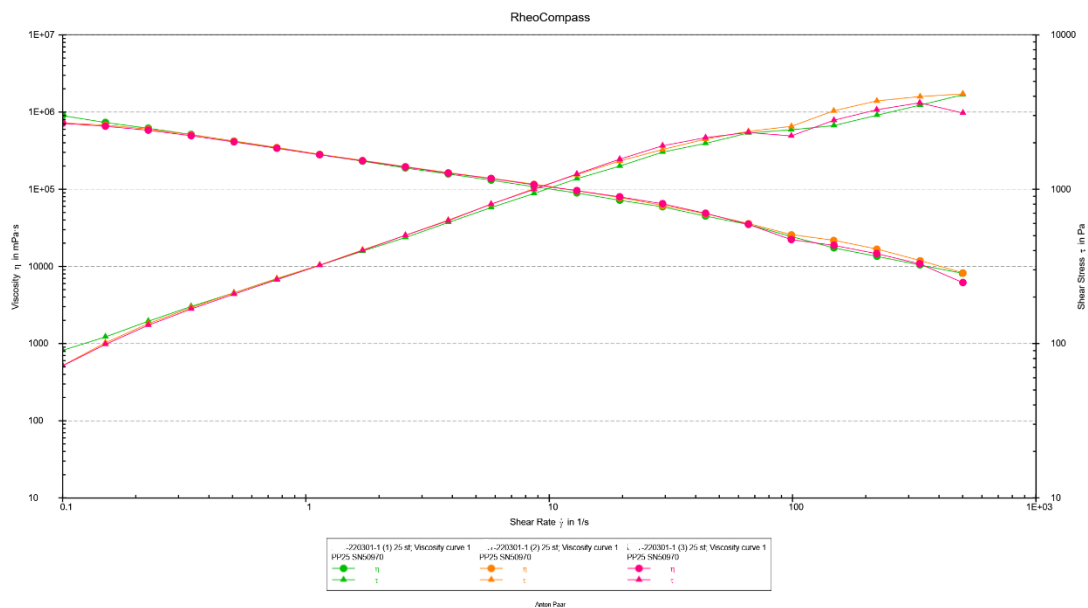
Slika 47. Pločica premazana destilacijskim muljem FP2-210224-1 s dodatkom 30% bitumena

