

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Војна академија Универзитета одбране у Београду

Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Наоружање

Предмет: Корозија и заштита материјала

Број индекса: 509/2014



Јована М. Милутиновић

Корозиона постојаност метала у релину и еталину

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. доц. др Михаел Бучко – ментор

Датум одбране: _____

2. _____

Оцена: _____

3. _____

Крагујевац, 2018.године

У оквиру овог дипломског рада кандидат треба да:

1. Опише процес настанка корозије, врсте корозије, корозију у органским течностима и методе праћења корозије;
2. Наброји и опише јонске течности, њихова својства и примену у привреди и науци;
3. Испита корозиону постојаност челика, бакра, цинка и алуминијума у две јонске течности са комерцијалним називима релин и еталин.

Препоручена литература:

1. В. Вујичић, *Корозија и технологија заштите метала*, Војна академија, Београд, 2002.
2. A. Kokorin, *Ionic liquids: theory, properties, new approaches*, InTech, Rijeka, 2011.
3. М. Стојановић, *Методе за оцену отпорности према корозији метала у различитим условима експлоатације*, *Integritet i vek konstrukcija* 7 (2007) 71–78.
4. В. Ђоровић, Ј. Антић, С. Кочовић, М. Радић, *Заштита од корозије у аутоиндустрији*, Крагујевац, 2002.
5. ASTM D 2251, *Standard test method for metal corrosion by halogenated organic solvents and their admixtures*

Резиме:

У оквиру рада је описана корозија уопште, јонске течности и њихова својства, као и методе праћења корозије. У експерименталном делу је испитана корозиона постојаност челика, алуминијума, цинка и бакра у две јонске течности са комерцијалним називима релини еталини. У циљу испитивања корозионе постојаности примењен је стандард ASTM D 2251.

Summary:

The work describes corrosion in general, ionic liquids and their properties, as well as methods of corrosion monitoring. In the experimental part, the corrosion resistance of steel, aluminum, zinc and copper was tested in two ionic liquids with commercial names relini and ethaline. In order to test corrosion resistance, the ASTM D 2251 standard was applied.

САДРЖАЈ

1. УВОД	5
2. ТЕОРИЈСКИ ДЕО	6
2.1 Дефиниција и механизам електрохемијске и хемијске корозије метала	6
2.2 Корозија метала у органским течностима.....	8
2.2.1 Фактори корозије метала у органским течностима	9
2.3 Јонске течности: дефиниција, својства, историја и примена	12
2.3.1 Карактеристике јонске течности	13
2.3.2 Најважније примене јонских течности	16
2.4 Методе праћења корозије.....	19
2.4.1 Показатељи брзине корозије.....	21
2.4.2 Методе испитивања	23
2.4.3 Природна испитивања	23
2.4.4 Лабораторијска испитивања	26
2.5 ICP-MS метода.....	30
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО	31
3.1 Коришћен прибор при испитивању	31
3.2 Припрема електролита.....	31
3.3 Припрема површине метала	32
3.4 Испитивање метала у јонским течностима.....	32
3.5 Праћење и снимање узорака	32
4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА.....	33
4.1 Снимци плочица у различитим временским интервалима	33
4.2 Дискусија резултата.....	54
5. ЗАКЉУЧАК	55
6. ЛИТЕРАТУРА	56

1.УВОД

Јонске течности представљају соли које имају ниске температуре смрзавања и као такве представљају нову класу растварача. Имају огромну потенцијалну примену у различитим гранама привреде и науке [1].

Јонске течности су се појавиле са синтезом етиламонијум нитрата 1914. године. Упркос значају овог открића, јонске течности су остале незапажене све до 1951. године, када је етилпиридинијум бромид- AlCl_3 јонска течност први пут употребљена као електролит за облагање алуминијума. Касније, 90-их година, откривене су нове јонске течности које су стабилне у води и показале су потенцијал као зелени растварачи. Јонске течности су од тада привукле огромну пажњу, и као материјали и као реакциони растварачи и то не само у пољу науке, већ и у индустрији, са све већим бројем научних публикација и патената.

Неколико фактора јонске течности истичу као изузетну и корисну класу једињења:

- широк опсег ових једињења која постоје у течном стању, што је са аспекта примене као растварача пожељно;
- бесконачан број комбинација катјона и анјона као конституената који, сами по себи, могу бити врло разнолике структуре и комплексности;
- практично су неиспарљиве у широком опсегу температура, што их чини еколошки одрживим (незнатно атмосферско загађење); према томе, јонске течности су обећавајућа замена за постојеће испарљиве и токсичне органске раствараче;
- разноликост и разноврсност растворне моћи – поседујући јонски део (поларан), али истовремено и неполарне домене (алифатични ланци), првенствено у катјонима, јонске течности могу да растворе и поларна и неполарна једињења;
- могућност дизајнирања и подешавања њихових растворних својстава која ће се успешно применити у одређеној специфичној апликацији [2].

И поред широке примене јонских течности, изузетно је мали број истраживања посвећен утицају тих једињења на корозију метала. Може се очекивати да у различитим апликацијама, јонске течности долазе у контакт са металима, и стога је њихова корозивност за метале изузетно важно својство.

Зато је циљ овог дипломског рада да се испита корозивност две јонске течности, у присуству четири техничка метала. Као јонске течности изабрани су релин и еталин. Релин је течност која настаје мешањем холин хлорида и урее, док је еталин течност која настаје мешањем холин хлорида и етилен гликола. Обе јонске течности налазе широку примену у галванизацији, биотехнологији, преради нафте, апсорпцији гасова као што је угљен диоксид, и слично. Зато је корозивност тих течности, важно техничко питање.

У првом делу рада је представљена корозија уопште, подела на хемијску и електрохемијску и корозија метала у органским течностима. Објашњено је и шта су јонске

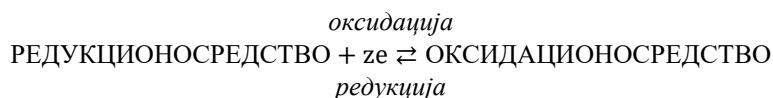
течности и које се методе праћења корозије могу применити. У даљем раду је дат експериментални део којим је објашњено шта се све користило током експеримента и шта је било потребно пратити и како припремити електролит и површине метала које су коришћене за експеримент. Као закључак и завршни део рада представљени су резултати и дата је дискусија резултата.

2. ТЕОРИЈСКИ ДЕО

2.1 Дефиниција и механизам електрохемијске и хемијске корозије метала

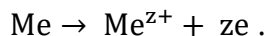
Корозија представља ненамерно разарање конструкционих материјала, услед хемијског и електрохемијског деловања корозионе средине. У зависности од природе метала, природе корозионе средине и других фактора зависи брзина корозије. Штете које настају као последица корозије могу бити огромне. Међутим, корозија нема само негативно деловање, јер су приликом истраживања система заштите од корозије пронађени нови материјали са добрим механичким и корозионим својствима. Како би се успешно спречила корозија потребно је познавати својства материјала који кородира, хемијске, физичке и биолошке факторе који делују на процесе корозије и механизме корозионих процеса. Процес корозије се може успорити, а у неким случајевима и потпуно зауставити, то се постиже правилним избором метала, односно легуре, правилном припремом површине за заштиту, примена одговарајућих заштитних превлака, контролом састава корозионе средине и електрохемијском заштитом [3].

Електрохемијска корозија представља сложен процес, а главни учесници процеса су метал, који је донатор електрона, и нека материја која је акцептор електрона. Процес се састоји од истовремених реакција оксидације и редукције.

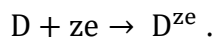


За разлику од хемијске корозије, код електрохемијске корозије реакције оксидације и редукције су делимично или потпуно просторно одвојене. Из тог разлога ови процеси се могу реализовати само у системима који имају електричну проводљивост, као што су раствори киселина, базе и соли, речна, језерска и морска вода, влажна земља и слој влаге на површини метала у атмосферским условима [3].

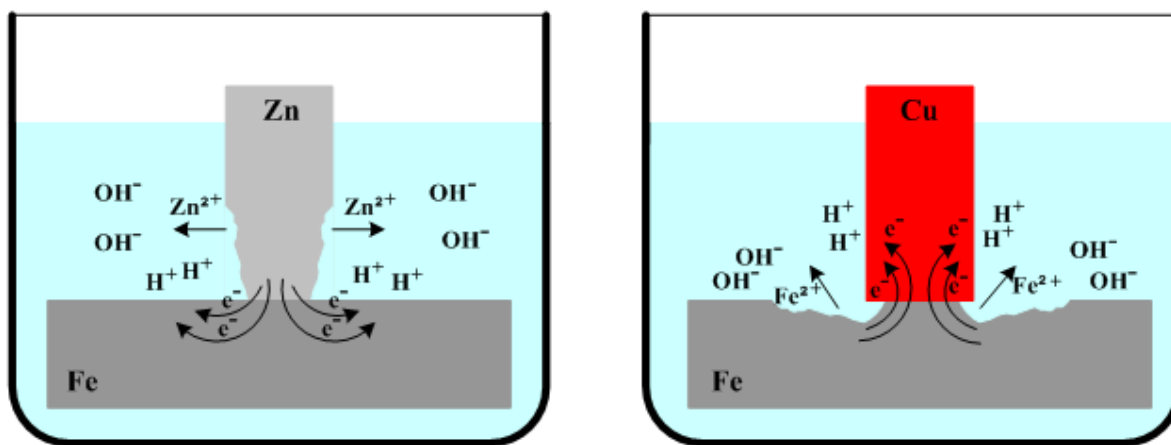
У процесу електрохемијске корозије метала, део метала губи своје основне карактеристике, јер се оксидује:



Оксидацијом настају јони, који одлазе у раствор, и електрони, који ступају у реакцију са оксидационим средством које се назива агенс корозије или деполаризатор (D). У процесу електрохемијске корозије оксидационо средство се редукује:



Код електрохемијске корозије процеси оксидације се одигравају на анодним – електронегативнијим, а процеси редукције на катодним – електропозитивнијим површинама (слика 1). У складу са тим постоји и термин анодна и катодна реакција.

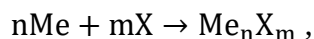


Слика 1. Процес електрохемијске корозије [4]

Метали се састоје од неутралних атома, јонизованих атома и електрона. Из тог разлога, приликом дејства електролита, метали показују одређену електрохемијску активност тј. теже измењују електроне са одговарајућим јонима у раствору. Приликом те активности долази до преласка јона метала у раствор или из раствора на метал, све док се не успостави динамичка равнотежа. Динамичка равнотежа између метала и његових јона у раствору одржава се уз сталну измену наелектрисања преко границе фаза. Та измена заснива се на способности позитивних и негативних учесника у систему да пређу из једне у другу фазу. Помоћу потенцијалне разлике која се успоставља на граници фаза одржава се равнотежа. Потенцијал који успоставља метал према раствору назива се равнотежни потенцијал датог метала. Његова вредност зависи од врсте метала, активности јона и температуре раствора.

Одређивање вредности електродног потенцијала метала се врши тако што се метал споји са референтном електродом тј. електродом познатог равнотежног потенцијала који је константан, односно који се не мења током времена. Такве су: стандардна водонична, каломелова и бакарна електрода[3].