6.4. REOLOŠKA ISPITIVANJA

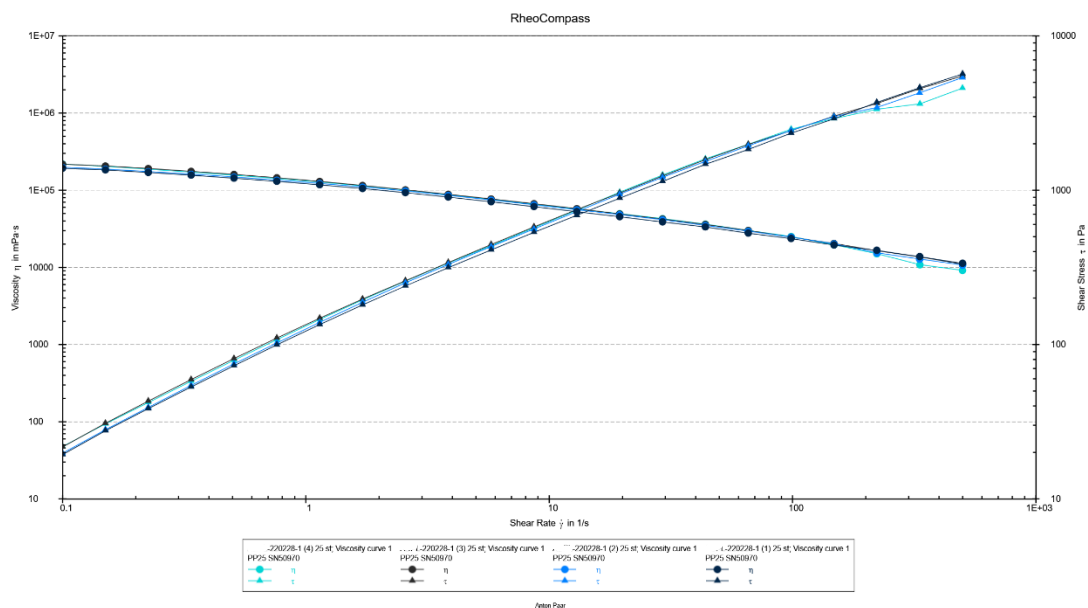
6.4.1. REOLOŠKA ISPITIVANJA DESTILACIJSKOG MULJA

Odabrani perspektivni uzorci otpadnog destilacijskog mulja stavljeni su na reometar na mjerenje. Mjerenja su rađena u triplikatu uzorka na temperaturi od 25°C. Ova temperatura je odabrana kao temperatura okoline u kojoj se inače nanose komercijalni antikorozivni premazi kako bi mjerenja destilacijskog mulja bila usporediva s reološkim mjerenjima komercijalnih antikorozivnih premaza.

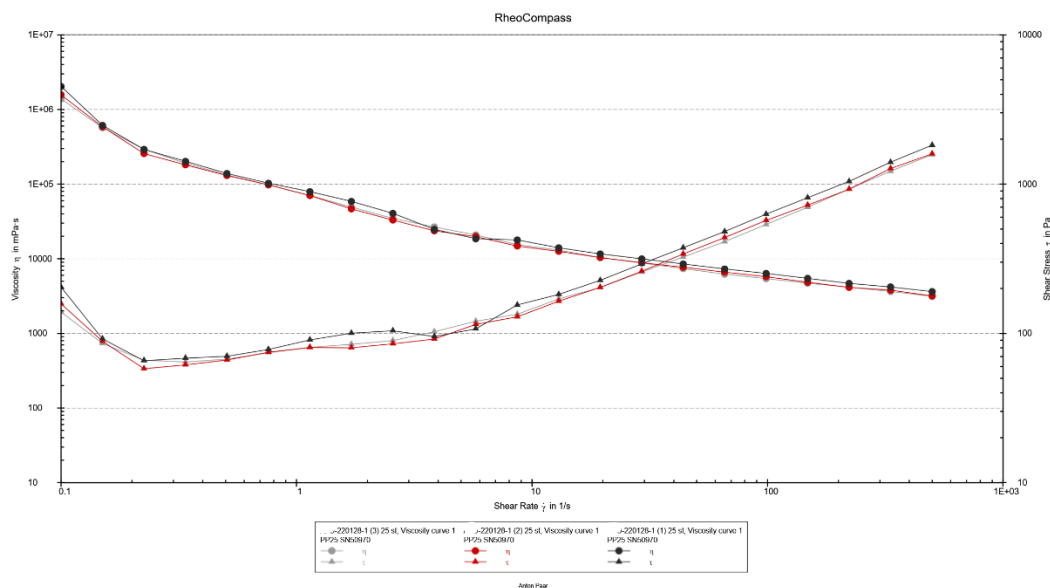
Na slikama 48. – 50., koje slijede u nastavku, prikazani su dobiveni *Viscosity Curve* and *Flow Curve* grafovi, odnosno krivulje viskoznosti i toka.



Slika 48. Krivulje viskoznosti i toka za uzorka FP1-220301-1 (1), (2), (3) pri 25°C



Slika 49. Krivulje viskoznosti i toka za uzorak AM1-220228-1 (1), (2), (3) pri 25°C