Реакција између атома метала из кристалне решетке и атома или молекула неког елемента или једињења из околне средине, која може бити течна или гасовита, представља хемијску корозију. Реакцијом настаје молекул корозионог продукта који у већини случајева остаје на месту стварања. Процес хемијске корозије приказан је следећом једначином:



где су:

n и m – цели бројеви који представљају стехиометријске коефицијенте,

Me – симбол за атом метала,

X – симбол за атом агенса корозије.

По промени боје метала лако се може препознати појава хемијске корозије. До промене боје у почетку долази због интерференције светлости, да би касније када продукт корозије постане дебљи, превладала његова основна боја. Хемијска корозија се одиграва у две средине:

- неелектролитима и
- сувим гасовима.

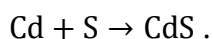
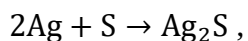
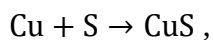
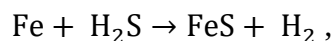
2.2 Корозија метала у органским течностима

Течности које не проводе електричну струју се убрајају у неелектролите. То су: нафта, течна горива, органски растварачи, течни бром, растворни сумпор итд [3].

Разарање метала у нафти зависи од садржаја и карактера присутних сумпорних једињења. У нафти сумпор може бити присутан у више облика: у облику елементарног сумпора, сумпор-водоника, меркаптана, тиофена и угљен-дисулфида. Значајно дејство сумпорних једињења на метал се активира присуством веће количине воде.

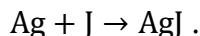
Течна горива и органски растварачи не узрокују корозију метала. Међутим, примесе у њима ступају у реакцију са металима (на пример, велику корозиону активност имају

горива у којима се налазе једињења сумпора). На корозију метала неједнако утичу сумпорна једињења. За бакар и сребро елементарни сумпор је корозионо активан и ствара сулфиде ових метала. Агресивно дејство на гвожђе градећи сулфиде, има сумпор-водоник. Реакција елементарног сумпора из нафте са бавром, сребром и кадмијумом, такође ствара сулфиде:



При реакцији са гвожђем, бакром, месингом, оловом и цинком, бензин и сирови феноли прелазе у уљасте материје, уз повећање киселости, због чега долази до њихове корозије.

Јод растворен у хлороформу реагује са сребром стварајући сребро јодид:



Са многим металима реагује течни бром. У присуству брома долази до корозије угљеничног челика, титана, олова, платине и злата.

Растворени сумпор је хемијски веома активан. Његово присуство проузрокује корозију бакра, калаја, олова и угљеничног челика [3].

2.2.1 Фактори корозије метала у органским течностима

На корозију метала и легура у органским течностима и њену брзину утичу разни унутрашњи и спољни фактори корозије. Унутрашњи фактори хемијске корозије су: природни, физички и хемијски састав метала, структура метала, механичка напрезања и деформације. Спољни фактори хемијске корозије су: својства корозионог продукта, састав течности, температура и режим загревања. Такође, знатан утицај имају и друге околности као што су храпавост и прљавштина на површини метала [3].

а) Утицај хемијског састава и структуре метала

На својства продуката корозије, а тиме и на процес корозије, битно утиче хемијски састав метала. Пример за то је да се отпорност челика према корозији повећава легирањем са хромом, силицијумом и алуминијумом. Ови елементи на површини челика стварају слојеве који га штите од даљег разарања, па је самим тим челик са 30% Cr, до 10% Al и до 10%Si постојан на високим температурама. На брзину корозије утиче и структура легуре, па су једнофазне легуре постојаније од двофазних.

б) Утицај температуре и режима загревања

На хемијска и физичка својства скоро свих метала утиче температура. Потпуно спречавање одигравања хемијске корозије може доћи услед ниске температуре, јер је низак енергетски ниво молекула и атома који реагују. Повећањем температуре повећава се и брзина хемијске реакције:

$$K = k \cdot e^{\frac{E_a}{RT}},$$

где су:

K – константа брзине реакције,

E_a – енергија активације,

T – апсолутна температура,

R – општа гасна корозија и

k – константа.

Температура утиче и на физичка својства метала. При јако ниским температурама, неки метали постају кртији или долази до промене структуре, а и високе температуре могу довести до промене структуре метала.

в) Утицај механичких напрезања и деформација у металу

У току рада и употребе металних предмета, они се излажу разним ударима, променљивом оптерећењу и другим механичким напрезањима која проузрокују напрезање и деформације

у металу. У почетној фази, напрезања у металу убрзавају хемијску корозију због већег енергетског нивоа површине и због неповољног утицаја тих појава на квалитет примарног слоја продукта корозије.

г) Утицај продуката корозије

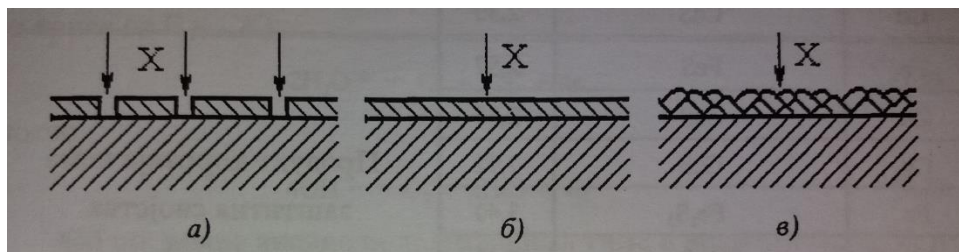
Карактеристично за хемијску корозију је да продукти корозије остају на месту стварања и у већини случајева дају компактну фазу. Из тог разлога продукти корозије имају значајну улогу у механизму хемијске корозије. Они могу смањити брзину корозије ако су испуњени одређени услови [3].

1) Потребно је да су продукти корозије физичко-хемијски стабилни, односно не смеју се растварати, разграђивати и реаговати са металом или средином у којој су настали. Продукт корозије је хемијски постојан ако се не распада и не реагује са околином. Хемијски непостојани продукти корозије често дају већи број слојева (нпр. оксидацијом бакра настају два слоја Cu_2O и CuO , а оксидацијом гвожђа настају три слоја FeO , Fe_2O_3 и Fe_3O_4).

2) Потребно је да продукти корозије добро приањају за површину метала. Да би се испунио овај услов потребно је да елементарна кристална ћелија продукта корозије, по димензији и величини, одговара елементарној ћелији метала. Из тог разлога, ни потпуно компактан слој одређеног продукта корозије не може имати заштитно дејство ако је осетљив на утицај средине или ако слабо приања за метал.

3) Потребно је да коефицијент термичке дилатације метала и продукта корозије буде подједнак. Уколико коефицијенти нису једнаки, при малим температурним променама доћи ће до већих унутрашњих напрезања и одвајања продукта корозије од површине метала. Оксиди и сулфиди загревањем се мање истежу него метали, тако да веће и нагле температурне промене проузрокују напрезања услед којих долази до љуштења продукта корозије.

4) Потребно је да продукт корозије буде компактан. Да би се овај услов испунио, потребно је да запремина мола продукта корозије (V_o) буде једнака или нешто већа од запремине мола метала (V_m) утрошеног за његово стварање.



Слика 2. Шематски приказ заштитних способности слоја корозионог продукта [3]

2.3 Јонске течности: дефиниција, својства, историја и примена

Јонска течност је со у течном стању. У неким случајевима, термин је ограничен на соли чија је тачка топљења испод одређене температуре, као што је $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Иако се уобичајене течности попут воде и бензина углавном састоје од електрично неутралних молекула, јонске течности се углавном састоје од јона и јонских парова. Ове супстанце се могу различито називати: течни електролити, јонске течности, спојене соли, течне соли или јонско стакло [5].

Јонске течности су течности са широким спектром могућности. Познате су као „растварачи будућности” и „дизајнерски растварачи”. Оне су моћни растварачи и електрични проводници течности (електролити). Соли које постају течне на собној температури, важне су за примену електричних батерија и сматрају се dobrim заптивним материјалима због њиховог веома ниског напона паре.

Свака со која се топи без декомпозиције или испаравања, обично даје јонску течност. Натријум хлорид се, на пример, топи на $801\text{ }^{\circ}\text{C}$ у течност која се углавном састоји од катјона Na^+ и анјона Cl^- . Насупрот томе, када се ова течност охлади, често се формира јонска чврста супстанца, која може бити или кристална или стаклена [5].

Јонска веза у солима је обично јача од Ван дер Ваалсових сила између молекула обичних течности. Из тог разлога, соли се топе на вишим температурама од чврстих молекулских једињења. Неке соли могу бити течности на собној или нижој од собне температуре.

Примери укључују једињења заснована на катјону 1–етил–3–метилимидазолиум (EMIM) и укључују: EMIM-Cl, EMIM-дицианамид, $C_2H_5CH_3C_3H_3N_2^+N(CN)_2^-$ који се топи на $-21^\circ C$, и 1–бутил–3,5–диметилпиридинијум бромид који постаје стакло на температури нижој од $-24^\circ C$.

Нискотемпературне јонске течности могу се упоређивати са јонским растворима, течностима које садрже и јоне и неутралне молекуле, а посебно то важи за такозване дубоке еутектичке раствараче, то јест смеше јонских и нејонских чврстих супстанци које имају веома ниже тачке топљења од чистих једињења. Одређене смеше нитратних соли могу имати тачке топљења ниже од $100^\circ C$ [5].

Термин „јонска течност” у општем смислу употребљен је већ 1943. године. Споран је датум откривања „прве” јонске течности, заједно са идентитетом њеног проналазача. Етаноламонијум нитрат (т.т. $52 - 55^\circ C$) забележили су 1888. године С. Габриел и Ј. Веинер (S. Gabriel, J. Weiner). Једна од најранијих јонских течности на собној температури била је етиламонијум нитрат $(C_2H_5)NH_3^+NO_3^-$ (т.т. $12^\circ C$), о чему је писао Паул Валден 1914. године (Paul Walden). Током седамдесетих и осамдесетих година 20. века, јонске течности засноване на алкил-супституисаним имидазолијумским и пиридинијумским катјонима, са халидним или тетрахалогеноалуминатним анјонима, развијане су као потенцијални електролити у батеријама.

Код имидазолијум халогеноалуминатних соли, њихова физичка својства, као што су вискозност, тачка топљења и киселост, могу се прилагодити променом алкилних супституената и односа имидазол/пиридиниум и халид/халогеноалуминат. Два главна недостатка за одређене захтеве су осетљивост на влагу и киселост/базност. Године 1992. Вилкес и Заваротко (Wilkes, Zawarotko) су направили јонске течности са „неутралним” слабир координационим анјонима као што је хексафлуорофосфат (PF_6^-) и тетрафлуороборат (BF_4^-) , омогућавајући много шири спектар примене.

2.3.1 Карактеристике јонске течности

Јонске течности се углавном сматрају за лоше проводнике електричне енергије, нејонизујуће (неполарне), високо вискозне и често показују низак напон паре. Њихова друга својства су разноврсна: многе имају ниску запаљивост, термички су стабилне, са

широком области флуидности и погодним растварајућим својствима за низ поларних и неполарних једињења.

Многе класе хемијских реакција могу се извести коришћењем јонских течности као растварача. Јонске течности могу, на пример, послужити као растварачи за биокатализу. Мешање јонских течности водом или органским растварачима варира са дужинама бочних ланаца на катјону и са избором анјона. Јони могу да се хидролизују, дајући киселе или базне јоне у воденој средини. Због својих карактеристичних својстава, јонске течности привлаче све већу пажњу на многим пољима, укључујући органску хемију, електрохемију, катализу, физичку хемију и биоинжењеринг [5].

Упркос изузетно ниским напонима паре ($\approx 10^{-10}$ Pa при 25 °C), неке јонске течности могу се дестиловати у вакумским условима на температурама близу 300 °C. Неке јонске течности (као што је 1–бутил–3–метилимидазолиум нитрат) стварају запаљиве гасове при термичком разлагању. Термичка стабилност и тачка топљења зависе од компоненти течности. Термичка стабилност јонске течности под називом бетаин-бис (трифлуорометансулфонил)-имид је до око 534 K, ан–бутил–n–Метил пиролидиниум-бис (трифлуорометансулфонил)-имид је термички стабилан до 640 K. Горње границе термичке стабилности јонских течности пријављене у литератури обично се заснивају на брзим TGA снимцима и не подразумевају дуготрајну термичку стабилност јонских течности (неколико сати), што је ограничено на ниже од 500 K за већину јонских течности.

Растворљивост различитих материја у имидазолијум јонским течностима зависи углавном од поларности и способности везивања водоника. Засићена алифатска једињења су углавном мало растворљива у јонским течностима, док олефини показују нешто већу растворљивост, а алдехиди могу бити потпуно растворени. Ово се може експлоатисати у двофазној катализи, што омогућава релативно лако одвајање производа од почетног супстрата. Растворљивост гаса прати исти тренд, где угљен-диоксид показује изузетну растворљивост у многим јонским течностима. Угљен-моноксид је мање растворљив у јонским течностима него у многим популарним органским растварачима, а водоник је само мало растворљив (сличан раствору у води) [5].

Јонске течности за собну температуру (RTILs) састоје се од гломазних и асиметричних органских катјона као што су 1-алкил-3-метилимидазолиум, 1-алкилпиридиниум, n-метил-n-алкилпиролидиниум и амонијумови јони. Фосфонијумски катјони су мање уобичајени, али нуде нека повољна својства. Користи се широк спектар анјона, који се крећу од једноставних халида, који углавном имају високе тачке топљења, до јона као што су тетрафлуороборат и хексафлуорофосфат, као и на велике органске анјоне као што су бистрифлимид, трифлат или тозилат. Постоје и многе потенцијалне употребе јонских течности са једноставним органским анјонима као што су формат, алкилсулфат, алкилфосфат или гликолат. Тачка топљења 1-бутил-3-метилимидазолиум тетрафлуоробората је око -80°C и то је безбојна течност са високим вискозитетом на собној температури. Ако се високо асиметрични катјон комбинује са високо асиметричним анјоном, формирана јонска течност се не може замрзнути до веома ниских температура (до -150°C), а температура прелаза до стакла је откривена на температурама испод -100°C у случају јонских течности са n-метил-n-алкилпиролидинијумским катјонима и флуоросулфонил-трифлуорометансулфонилимидом (FTFSI). Вода је честа нечистоћа у јонским течностима, јер се може апсорбовати из атмосфере и утиче на разна својства.

Јонске течности за ниске температуре (испод 130 K) су предложене као основа течности за телескоп са тешким огледалом изузетно великог пречника. Ниска температура је погодна за снимање дугог таласног инфрацрвеног светла које долази из најдаљег дела видљивог универзума (изузетно црвене промене). Оваква течност би била покривена танком металном фолијом која ствара рефлектујућу површину.

Полимеризоване јонске течности, поли (јонске течности) или полимерне јонске течности, све скраћено као ПИЛ, је полимерни облик јонских течности. Они имају половину количине јона у поређењу са јонским течностима, пошто је један јон фиксиран као полимерни део да би се формирао полимерни ланац. ПИЛ имају сличан опсег примене, упоредив са оним код јонских течности, али полимерна грађа пружа бољу могућност за контролу јонске проводљивости. ПИЛ су проширили примену јонских течности за дизајнирање паметних материјала или чврстих електролита.

Магнетне јонске течности могу се синтетизовати увођењем парамагнетних елемената у јоне јонских течности. Један пример је 1–бутил–3–метилимидазолиум тетрахлороферат [5].

2.3.2 Најважније примене јонских течности

1. Управљање гасом

Јонске течности су разматране за различиту индустријску примену. Њихова својства ниског напона паре, термичке стабилности и могућности широког спектра састојака и гасова, чине их популарним за складиштење и руковање гасом. Авио индустрија користи јонске течности, уместо цилиндара под притиском, као транспортни медиј за реактивне гасове трифлуороборан, фосфин и арсин. Гасови се растварају у течностима на или испод атмосферског притиска и лако се повлаче из контејнера применом вакуума. Произвођач гаса Линд (The Linde Group) користи ниску растворљивост водоника у јонским течностима да водоник под притиском од 450 бара пуни у пунилицама помоћу компресора од јонског течног клипа.

2. Обрада угља

Јонске течности, посебно јонске течности базиране на имидазолијуму, ефикасне су у припреми угља пре употребе у процесима пиролизе и гасификације. Претварање са јонским течностима проузрокује „отицање” структуре угља, омогућавајући бољу гасификацију.

3. Фармација

С обзиром да око 50% комерцијалних фармацеутских производа чине органске соли, истражене су јонске течне форме већег броја фармацеутских производа. Комбиновање

фармацеутски активног катјона са фармацеутски активним анионом доводи до дуалне активне јонске течности у којој се комбинују дејства два лека.

4. **Обрада целулозе**

Распршивање целулозе у јонским течностима привукло је интерес привреде. Патента из 1930. године показао је да 1–алкилпиридиниум хлориди растварају целулозу. „Валоризација” целулозе, тј. њено претварање у вредније хемикалије, постигнута је коришћењем јонских течности. Репрезентативни производи су естри глукозе, сорбитол и алкилгикозиди. Јонска течност 1–бутил–3–метилимидазолиум хлорид раствара замрзнуту сушену целулозу из банане. На тај начин може се пратити читав комплекс скроба, сахарозе, глукозе и фруктозе као функција зрења банана.

5. **Прерада нуклеарног горива**

Јонска течност 1–бутил–3–метилимидазолиум хлорид је испитивана као неводени електролит за прераду урана и других метала који садрже нуклеарна горива. Бетаин бис (трифлуорометансулфонил) је испитан као растварач за уранијум оксиде.

6. **Соларна топлотна енергија**

Јонске течности су потенцијални преносници топлоте и потенцијална складишта топлотне енергије соларних система. Концентришући соларни термални објекти као што су параболична канали и торњеви за соларну енергију, који фокусирају ту енергију на пријемник, могу генерисати температуру од око 600 °C. Ова топлота може онда генерисати електричну струју помоћу водене паре. За добијање енергије током облачног периода или преко ноћи, енергија се може чувати загревањем јонских течности. Иако су соли нитрата избор од раних осамдесетих година, они се замрзавају на 220 °C и на тај начин захтевају загревање како би се спречило очвршћавање. Јонске течности као што је $C_4^{mim}[BF_4]$ имају повољније распоне температуре течљивости од –75° до 459 °C и стога могу бити одлични за течно складиштење и као флуиди за пренос топлоте.

7. Рециклирање отпада

Јонске течности могу помоћи у рециклажи синтетичких производа, пластике и метала. Оне нуде специфичност која је потребна за одвајање сличних елемената једних од других, као што су раздвајање полимера у пластичном отпаду. Ово се постиже коришћењем ниже температуре екстракције и може помоћи у избегавању сагоревања пластике или одлагању на депонији.

8. Батерије

Јонске течности могу заменити воду као електролит у метал-ваздушним батеријама. Јонске течности су популарне због њиховог ниског напона паре, повећавајући животни век батерије због истовремено споријег сушења. Штавише, јонске течности имају електрохемијску стабилност до 6 V (наспрам 1,23V за воду). Могућа је снага батерије од 900 – 1600kWh по килограму.

9. Дисперзионо средство

Јонске течности могу деловати као средства за дисперзију у бојама за побољшање својстава завршне обраде, изгледа и сушења. Користе се и за дисперзију наноматеријала.

10. Абсорпција CO₂

Јонске течности су предложене као апсорбент у хватању CO₂. Оне имају различите предности у односу на традиционалне апсорбенте, као што су тренутно доминантне технологије засноване на амину.

11. Трибологија

Неке јонске течности су показале да смањују трење и хабање у основном триболошком тестирању и њихова поларна природа чини их кандидатима за подмазивање за триботронске примене. Иако релативно висока цена јонских течности тренутно спречава њихову употребу као обичних мазива, додавање јонских течности у концентрацијама нижим од 0,5 % теж. може значајно мењати учинке подмазивања конвенционалних базних уља. Дакле, садашњи фокус истраживања је на коришћењу јонских течности као адитива за уља, често уз мотивацију да се замене широко коришћени, али еколошки штетни адитиви за мазива. Међутим, захтевана еколошка предност јонских течности је више пута доведена у питање и тек је треба показати из перспективе животног циклуса.

12. Безбедност

Ниска испарљивост јонских течности ефикасно спречава њихово испаравање, то јест ослобађање у околину и контаминацију. Међутим, ово својство се разликује од токсичности. Акутна токсичност јонских течности је озбиљнија од многих растварача.

Упркос малом напону паре, многе јонске течности су запаљиве и због тога захтевају пажљиво руковање. Кратка изложеност пламену (5 до 7 секунди) може запалити неке јонске течности. Потпуно сагоревање је такође могуће за неке јонске течности [5].

2.4 Методе праћења корозије

Теоријски није могуће, често ни у једноставним случајевима, поуздано одредити брзину и механизам процеса корозије. Из тог разлога се примењују експериментална испитивања отпорности материјала према корозији. Велики број разноврсних метала и легура се користе у пракси, па је развијено и више метода за испитивање у различитим условима [6].

Настале промене услед дејства корозије се оцењују:

- визуелно,
- на основу промене масе и димензије,
- према уделу површине захваћене корозијом,

- металографском анализом структуре и вида разарања,
- утврђивањем промене механичких, физичких и експлоатацијских својстава.

Да би се ове методе користиле за оцену и добијање упоредивих резултата, потребно је да буду извршене према тачно утврђеним условима. Уколико дође до неког одступања, потребно је то навести. По правилу, испитивања корозије се изводе као упоредна, тј. испитивани материјал или корозиона средина и агенси корозије се упоређују са датим условима испитивања. Препоручује се примена референтних узорака или референтних раствора, чије је понашање познато у пракси. Важна ставка је да се пре испитивања одреде прави циљеви тог испитивања, као и да се одабере метод испитивања који ће бити најпогоднији за оцену оштећења од корозије. Испитивање било којом методом нам омогућује решавање низа практичних проблема, који се јављају када се ради о:

- правилном избору материјала, који је по својој отпорности према корозији најбољи у датим условима експлоатације,
- замени скупог и дефицитарног материјала јефтинијим и мање дефицитарним, а са довољном отпорношћу према корозији,
- правилном избору заштите од корозије,
- испитивању начина обраде и израде елемената,
- оцени квалитета примењеног система заштите,
- дијагностици оштећене опреме,
- агресивности неке средине.