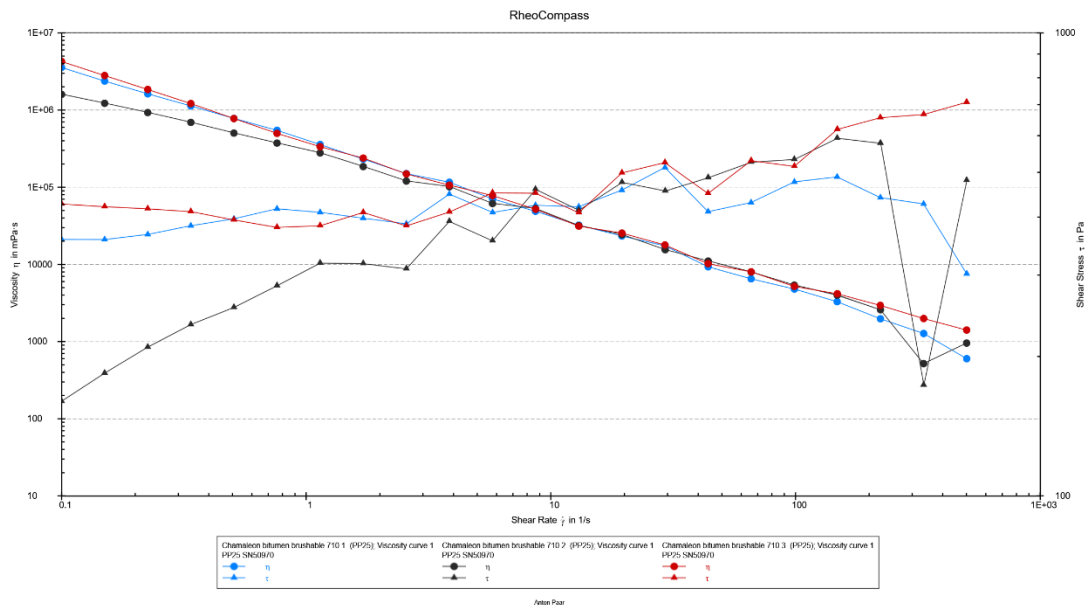


Slika 50. Krivulje viskoznosti i toka za uzorak FP2-220128-1 (1), (2), (3) pri 25°C

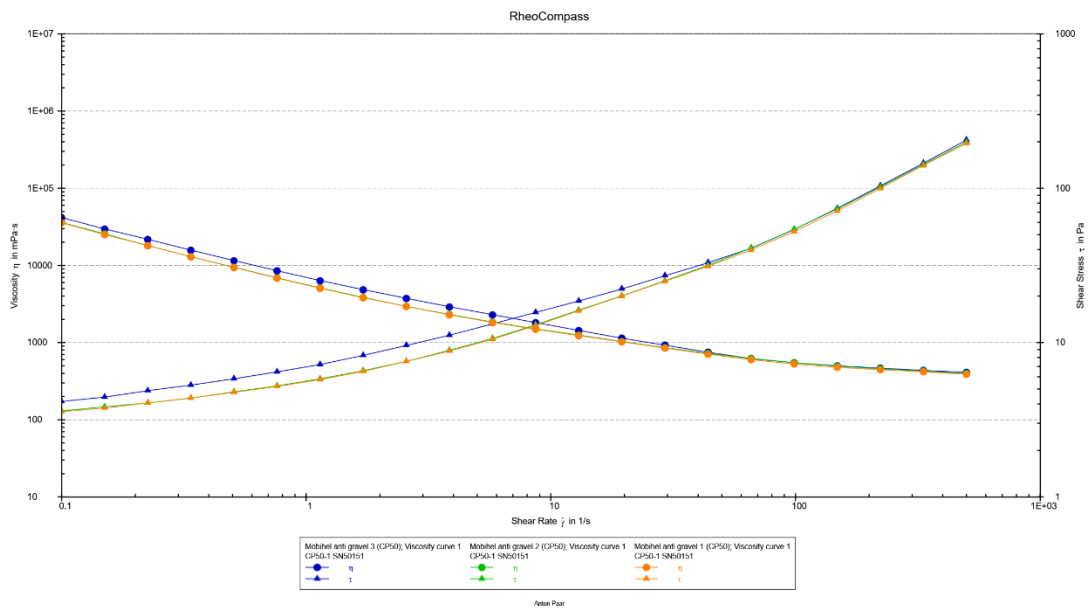
6.4.2. REOLOŠKA ISPITIVANJA KOMERCIJALNIH ANTIKOROZIVNIH PREMAZA

Odabrani komercijalni antikorozivni premazi stavljeni su na reometar na mjerenje. Mjerenja su rađena u triplicatma uzorka na temperaturi od 25°C. Ova temperatura je odabrana kao temperatura okoline u kojoj se inače nanose komercijalni antikorozivni premazi kako bi mjerenja komercijalnih antikorozivnih premaza bila usporediva s reološkim mjerenjima destilacijskog mulja.