За распознавање једноставних промена које настају услед дејства агенса корозије, довољан је визуелни опис промена на површини метала тј. квалитативни приказ нађених промена. У случају када је потребно открити узроке корозије и прописати адекватан поступак заштите, поред квалитативних, неопходно је имати и квантитативне показатеље, који се исказују мерним величинама, које су пропорционалне брзини корозије тј. напредовању процеса корозије са временом [6].

2.4.1 Показатељи брзине корозије

Један од основних параметара који показује корозијску стабилност метала и битан фактор који се узима у обзир при доношењу одлуке о његовој примени у одређеној средини је брзина корозије. Најчешће се изражава променом масе, дебљине, механичких и физичких својстава, или када су у питању електрохемијске методе, густином струје корозије [6].

Брзина корозија исказана преко губитка масе метала или легуре, израчунава се на основу израза:

$$\Delta m = (m_1 - m_2)/At ,$$

где су:

$\Delta m [g/m^2h]$ – губитак масе метала,

$m_1 [g]$ – маса метала пре корозије,

$m_2 [g]$ – маса метала после корозије,

$A [m^2]$ – површина метала и

$t [h]$ – време развоја корозије.

Уколико је познат састав издвојених продуката корозије, за израчунавање брзине корозије се користи израз:

$$\Delta m = n(m_1 - m_2)/At ,$$

где је n коефицијент за прерачунавање продуката корозије у масу метала.

Уколико приликом испитивања корозије долази до ослобађања гаса или се гас троши по јединици површине метала, брзина корозије се израчунава на основу израза:

$$K_{zapr} = V_0/At ,$$

где су:

$K_{zapr} [cm^3 cm^{-2} h^{-1}]$ – запремина гаса ослобођеног или утрошеног при корозији јединице површине метала, сведена на нормалне услове и

$V_0 [cm^3]$ – брзина корозије метала изражена преко запремине ослобођеног гаса.

Уколико су оштећења настала корозијом равномерна по читавој површини испитаног узорка, брзина корозије се може израчунати и као смањење дебљине $d[\text{mm/god}]$ у одређеном временском интервалу, преко израза:

$$d = \Delta m / A \rho t ,$$

где је $\rho[\text{gcm}^{-3}]$ густина метала.

Претходне једначине се примењују само када се ради о равномерној корозији, док се за друге облике корозије (неравномерна, интеркристална...), показатељи корозије изражавају преко промене механичких и физичких својстава:

$$K_{\sigma} = \sigma_0 - \frac{\sigma_1}{\sigma_0} \cdot 100 \% ,$$

$$K_R = R_0 - \frac{R_1}{R_0} \cdot 100 \% , \text{ за време } t ,$$

где су:

K_{σ} – показатељ корозије преко промене чврстоће метала,

$\frac{\sigma_1}{\sigma_0} [\text{MPa}]$ – чврстоћа метала пре и после испитивања корозије,

K_R – показатељ корозије метала преко промене електричне отпорности метала и

$R_0, R_1 [\Omega]$ – електрична отпорност метала пре и после испитивања.

Брзина корозије се може одредити и на основу густине струје корозије одређене електрохемијском методом, која се преко Фарадејевог закона користи за одређивање смањења дебљине, на основу израза:

$$V = 3,267 M \cdot \frac{j_{kor}}{n} \cdot \rho ,$$

где су:

$V[\text{mm/god}]$ – брзина корозије,

$M[\text{gmol}^{-1}]$ – моларна маса метала или еквивалентна маса легуре,

$\rho[\text{gcm}^{-3}]$ – густина метала и

n – број измењених електрона по једном одигравању пуне реакције.

Дубина и облик оштећења, појава прслина и њихова димензија одређују се металографским испитивањем. На основу одређене брзине корозије могу се испитивани

материјали разврстати према хемијској постојаности и могућој примени у условима корозије (табела 1).

Табела 1. Брзина корозије метала и оцена њихове постојаности [6]

	Метали и легуре	
Оцена хемијске постојаности	Брзина корозије[mm/god]	Примена
Врло постојан	< 0,1	Било која машина и апарат
Постојан	0,1 – 1,0	Једноставне конструкције
Релативно постојан	1,0 – 3,0	Замењиви делови
Непостојан	> 3,0	Често замењиви делови

2.4.2 Методе испитивања

Поделу испитивања можемо извршити према месту извођења на природна и лабораторијска, а методе на квантитативне и квалитативне. Избор методе зависи од сврхе испитивања и вида корозије.

2.4.3 Природна испитивања

Природна испитивања су дуготрајна и спроводе се у датој корозијској средини – у атмосфери, води, земљи, индустријским гасовима и течностима, при чувању и транспорту, као и анализом прикупљених података о понашању материјала у експлоатацији. Вид корозије који се најчешће јавља у овим условима је атмосферска корозија, њена брзина зависи од времена и спољних фактора атмосфере који су од значаја за процес корозије. На ток атмосферске корозије утичу образовани продукти корозије, као нова фаза у систему метал-атмосфера. Испитивања у природним условима на атмосферским корозијским станицама врло су заступљена, јер дају најреалније податке о отпорности материјала према

корозији. Број узорака се одређује зависно од броја планираних прегледа и накнадних анализа у лабораторији. Оцена отпорности материјала према корозији, испитиваних у природним условима, даје се на основу следећих показатеља:

- промене масе узорака,
- утврђивања састава продуката корозије,
- израчунавања Пилинг – Бедвортовог броја,
- питинг фактора (однос максималне дубине продирања корозије према просечној дубини продирања корозије),
- промене механичких својстава,
- микроскопских испитивања.

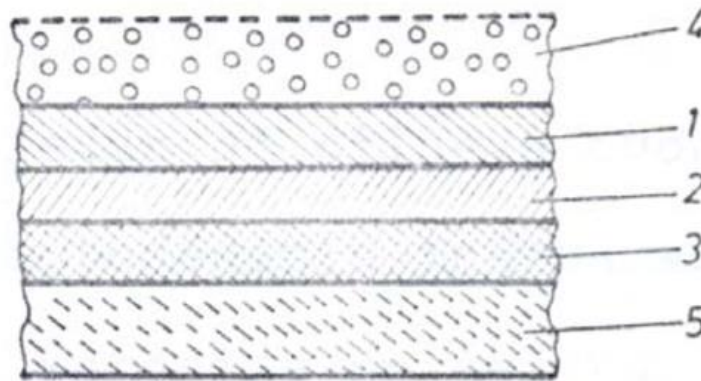
Како продукти корозије важно утичу на ток атмосферске корозије, врло је важно испитивање њиховог фазног, квалитативног и квантитативног састава [6].

Приликом процеса стварања продуката корозије на челику у атмосферској корозији пролази се кроз две фазе:

- I фаза – појава и раст тачкастих жаришта, која се завршава формирањем непрекидног слоја по читавој површини и
- II фаза – равномерни раст продуката по дебљини.

На брзину процеса корозије битно утичу релативна влажност и температура ваздуха, али незнатно утичу на фазни и хемијски састав продуката реакције. Пресудну улогу у формирању фазног и хемијског састава продуката корозије има загађеност атмосфере.

Слој продуката корозије на челику одликује се физичком и хемијском анизотропијом по дебљини. Осим по дебљини, анизотропија се јавља и по било којој равни продуката корозије, иако мање изражена. Општа шема структуре продуката корозије на челику по дебљини приказана је на слици. Први део слоја (спољни) представља део продуката корозије који се лако одстрањује механички помоћу челичне четке. Други део слоја (средњи) је компактан и одстрањује се са површине савијањем подлоге под углом од 90° у оба смера у односу на уздужну осу. Трећи део слоја (унутрашњи) чврсто приања уз подлогу тако да га је немогуће механички одстранити.



Слика 3. Шема структуре продуката корозије на челику по дебљини:

1 – спољни део слоја; 2 – средњи слој; 3 – унутрашњи подслој; 4 – изгубљени део слоја; 5 – метал [6]

Код природних испитивања веома је значајан визуелан преглед узорака пре, за време и после излагања дејству агресивне средине. Завршни визуелни преглед се изводи непосредно по завршеном испитивању, пре и после уклањања формираних чврстих продуката корозије са површине узорка.

Визуелним прегледом се утврђује:

- да ли је уопште дошло до корозије,
- да ли је она захватила читаву изложену површину или само њен део,
- да ли је корозија проузроковала измену облика или изгледа површине материјала,
- да ли су настали чврсти продукти корозије, које су боје, имају ли облик филма или љуски,
- да ли продукти корозије чврсто приањају за површину или не, да ли су влажни или суви, има ли по површини појаве мехурова, прслина, удубљења и других облика оштећења.

Осим овога може се пратити и фотографија узорка, чиме се повећава егзактност прегледа.

Поред тога се констатује се и:

- време протекло од почетка испитивања до појаве првих жаришта корозије на узорку, као и
- број жаришта и удео површине захваћене корозијом.

Поред визуелног прегледа, кородирани материјал обавезно подлеже анализи оптичким односно електронским микроскопом, односно, снимању морфологије продуката. Потврду визуелног прегледа даје микроскопско испитивање којим се утврђује постојање и дубина продирања тачкасте–питинг корозије, интеркристалне и селективне корозије и прелина од напонске корозије. За испитивање корозије визуелном методом могу да се користе и индикатори анодних и катодних површина на бази измене боје, а оштећења изазвана корозијом утврђују се различитим неразарајућим методама, попут пенетрантске, радиографске, ултразвучне, магнетске и електромагнетске [6].

2.4.4 Лабораторијска испитивања

Лабораторијска испитивања се убрзано изводе у лабораторији под условима у којима се материјал примењује или у којима се одигравају природни процеси корозије. Лабораторијска испитивања су кратка и у већини случајева дају веродостојне резултате при брижљивом избору узорак и строго дефинисаним условима испитивања. Електрохемијске методе, које се првенствено користе за изучавање кинетике и механизма корозијских процеса такође припадају групи лабораторијских испитивања. Испитивања треба изводити у контролисаним условима, и оно што је важно јесте упоредити добијене резултате са онима у пракси или резултатима природног испитивања.

За испитивање отпорности метала без и са заштитом према општој корозији у лабораторијским условима, користе се следеће методе:

- метода слане магле (распршивање раствора соли),
- метода влажне атмосфере,
- метода са SO_2 и CO_2 (вештачка атмосфера са малом концентрацијом гаса),
- метода наизменичног урањања у раствор натријум хлорида,
- метода континуалног урањања у раствор натријум хлорида.

➤ Метода слане магле

Ова метода представља убрзан процес корозије који проузрокује повећање температуре околне средине. То се постиже уз увођење у атмосферу неутралног раствора натријум

хлорида (NSS), неутралног раствора натријум хлорида са додатком сирћетне киселине (AASS) или неутралног раствора са додатком сирћетне киселине и бакар хлорида (CASS). Температура испитивања за NSS и AASS је $35 \pm 2^\circ\text{C}$, односно, $50 \pm 2^\circ\text{C}$ за CASS методу. Време за испитивање се дефинише према захтевима материјала или производа који се испитује. Капацитет коморе је од $0,2\text{ m}^3$ до $0,4\text{ m}^3$. Број узорака зависи од материјала или производа који се испитује. Након обраде и истека времена одређује се брзина корозије на основу губитка масе. Изглед коморе за ову врсту испитивања дат је на слици.



Слика 4. Изглед коморе за испитивање методом слане магле [6]

➤ **Метода влажне атмосфере**

Ова метода је уствари поступак убрзања процеса корозије повећањем релативне влажности ваздуха и температуре уз константно или периодично кондензовање влаге. Преглед узорака се врши пре, за време и после испитивања. Комора за ову врсту испитивања је слична комори за испитивања распршивањем слане магле, само што те могућности нема.

➤ **Метода са SO_2 и CO_2**

Ова метода је убрзање процеса корозије повећањем температуре и релативне влажности, при дејству гасовитог SO_2 или смеше SO_2 и CO_2 у одређеној концентрацији, уз константно

или периодично кондензовања влаге. Припрема узорака за испитивање, захтеви за њихово размештање у комори, периодични преглед током испитивања и преглед после завршеног испитивања су готово истоветни са захтевима који важе за претходно описане методе. На слици 7 је приказана комора за ово испитивање.



Слика 5. Изглед коморе за испитивање по методи SO_2 и CO_2 [6]

➤ **Метода наизменичног урањања у раствор натријум хлорида**

Принцип се заснива на излагању узорака наизменичном дејству раствора натријум хлорида и ваздуха и одређивању броја циклуса до појаве првих жаришта корозије и продуката корозије. Узорци не треба да додирују зидове и дно посуде тако да се постављају најмање 5 *cm* испод нивоа раствора. По завршеном испитивању оцена промена изазваних процесом корозије се изводи по истом принципу као и код осталих метода за испитивање опште корозије. Уређај за аутоматско урањање и држање узорака у атмосфери ваздуха по задатом програму испитивања дат је на слици.



Слика 6. Уређај за испитивање корозије наизменичним урањањем [6]

➤ **Метода континуалног урањања у раствор натријум хлорида**

Испитивања по овој методи суштински се не разликују од испитивања по методи наизменичног урањања. Једина разлика је у томе што се по овој методи узорци континуално држе у раствору предвиђено време, након чега се ваде и оцењују по описаном поступку.

➤ **Електрохемијске методе**

Ове методе представљају врло важне методе и изучавају кинетику и механизме процеса опште корозије у лабораторијским испитивањима. Лако дају резултате, лако се аутоматизују и обезбеђују механистичке информације у прилог квантификације корозијских процеса. Предност електрохемијских метода омогућен је новим теоријским сазнањима, брзином мерења, високом тачношћу мерења потенцијала и густине струје, могућношћу континуалног праћења корозијског процеса и одређивања механизма процеса корозије, а недостатак је у неопходности скупocene опреме, пратећег прибора и брижљиве припреме експеримента. Ове методе се могу класификовати према намени и врсти корозије за чије се проучавање примењују. Тако постоје методе за испитивање атмосферске, локалне, подземне, напонске корозије и корозије у раствору електролита. Две основне величине које карактеришу електрохемијске, односно, корозијске реакције су

потенцијал и струја. Према начину поларизације корозионог система деле се на стационарне и нестационарне методе. Све набројане технике могу се реализовати уз помоћ система приказаног на слици 9.



Слика 7. Систем за електрохемијска корозиона мерења [6]

2.5 ICP-MS метода

Индуктивно спојена плазма –атомска емисиона спектроскопија (ICP-AES), је аналитичка техника која се користи за детекцију хемијских елемената. То је врста емисионе спектроскопије која користи индуктивно спојену плазму за производњу активних атома и јона који емитују електромагнетно зрачење на таласним дужинама које су карактеристичне за одређени елемент. Интензитет ове емисије показује концентрацију елемента унутар узорка. Брзина корозије метала се може израчунати када се прати концентрација јона метала, одређено време у датом електролиту. Већа концентрација указује на више корозије. Анализа течног узорка са ICP – MS техником се може користити као први индикатор релативне корозивности, али сам ICP - MS није довољан за проучавање корозије. ICP - MS не даје никакве детаље везано за корозивни тип на површини челика [7].

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО

У експерименталном делу овог рада, испитивана је корозивност две јонске течности (релин и еталин) у додиру са четири техничка метала (челик, алуминијум, цинк, бакар). Корозивност је испитивана према стандарду ASTM D 2251 „Стандардна тест метода за праћење корозије метала у халогенованим органским растварачима и њиховим смешама“. Према стандарду је потребно извршити следеће [8]: полиране металне плочице се потапају у дату количину течности, загревају на одређену температуру и држе у затвореним посудама одређени број дана. У одређеним временским периодима, металне плочице се визуелно прегледају ради доказа о корозији.

3.1 Коришћен прибор при испитивању

При реализацији експеримената коришћен је следећи прибор:

- 1) 8 пластичних посуда истих димензија, запремине 100ml,
- 2) плочице бакра, цинка, челика и алуминијума. Површина плочица која је била изложена течности, је 10 cm².
- 3) папир за полирање финоће 600 и 1200,
- 4) медицински алкохол,
- 5) течности еталин и релин. У свакој посудици се налазило 40 ml течности.

3.2 Припрема електролита

Еталин се припрема тако што се помеша 140g холин хлорида са 120g етилен гликола. Након мешања у трајању од 1 сата, смеша постаје течна и може се налити у посуде. Релин се припрема тако што се помеша 140g холин хлорида са 120g урее и загреје на 60 °C. Након мешања и загревања у трајању од 1 сата, смеша постаје течна и може се налити у посуде, након чега остаје у течном стању.

3.3 Припрема површине метала

Пре урађања плочица у течности, потребно је плочице механички исполирати папиром за полирање и испрати медицинским алкохолом. Након тога се плочице урађају у безбојну течност еталина и релина.

3.4 Испитивање метала у јонским течностима

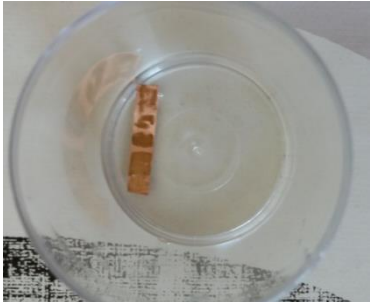
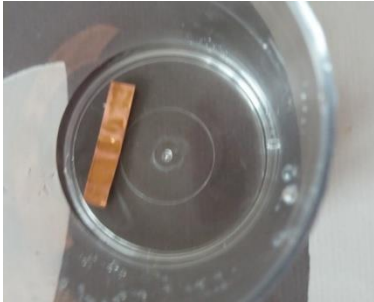
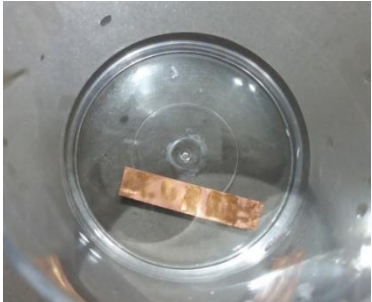
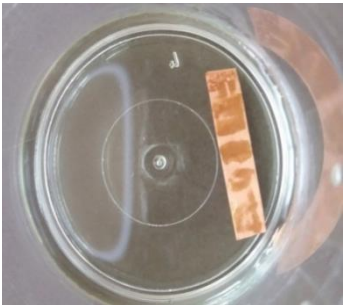
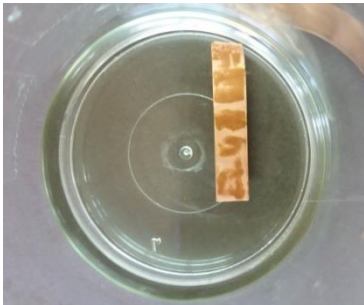
Испитивање метала је вршено у пластичним посудама са одговарајућим течностима. У свакој посуди се налазило 40 ml течности тако да су металне плочице биле потпуно урођене. Током испитивања посуде су биле заптивене и на константној температури од 30 °C, због одржавања електролита у течном стању. Посуде су отворане само приликом снимања узорка како би се дошло до резултата испитивања.

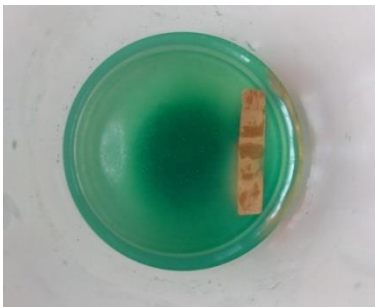
3.5 Праћење и снимање узорака

Узорци плочица се прате свакодневно, визуелна метода се примењује како би се уочиле настале промене. Снимање узорака се врши два пута дневно, како би се забележила свака видљива промена на плочици.

4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

4.1 Снимци плочица у различитим временским интервалима

БАКАР У ЕТАЛИНУ		
		
1. дан	до 5. дана	до 10. дана
		
до 15. дана	до 20. дана	до 25. дана
		
до 30. дана	до 35. дана	до 40. дана

		
до 45. дана	до 50. дана	до 55. дана
		
до 60. дана	до 70. дана	до 80. дана
		
до 90. дана	до 100. дана	до 120. дана
1. дан Површина плочице је механички исполирана папиром за шмирглање, испрана медицинским алкохолом и уроњена у безбојну течност (еталин), на собној температури. до 5. дана На површини метала нису уочене видљиве промене. Течност у коју је метал уроњен није променила боју. до 10. дана На површини метала су израженији прелази између црвенкасте и браон боје. Течност у коју је метал уроњен није променила боју. до 15. дана На површини метала су израженији прелази између црвенкасте и браон боје.		

Течност у коју је метал урођен није променила боју.

до 20. дана Површина метала је непромењена у односу на претходне дане, док течност полако губи безбојност.

до 25. дана Течност у коју је метал урођен је променила боју у светло смеђу. Нема промена на површини метала.

до 30. дана Течност у коју је метал урођен је постепено почела да добија тамно смеђу боју. Стање на површини метала је и даље исто.

до 35. дана Течност у коју је урођен метал је променила боју у светло зелену.

до 40. дана Течност у коју је урођен метал је добила изразито зелену боју.

до 45. дана Нема промена у боји течности, ни на површини плочице.

до 50. дана Течност у коју је урођен метал је зелене боје и на дну посуде уочљив је додатни зелени талог.

до 55. дана У посуду са плочицом све је уочљивији зелени талог у течности.

до 60. дана Течност у коју је урођен метал је изразито зелене боје, са талогом на дну посуде.