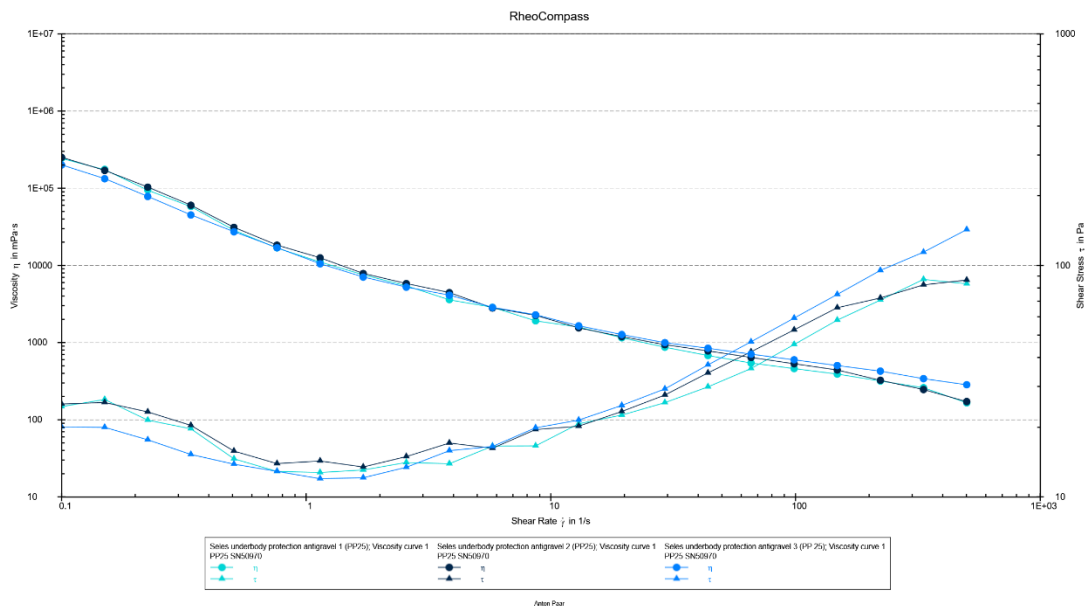
Na slikama 51. – 54., koje slijede u nastavku, prikazani su dobiveni *Viscosity and Flow Curve* grafovi, odnosno krivulje viskoznosti i toka.



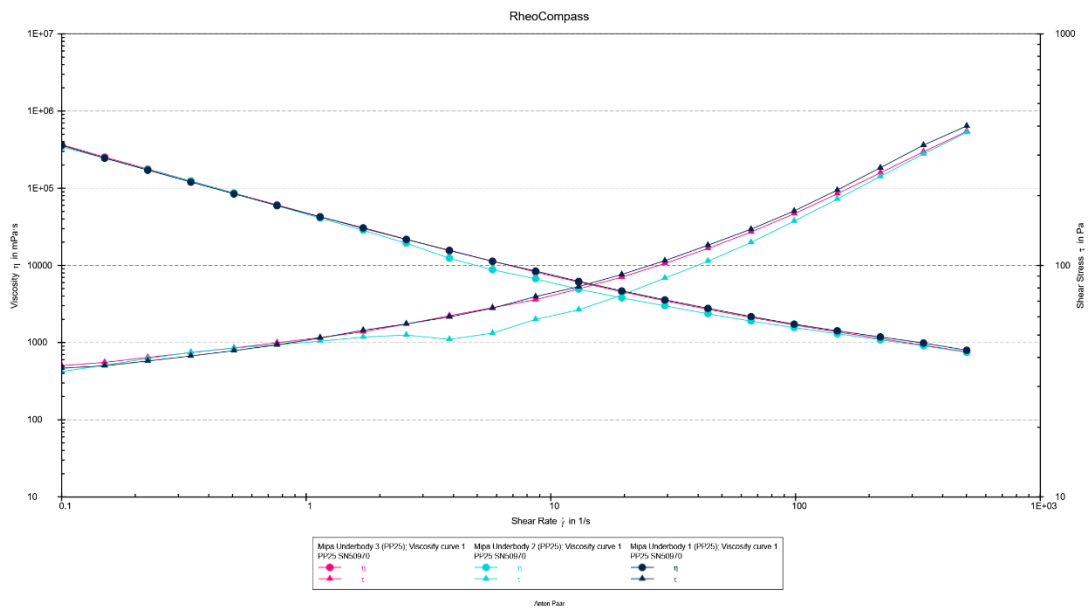
Slika 51. Krivulje viskoznosti i toka za uzorak Chamaleon Bitumen Brushable 710