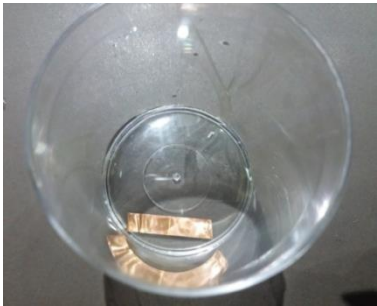
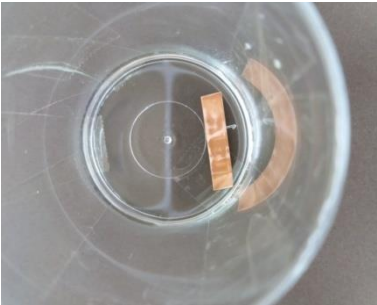
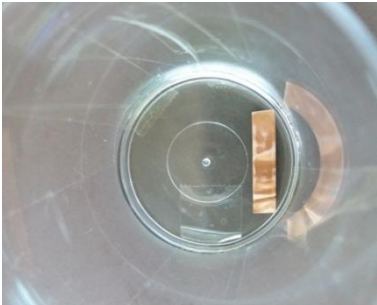
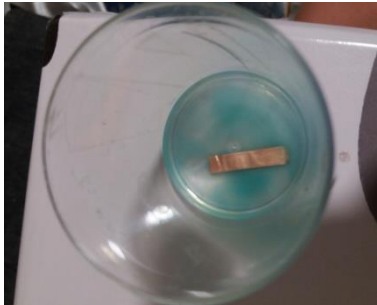
до 70. дана Течност у коју је урођен метал је тамно зелене боје, са израженим зеленим талогом по дну посуде и плочици.

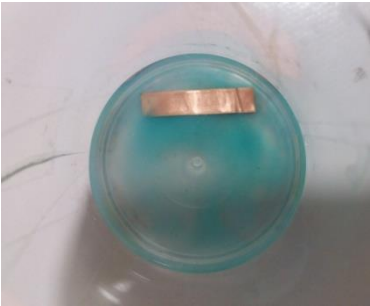
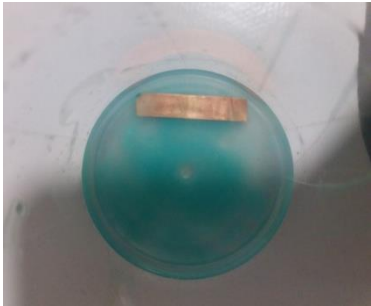
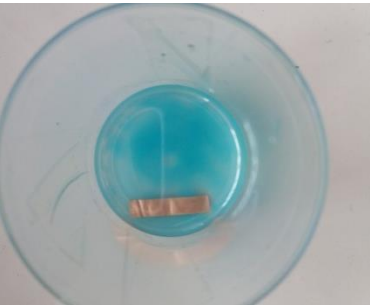
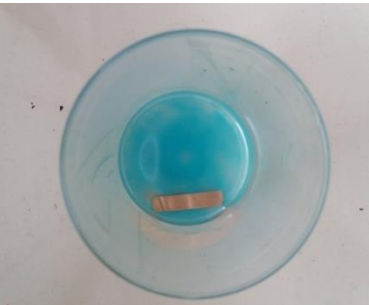
до 80. дана Течност у коју је урођен метал добија све тамније зелену боју. На површини плочице нема промена.

до 90. дана Течност у коју је урођен метал је тамно зелене боје. На површини плочице нема промена.

до 100. дана Течност у коју је урођен метал је тамно зелене боје и око плочице се створио густ талог.

до 120. дана Течност у коју је урођен метал је светлије боје, а плочица је слабо видљива због талоба који се створио у посуду.

БАКАР У РЕЛИНУ		
		
1. дан	до 5. дана	до 10. дана
		
до 15. дана	до 20. дана	до 25. дана
		
до 30. дана	до 35. дана	до 40. дана
		
до 45. дана	до 50. дана	до 55. дана

		
до 60. дана	до 70. дана	до 80. дана
		
до 90. дана	до 100. дана	до 120. дана
1. дан Површина плочице је механички исполирана папиром за шмирглање и испрана медицинским алкохолом. Релин у чврстом стању је загрејан док није постао течан, урођена је плочица и остављена на собној температури. до 5. дана На површини метала нису уочене видљиве промене. Течност у коју је метал урођен је безбојна. до 10. дана На површини метала нису уочене видљиве промене. Течност у коју је метал урођен није променила боју. до 15. дана На површини метала нису уочене видљиве промене. Течност у коју је метал урођен није променила боју. до 20. дана На површини метала су уочљиве промене у виду огреботина. Течност није променила боју. до 25. дана На површини метала су уочљивије огреботине. Течност није променила боју. до 30. дана Течност у коју је метал урођен почиње да добија благо смеђе-жућу боју. до 35. дана Течност у коју је метал урођен почиње да мења боју у благо плаво.		

до 40. дана Течност у коју је уроњен метал је добила плавичасту боју. На површини плочице нема промена.

до 45. дана Нема промена у боји течности, ни на површини плочице.

до 50. дана Нема промена у боји течности, ни на површини плочице.

до 55. дана Течност у коју је уроњен метал је плавичасте боје, са талогом на дну посуде.

до 60. дана Течност у коју је уроњен метал је плаве боје, са талогом на дну посуде.

до 70. дана Око метала у посуди се створио талог плаве боје.

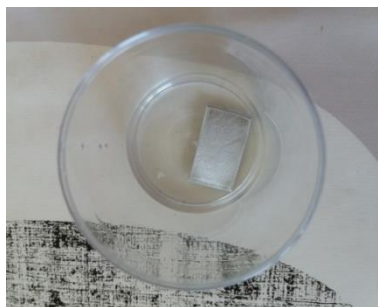
до 80. дана Течност у коју је уроњен метал је изразито плаве боје и видљив је талог око плочице метала.

до 90. дана Течност у коју је уроњен метал је тиркиз плаве боје. На површини метала нема промена.

до 100. дана Течност у коју је уроњен метал је тиркиз плаве боје. На површини метала нема промена.

до 120. дана Течност у коју је уроњен метал је тиркиз плаве боје, а плочица је окружена плавичастим талогом у посуди.

АЛУМИНИЈУМ У ЕТАЛИНУ



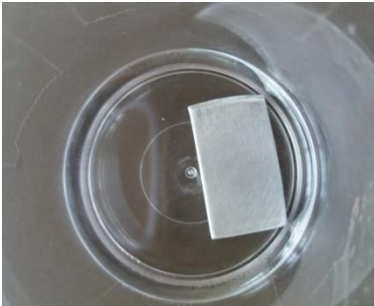
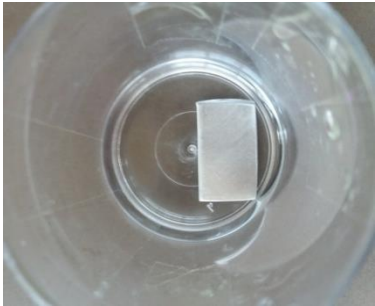
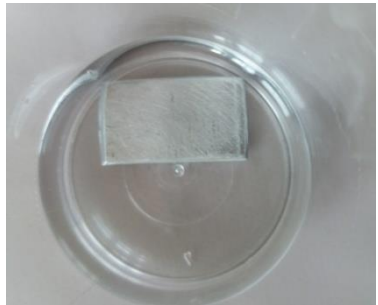
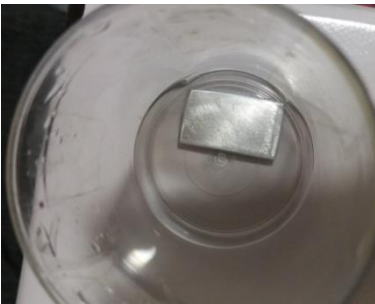
1. дан

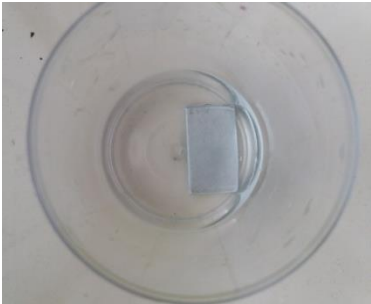


до 5. дана



до 10. дана

		
до 15. дана	до 20. дана	до 25. дана
		
до 30. дана	до 35. дана	до 40. дана
		
до 45. дана	до 50. дана	до 55. дана
		
до 60. дана	до 70. дана	до 80. дана

		
до 90. дана	до 100. дана	до 120. дана
1. дан Површина плочице је механички исполирана папиром за шмирглање, испрана медицинским алкохолом и урођена у безбојну течност (еталин), на собној температури. до 5. дана Течност у коју је урођен метал не показује промену боје. Нема ни промена на површини плочице. до 10. дана Течност у коју је урођен метал не показује промену боје. Нема ни промена на површини плочице. до 15. дана Течност у коју је урођен метал не показује промену боје. На површини плочице уочљиве су пукотине, сличне огреботинама. до 20. дана Течност у коју је урођен метал није променила боју. На површини плочице нема нових промена. до 25. дана Течност у коју је урођен метал није променила боју. На површини плочице су се појавиле благе огреботине. до 30. дана Површина плочице је на ћошковима добила тамнију боју, а огреботине и пукотине су израженије. до 35. дана На површини плочице нема нових промена. Течност је и даље безбојна. до 40. дана На површини плочице су све више уочљиве пукотине и огреботине. до 45. дана Течност не мења боју. Пукотине и огреботине јасно уочљиве. до 50. дана Течност не мења боју. Пукотине и огреботине јасно уочљиве. до 55. дана Течност не мења боју. Пукотине и огреботине јасно уочљиве. до 60. дана Течност не мења боју. Пукотине и огреботине јасно уочљиве. до 70. дана На површини плочице су уочљиве тамне пукотине, а огреботине делују дубље и израженије. до 80. дана Течност у коју је урођен метал је и даље безбојна, а површина плочице је		

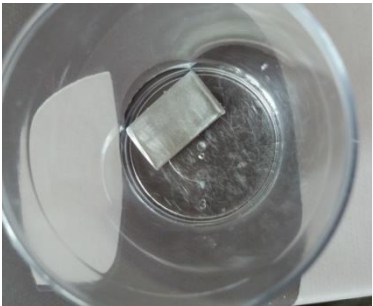
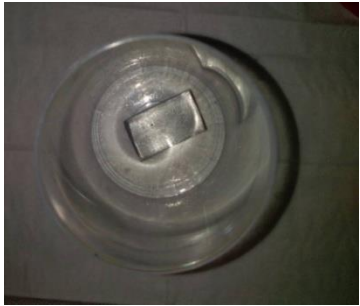
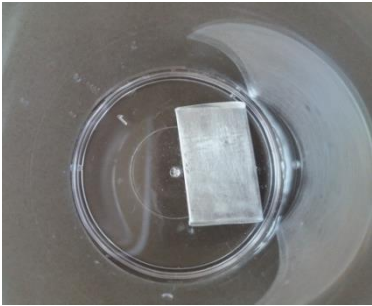
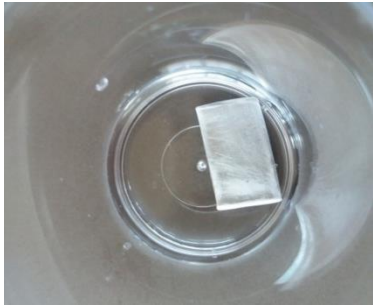
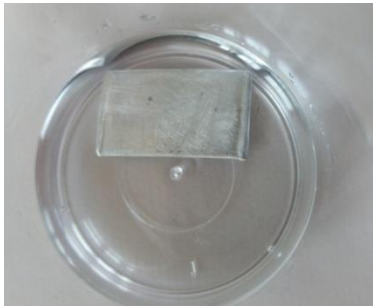
прекривена мрежом огреботина и пукотина.

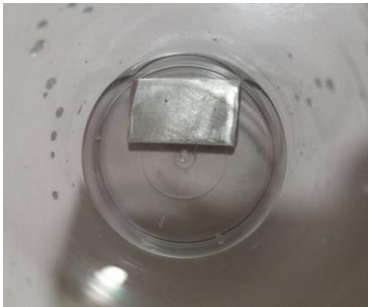
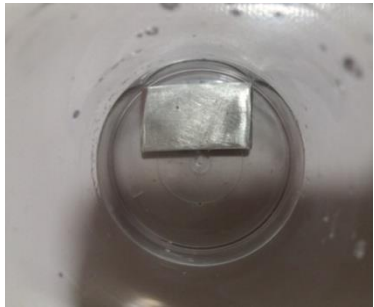
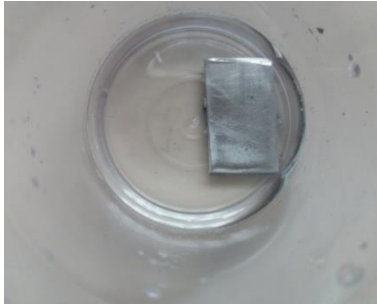
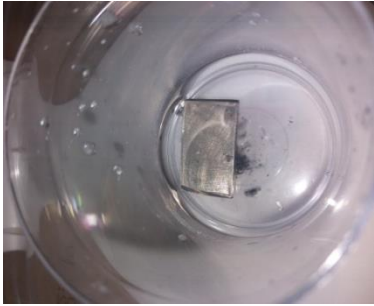
до 90. дана Течност у коју је урођен метал је и даље безбојна, на површини плочице нема нових промена.

до 100. дана Нема промена у односу на претходни период.

до 120. дана На плочици су уочљиве пукотине и огреботине, као и тамне насlage на металу, док течност није показала знаке промене боје до краја експеримента.

АЛУМИНИЈУМ У РЕЛИНУ

		
1. дан	до 5. дана	до 10. дана
		
до 15. дана	до 20. дана	до 25. дана
		
до 30. дана	до 35. дана	до 40. дана

		
до 45. дана	до 50. дана	до 55. дана
		
до 60. дана	до 70. дана	до 80. дана
		
до 90. дана	до 100. дана	до 120. дана
1. дан Површина плочице је механички исполирана папиром за шмирглање и испрана медицинским алкохолом. Релин у чврстом стању је загрејан док није постао течан, уроњена је плочица и остављена на собној температури. до 5. дана Нема промена ни у боји течности, ни на површини плочице. до 10. дана На површини плочице појавиле су се тачкасте промене, у виду светлих мрља по металу. до 15. дана Течност у коју је уроњен метал није променила боју. На површини плочице		

нема нових промена.

до 20. дана Површина плочице, поред светлих мрља, почиње да тамни на појединим местима.

до 25. дана Течност у коју је уроњен метал је безбојна, површина плочице тамнија на појединим деловима.

до 30. дана Мрље на површини плочице су тамније, док је течност у коју је уроњен метал и даље безбојна.

до 35. дана На површини плочице, поред тамних мрља, уочљиве су и огреботине.

до 40. дана Мрље на површини плочице су јасне и тамне, огреботине такође још израженије.

до 45. дана Течност није променила боју. Површина плочице прекривена црним мрљама, огреботинама и пукотинама.

до 50. дана На површини плочице се појавило још мрља и огреботина.

до 55. дана Нема нових промена у боји течности, ни на површини плочице.

до 60. дана Нема нових промена у боји течности, ни на површини плочице.

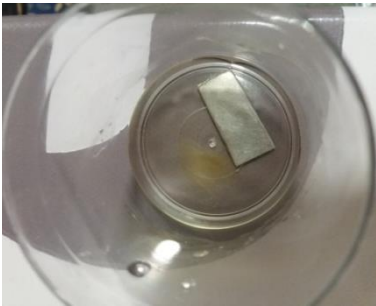
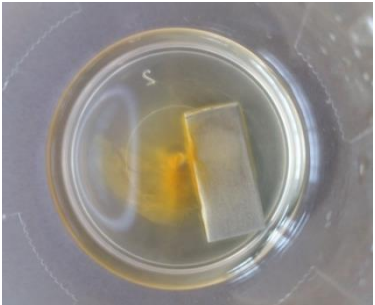
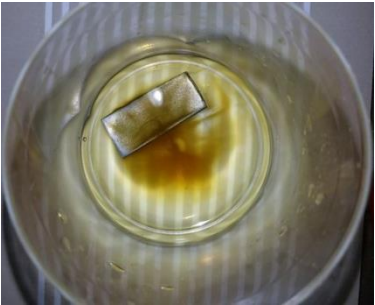
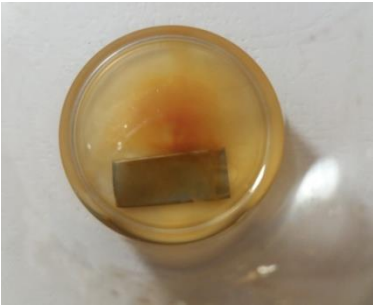
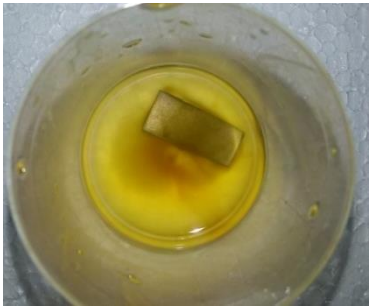
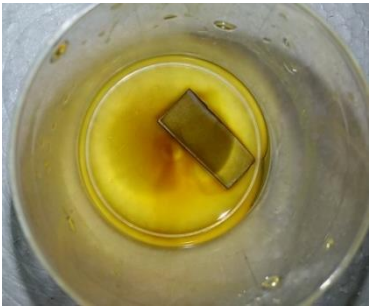
до 70. дана Нема нових промена у боји течности, ни на површини плочице.

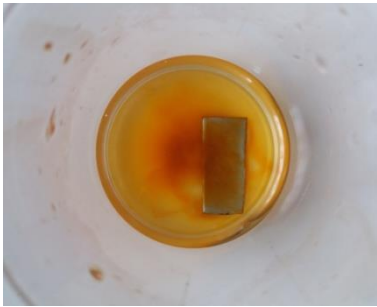
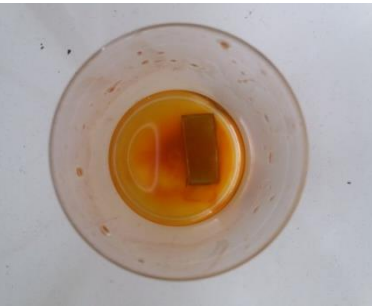
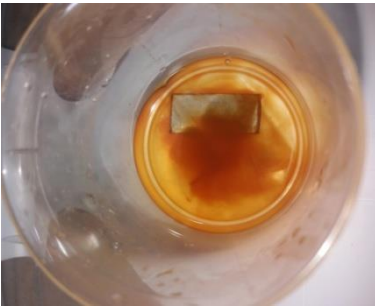
до 80. дана Нема нових промена у боји течности, ни на површини плочице.

до 90. дана Нема нових промена у боји течности, ни на површини плочице. Испод плочице уочава се талог.

до 100. дана На површини плочице поједини делови су потамнели, мрље и огреботине су јасно уочљиве. На дну посуде уочљив је и сиви талог.

до 120. дана Течност до краја није променила боју. Видљива су само површинска оштећења метала и сиви талог на дну посуде, који подсећа на металне мрвице.

ЧЕЛИК У ЕТАЛИНУ		
		
1. дан	до 5. дана	до 10. дана
		
до 15. дана	до 20. дана	до 25. дана
		
до 30. дана	до 35. дана	до 40. дана
		
до 45. дана	до 50. дана	до 55. дана

		
до 60. дана	до 70. дана	до 80. дана
		
до 90. дана	до 100. дана	до 120. дана
1. дан Површина плочице је механички исполирана папиром за шмирглање, испрана медицинским алкохолом и уроњена у безбојну течност (еталин), на собној температури. до 5. дана У посуди се појавио благо жућкаст талог около плочице, док на металу нема промена. до 10. дана Нема промена у односу на претходни период. до 15. дана Талог око плочице метала је добио жуту боју и шири се у течности. до 20. дана Талог око плочице метала прелази из жуте у благо наранџасту боју и шири се у течности. На површини плочице уочљиве су тачкасте промене и мрље. до 25. дана Талог око плочице метала прелази из благо наранџасте у црвенксто-браон боју и шири се у течности. На површини плочице нема нових промена. до 30. дана Талог око плочице се све више шири по течности. до 35. дана Талог око плочице метала је браон боје. На површини плочице уочљиве су тачкасте пукотине. до 40. дана Течност у коју је уроњен метал је добила благо наранџасту боју, због талоба		

који се шири око плочице.

до 45. дана Боја течности варира између жућкасте и наранџасте боје.

до 50. дана Течност не мења боју. Површина плочице тамни због талог.

до 55. дана Течност не мења боју. Талог око плочице шири се по течности.

до 60. дана Течност не мења боју. Талог око плочице шири се по течности. Ивице плочице делују благо искрзано.

до 70. дана Нема нових промена у односу на претходни период.

до 80. дана Течност у коју је уроњен метал је испуњена талогом, који скоро потпуно прекрива плочицу.

до 90. дана Течност у коју је уроњен метал је испуњена талогом и црвенкасто-наранџасте је боје. Ивице плочице као да су изгубиле оштрину и делују искрзано.

до 100. дана Тачкасте пукотине на површини плочице нису видљиве од талог који је испунио течност.

до 120. дана Течност је наранџасте боје, са густим талогом око плочице. Ивице плочице су тамније од остатка плочице и делују искрзано. По површини плочице могу се уочити тачкасте пукотине.