Slika 52. Krivulje viskoznosti i toka za uzorak Mobihel AntiGravel Low VOC (1), (2), (3) pri 25°C



Slika 53. Krivulje viskoznosti i toka za uzorak Seles UnderBody ProtectionI AntiGravel



Slika 54. Krivulje viskoznosti i toka za uzorak Mipa UnderBody Coating (1), (2), (3) pri 25°C

6.4.3. INTERPRETACIJA REOLOŠKIH MJERENJA

Temeljem rezultata dobivenih mjerenjem testa krivulje toka, jasno je da se radi o pseudoplastičnom (tikotropičnom) materijalu, kako destilacijski mulj, tako i komercijalni antikorozivni premaz. Kod pseudoplastičnih materijala, povećanjem brzine vrtnje, viskoznost opada što znači da postaju rjeđi. Ovakvo ponašanje karakteristično za premaze, ljepila, polimerne otopine i slično. Radi se o viskoelastičnim tekućinama, odnosno mješavinama koje imaju karakteristično ponašanje visokog tečenja i elastične deformacije.

7. ZAKLJUČAK

Cilj ovog diplomskog rada bio je ispitati svojstva destilacijskog mulja u odnosu na komercijalne antikorozivne premaze u svrhu dobivanja novog proizvoda iz otpada čime bi se zaokružila priča kružnog gospodarstva.

Uzorci destilacijskog mulja uzeti su iz realnog gospodarskog objekta tvrtke Premifab d.o.o. U procesu destilacije dobivaju se dva produkta: regenerat i destilacijski mulj. Regenerat tvrtka prodaje kao svoj proizvod, dok je destilacijski mulj opasni otpad koji je potrebno zbrinuti. Umjesto zbrinjavanja, bolje bi bilo proizvesti novi proizvod. Na taj način stvara se nova ekonomska dobit, manje se onečišćuje okoliš jer nema potrebe za zbrinjavanjem te se štiti zdravlje ljudi, životinja i samog okoliša.

Temeljem obrađenih podataka u vidu analize kemijskog sastava, fizikalno-kemijske karakterizacije destilacijskog mulja, ispitivanja nekih mehaničkih svojstava (aplikacija na metalnu pločicu, prijanjanje, pokritnost itd.), udjela suhe tvari i volatila (gravimetrija) te reoloških ispitivanja (krivulje viskoznosti i toka), može se zaključiti kako ovaj destilacijski mulj ima slična (poneka i bolja) svojstva kao i komercijalno dostupni antikorozivni premazi.

Daljnijim istraživanjima i dodatnom obradom destilacijskog mulja, može se dobiti novi proizvod koji će služiti kao antikorozivni premaz te biti dobar konkurent trenutno dostupnim komercijalnim antikorozivnim premazima. Daljnja istraživanja trebala bi uključiti razvijanje tehnologije oporabe destilacijskog mulja koji ostaje nepročišćen u procesu regeneracije otpadnih otapala putem destilacije. Potrebno je ispitati još neka mehanička svojstva poput tvrdoće, korozije, otpornosti na udar, elastičnosti, i sl. Svakako je bitno uskladiti novi proizvod s normama, u ovom slučaju s normom ISO 12944: Boje i lakovi - Zaštita čeličnih konstrukcija od korozije pomoću zaštitnih sustava boja. Po pitanju reometrije, trebalo bi provesti istraživanja u vidu deformacijskog ponašanja materijala u području nedestruktivne deformacije te određivanja granice tog raspona – jesu li materijali stalno u tekućem ili krutom stanju te testove u vidu kompleksne i rotacijske viskoznosti i vremena regeneracije materijala.

8. POPIS LITERATURE

1. Vlada Republike Hrvatske, Odluka o Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti 2007. - NKD 2007., NN 58/2007
2. Aplikacija "KB* – odredi ključni broj otpada"; Dostupno na: <http://roo.azo.hr/katOtpada/>; Datum pristupa 15.05.2022.
3. Vlada Republike Hrvatske, Zakon o gospodarenju otpadom, NN 84/2021
4. Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost: Zaštita okoliša: Kružno gospodarstvo; Dostupno na: <https://www.fzoeu.hr/hr/kruzno-gospodarstvo/7659>; Datum pristupa: 15.05.2022.
5. Europa EU: Kružno gospodarstvo: Definicija, vrijednosti i korist; Dostupno na: <https://www.europarl.europa.eu/news/hr/headlines/economy/20151201STO05603/kruzno-gospodarstvo-definicija-vrijednosti-i-korist>; Datum pristupa: 15.05.2022.
6. Premifab: O nama; Dostupno na: <https://premifab.hr/o-nama/>; Datum pristupa: 15.05.2022.
7. Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost: Gospodarenje otpadom: Posebne kategorije otpada: Oporaba; Dostupno na: <https://www.fzoeu.hr/hr/oporaba-8391/8391>; Datum pristupa: 18.05.2022.
8. Preglednik registra onečišćavanja okoliša: Postupci oporabe (R) i zbrinjavanja (D); Dostupno na: <http://roo-preglednik.azo.hr/ViewData.aspx?qid=8>; Datum pristupa: 18.05.2022.
9. Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, Agencija za zaštitu okoliša: Upute za određivanje i tehnički opisi postupaka oporabe (R) i zbrinjavanja (D) otpada, veljača 2008., Zagreb
10. Sander, A.: Destilacija, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije; Dostupno na: https://www.fkit.unizg.hr/_download/repository/destilacija%5B1%5D.pdf, Datum pristupa: 23.03.2022.

11. Premifab: Regeneracija otapdnih otapala; Dostupno na: <https://premifab.hr/usluge/regeneracija-otpadnih-otapala/>; Datum pristupa: 10.04.2022.
12. Premifab: Zbrinjavanje opasnog otpada; Dostupno na: <https://premifab.hr/usluge/zbrinjavanje-opasnog-otpada/>; Datum pristupa: 10.04.2022.
13. J Vaxelaire, J.M Bongiovanni, P Mousques, J.R Puiggali,: Thermal drying of residual sludge, Water Research, Volume 34, Issue 17,2000, Pages 4318-4323, ISSN 0043-1354; Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135400001937>; Datum pristupa: 03.05.2022.
14. Premifab: Kemijski proizvodi: Industrijska otapala: Izopropanol; Dostupno na: <https://premifab.hr/kemijski-proizvodi/industrijska-otapala/izopropanol/>; Datum pristupa: 18.04.2022.
15. Mezger, Thomas G.: Applied Rheology With Joe Flow on Rheology Road, Anton Paar GmbH, Austria, 6th edition March 2019.

9. POPIS SLIKA

| | |
|---|----|
| Slika 1. Shematski prikaz kružnog gospodarstva [5] | 6 |
| Slika 2. Kružno gospodarstvo u uporabi otapala [6] | 6 |
| Slika 3. Prikaz postupka probne destilacije u Laboratoriju za organska otapala u tvrtki Premifab d.o.o. – simulacija procesa destilacije te dobivanja postotka iskoristivosti procesa odnosno regenerabilnosti uzorka | 9 |
| Slika 4. Dijagram tlaka [10] | 10 |
| Slika 5. Dijagram vrenja [10] | 10 |
| Slika 6. Dijagram ravnoteže - idealne smjese [10] | 10 |
| Slika 7. Šaržne kolone [10] | 11 |
| Slika 8. Kontinuirane kolone [10] | 11 |
| Slika 9. Shematski prikaz procesa destilacije u tvrtki Premifab d.o.o. [11] | 12 |
| Slika 10. Prikaz procesa destilacije u postrojenju tvrtke Premifab d.o.o. [11]... | 12 |
| Slika 11. Krivulje toka idealno viskoznih tvari [15] | 17 |
| Slika 12. Krivulje toka materijala koji se razrjeđuju smicanjem [15] | 18 |
| Slika 13. Krivulje toka materijala koji se zgušnjava smicanjem [15] | 19 |
| Slika 14. Prije i nakon sušenja uzorka FP1-210210-1 | 24 |
| Slika 15. Prije i nakon sušenja uzorka FP2-220128-1 | 25 |
| Slika 16. Prije i nakon sušenja uzorka AM1-220223-2 | 25 |
| Slika 17. Prije i nakon sušenja uzorka Chamaleon Bitumen Brushable 710 | 26 |
| Slika 18. Prije i nakon sušenja uzorka Mobihel AntiGravel Low VOC | 26 |
| Slika 19. Prije i nakon sušenja uzorka Seles UnderBody Protection AntiGravel | 27 |
| Slika 20. Prije i nakon sušenja uzorka Mipa Underbody Coating | 27 |
| Slika 21. Uzorci otpadnog mulja nanoseni kistom na metalne pločice | 28 |
| Slika 22. Metalna pločica sa premazom od mješavine najperspektivnijih uzoraka | 29 |
| Slika 23. Pločica premazana destilacijskim muljem FP1-210210-1 bez nadorade | 30 |
| Slika 24. Pločica premazana otpadnim muljem FP1-210210-1 u koji je dodano 5% regenerata | 30 |
| Slika 25. Pločica premazana otpadnim muljem FP1-210210-1 u koji je dodano 10% originalnog otapala | 31 |

| | |
|---|----|
| Slika 26. Pločica premazana destilacijskim muljem FP3 -210202-1 bez nadorade..... | 32 |
| Slika 27. Pločica premazana destilacijskim muljem FP3-210202-1 u koji je dodano 5% regenerata..... | 32 |
| Slika 28. Pločica premazana destilacijskim muljem FP3-210202-1 u koji je dodano 10% regenerata..... | 33 |
| Slika 29. Pločica premazana destilacijskim muljem FP3 -210202-2 bez nadorade..... | 34 |
| Slika 30. Pločica premazana destilacijskim muljem FP3-210202-2 u koji je dodano 5% regenerata..... | 34 |
| Slika 31. Pločica premazana destilacijskim muljem FP3-210202-2 u koji je dodano 10% regenerata..... | 35 |
| Slika 32. Pločica premazana destilacijskim muljem AM1-210201-1 bez prethodne nadorade dodatkom bitumena | 36 |
| Slika 33. Pločica premazana destilacijskim muljem AM1-210201-1 s dodatkom 10% bitumena | 36 |
| Slika 34. Pločica premazana destilacijskim muljem AM1-210201-1 s dodatkom 20% bitumena | 37 |
| Slika 35. Pločica premazana destilacijskim muljem AM1-210201-1 s dodatkom 30% bitumena | 37 |
| Slika 36. Pločica premazana destilacijskim muljem FP1-210205-1 bez prethodne nadorade dodatkom bitumena | 38 |
| Slika 37. Pločica premazana destilacijskim muljem FP1-210205-1 s dodatkom 10% bitumena | 39 |
| Slika 38. Pločica premazana destilacijskim muljem FP1-210205-1 s dodatkom 20% bitumena | 39 |
| Slika 39. Pločica premazana destilacijskim muljem FP1-210205-1 s dodatkom 30% bitumena | 40 |
| Slika 40. Pločica premazana destilacijskim muljem FP1-210205-2 bez prethodne nadorade dodatkom bitumena | 41 |
| Slika 41. Pločica premazana destilacijskim muljem FP1-210205-2 s dodatkom 10% bitumena | 41 |
| Slika 42. Pločica premazana destilacijskim muljem FP1-210205-2 s dodatkom 20% bitumena | 42 |

| | |
|---|----|
| Slika 43. Pločica premazana destilacijskim muljem FP1-210205-2 s dodatkom 30% bitumena | 42 |
| Slika 44. Pločica premazana destilacijskim muljem FP2-210214-1 bez prethodne nadorade dodatkom bitumena | 43 |
| Slika 45. Pločica premazana destilacijskim muljem FP2-210224-1 s dodatkom 10% bitumena | 44 |
| Slika 46. Pločica premazana destilacijskim muljem FP2-210224-1 s dodatkom 20% bitumena | 44 |
| Slika 47. Pločica premazana destilacijskim muljem FP2-210224-1 s dodatkom 30% bitumena | 45 |
| Slika 48. Krivulje viskoznosti i toka za uzorka FP1-220301-1 (1), (2), (3) pri 25°C | 46 |
| Slika 49. Krivulje viskoznosti i toka za uzorak AM1-220228-1 (1), (2), (3) pri 25°C | 46 |
| Slika 50. Krivulje viskoznosti i toka za uzorak FP2-220128-1 (1), (2), (3) pri 25°C | 47 |
| Slika 51. Krivulje viskoznosti i toka za uzorak Chamaleon Bitumen Brushable 710 | 48 |
| Slika 52. Krivulje viskoznosti i toka za uzorak Mobihel AntiGravel Low VOC (1), (2), (3) pri 25°C | 48 |
| Slika 53. Krivulje viskoznosti i toka za uzorak Seles UnderBody ProtectionI AntiGravel | 49 |
| Slika 54. Krivulje viskoznosti i toka za uzorak Mipa UnderBody Coating (1), (2), (3) pri 25°C..... | 49 |

10. POPIS TABLICA

| | |
|--|----|
| Tablica 1.: Kataloški prikaz otpada iz anorganskih kemijskih procesa [2, 3] | 3 |
| Tablica 2.: Kataloški prikaz otpada iz organskih kemijskih procesa. [2, 3]4 | |
| Tablica 3.: Kataloški prikaz otpada od proizvodnje, formulacije, dobave i uporabe (PFDU) prevlaka (boje, lakovi i staklasti emajli), ljepila, sredstava za brtvljenje i tiskarskih tinta. [2, 3] | 5 |
| Tablica 4.: Prikaz fizikalnih svojstava otpadnog mulja | 23 |
| Tablica 5.: Prikaz kemijskih svojstava otpadnog mulja | 23 |
| Tablica 6.: Udio suhe tvari [%] u destilacijskom mulju kao i u komercijalnim antikorozivnim premazima | 24 |

11. POPIS I OBJAŠNENJE KRATICA KORIŠTENIH U TEKSTU

IBC – (eng. Intermediate bulk containers) - industrijski spremnici konstruirani za masovno rukovanje, transport i skladištenje tekućina, polukrutih tvari, paste ili krutih tvari.

1K – jednokomponentni

2K – dvokomponentni

AK – antikorozivni

VOC – eng. *volatile organic compounds* – hlapljivi organski spojevi

FP1 – FleksoPrint 1 – skraćenica/ interna oznaka za uzorak iz industrije tiska fleksibilne prehrambene ambalaže

FP2 – FleksoPrint 2 - skraćenica/ interna oznaka za uzorak iz industrije tiska fleksibilne prehrambene ambalaže

FP3 – FleksoPrint 3 – skraćenica/ interna oznaka za uzorak iz industrije tiska fleksibilne prehrambene ambalaže

AM1 – AutoMoto 1 – skraćenica/ interna oznaka za uzorak iz automobilske industije