ЧЕЛИК У РЕЛИНУ



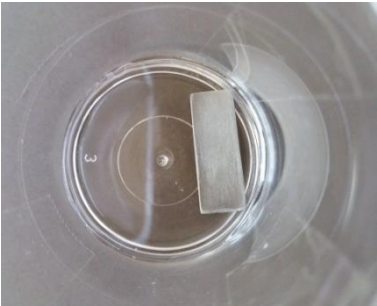
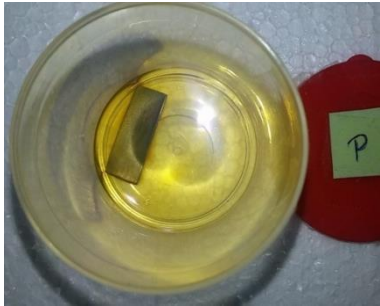
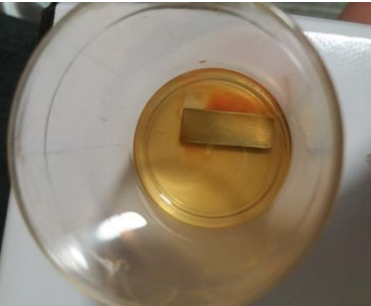
1. дан

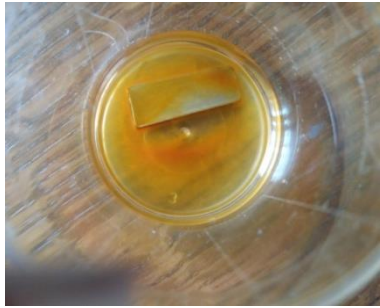
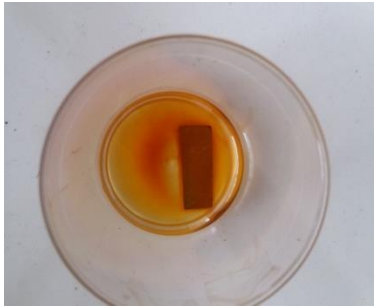
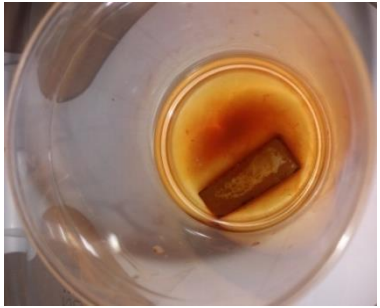


до 5. дана



до 10. дана

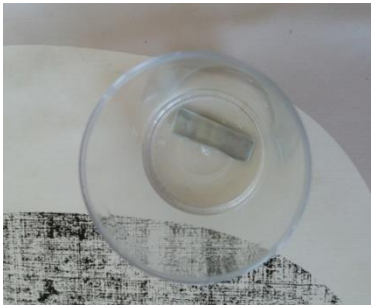
		
до 15. дана	до 20. дана	до 25. дана
		
до 30. дана	до 35. дана	до 40. дана
		
до 45. дана	до 50. дана	до 55. дана
		
до 60. дана	до 70. дана	до 80. дана

		
до 90. дана	до 100. дана	до 120. дана
1. дан Површина плочице је механички исполирана папиром за шмирглање и испрана медицинским алкохолом. Релин у чврстом стању је загрејан док није постао течан, уроњена је плочица и остављена на собној температури. до 5. дана Нема видљивих промена на површини плочице, ни у боји течности. до 10. дана Нема видљивих промена на површини плочице, ни у боји течности. до 15. дана Нема видљивих промена на површини плочице, ни у боји течности. до 20. дана На површини плочице уочљиви су благо тамнији делови. до 25. дана Течност у коју је уроњена плочица почиње да губи безбојност. до 30. дана Течност у коју је уроњена плочица добила је светло смеђу боју. На површини плочице уочљиве ситне огреботине. до 35. дана Нема промена у боји течности, ни на метал у односу на претходни период. до 40. дана Течност у коју је уроњена плочица добила је смеђу боју. до 45. дана Течност у коју је уроњена плочица добила је жућкасту боју. На површини плочице уочљиве тачкице и огреботине. до 50. дана Нема промена у боји течности, ни на метал у односу на претходни период. до 55. дана Течност у коју је уроњена плочица опет добија смеђу боју, при чему се око плочице створио наранџаст талог. до 60. дана Талог око плочице почиње да се шири по течности. до 70. дана Нема нових промена у течности, ни на површини плочице. до 80. дана У течности преовладава наранџаст талог. На површини плочице су видљиве тамне тачке и огреботине. до 90. дана Талог око плочице се све више шири по течности. до 100. дана Талог преовладава у течности и прекрива метал, а сада су уочљиве и тамне		

наслаге по ивицама плочице.

до 120. дана У течности преовладава наранџаст талог. Део талога се залепио на површину плочице и створио браон слој. Ивице плочице су прекривене тамним мрљама и делујују благо искрзане.

ЦИНК У ЕТАЛИНУ

		
1. дан	до 5. дана	до 10. дана
		
до 15. дана	до 20. дана	до 25. дана
		
до 30. дана	до 35. дана	до 40. дана

		
до 45. дана	до 50. дана	до 55. дана
		
до 60. дана	до 70. дана	до 80. дана
		
до 90. дана	до 100. дана	до 120. дана
1. дан Површина плочице је механички исполирана папиром за шмирглање, испрана медицинским алкохолом и уроњена у безбојну течност (еталин), на собној температури. до 5. дана Нема промена ни у боји течности, ни на површини плочице. до 10. дана Нема промена ни у боји течности, ни на површини плочице. до 15. дана Нема промена ни у боји течности, ни на површини плочице. до 20. дана Нема промена ни у боји течности, ни на површини плочице. до 25. дана Нема промена ни у боји течности, ни на површини плочице.		

до 30. дана Течност је и даље безбојна. По ободу плочице видљиве су тачкасте промене.

до 35. дана По ободу плочице су још израженије тачкасте промене.

до 40. дана Површина плочице благо тамни. По ободу плочице су уочљиве црне тачкице.

до 45. дана На површини плочице уочљиве су тачкасте пукотине и огреботине.

до 50. дана На површини плочице уочљиве су тачкасте пукотине и огреботине. Течност је и даље безбојна.

до 55. дана Нема промена у односу на претходни период.

до 60. дана Тачкасте пукотине по ободу плочице су још израженије, а површина плочице је потамнела. Течност је и даље безбојна.

до 70. дана Нема промена у односу на претходни период.

до 80. дана Нема промена у односу на претходни период.

до 90. дана Површина плочице је још тамнија. Течност почиње да губи безбојност.

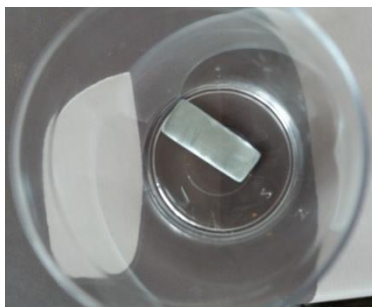
до 100. дана Површина плочице је још тамнија. Видљиве су тамне тачке и огреботине. Течност и даље губи безбојност.

до 120. дана Плочица је доста тамнија него на почетку огледа, по ободу су тачкасте пукотине и огреботине. Течност је добила благо смеђу боју.

ЦИНК У РЕЛИНУ



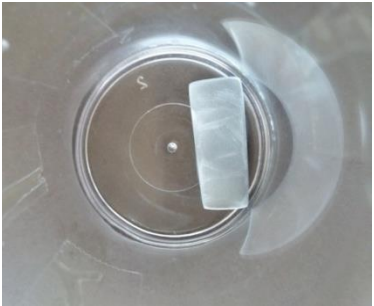
1. дан

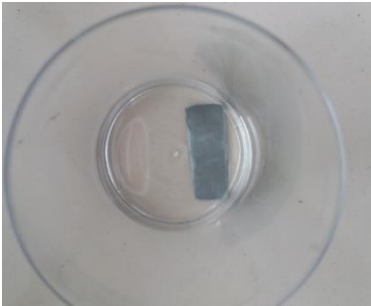


до 5. дана



до 10. дана

		
до 15. дана	до 20. дана	до 25. дана
		
до 30. дана	до 35. дана	до 40. дана
		
до 45. дана	до 50. дана	до 55. дана
		
до 60. дана	до 70. дана	до 80. дана

		
до 90. дана	до 100. дана	до 120. дана
1. дан Површина плочице је механички исполирана папиром за шмирглање и испрана медицинским алкохолом. Релин у чврстом стању је загрејан док није постао течан, урођена је плочица и остављена на собној температури. до 5. дана Нема видљивих промена на површини плочице, ни у боји течности. до 10. дана Нема видљивих промена на површини плочице, ни у боји течности. до 15. дана Нема видљивих промена на површини плочице, ни у боји течности. до 20. дана Нема видљивих промена на површини плочице, ни у боји течности. до 25. дана Течност је и даље безбојна. На површини плочице су уочљиве благе огреботине. до 30. дана Нема промена у боји течности, ни на металу у односу на претходни период. до 35. дана Нема промена у боји течности, а на површини плочице почињу да се уочавају тачкасте промене. до 40. дана На површини плочице уочљиве су тачкице и огреботине. Течност је и даље безбојна. до 45. дана Нема промена у боји течности, а на површини плочице израженије су тачкице и огреботине. до 50. дана Нема промена у боји течности, ни на металу у односу на претходни период. до 55. дана Нема промена у боји течности, ни на металу у односу на претходни период. до 60. дана Нема промена у боји течности, ни на металу у односу на претходни период. до 70. дана Течност је и даље безбојна. По целој површини плочице уочљиве су тамне тачке и огреботине. до 80. дана По површини плочице почиње да се ствара додатни тамнији слој, који је прошаран тамним тачкама и огреботинама.		

до **90. дана** Површина плочице је тамнија. Течност је и даље безбојна.

до **100. дана** Плочица је још тамнија, а огреботине и тачке још израженије.

до **120. дана** Течност је до краја остала безбојна, док се на површини плочице створио таман слој који подсећа на талог. Цела површина плочице је у огреботинама и тачкастим пукотинама.

4.2 Дискусија резултата

Корозија **бакра** у еталину и релину се прво примећује на површини метала, тако што се јављају различите нијансе црвене боје. За то је потребно 10 дана у еталину, односно 20 дана у релину. Након промена на површини, услед корозије бакра мења се и боја течности: смењују се смеђа, зелена и плава боја, које одговарају боји различитих комплексних јона бакра. За промену боје течности потребно је 20 дана у еталину, односно 30 дана у релину. Можемо закључити да бакар брже кородира у еталину у поређењу са релином.

Корозија **алуминијума** се примећује као промене на површини метала, и то прво у релину (након 10 дана) а касније у еталину (након 15 дана). За разлику од бакра, где се примећује општа корозија, код алуминијума је присутна питинг, локална корозија. Она се види у облику пукотина и огреботина у еталину, односно у облику тачкица у релину. У случају алуминијума нема промене боје течности, што значи да комплексни јони које ствара алуминијум, су безбојни. Можемо закључити да алуминијум брже кородира у релину у поређењу са еталином.

Корозија **челика** у еталину се примећује као промена боје течности, већ након 5 дана. Течност добија карактеристичну боју рђе, али површина плочице не показује промене. То значи да метал брзо ослобађа јоне у општој корозији, али се продукти не задржавају већ брзо путују у течност. Са друге стране, у релину се примећују продукти корозије, али касније (након 20 дана), док се промена боје може видети након 25 дана. Може се закључити да је еталин много корозивнији за челик од релина, и да је челик најмање отпоран од свих испитиваних метала.

Корозија **цинка** се одиграва веома слично корозији алуминијума. Прво се примећују локални знаци корозије (тачке, линије, огреботине) и то након 30 дана у еталину односно 25 дана у релину. Може се закључити да је цинк најотпорнији од 4 испитивана метала, у еталину и релину.

5. ЗАКЉУЧАК

У овом раду кроз експеримент су испитиване 4 различите врсте метала (бакар, челик, алуминијум и цинк) у 2 различите течности (релин и еталин). Визуелном методом према стандарду ASTM D 2251 праћене су свакодневно промене које ће се појавити на узорку или течности. Након више од 100 дана праћења направљена је упоредна анализа резултата и појава које су се јављале током експеримента.

Дошло се до закључка да је најотпорнији метал цинк који је тек након 25 дана показао неке промене на плочици, а течност је остала непромењена. Најмање отпоран метал при овом испитивању је челик код којег је већ након 5 дана дошло до неких промена у еталину, док је у релину нешто касније дошло до промена.

Што се тиче алуминијума након 10 дана је дошло по првих појава питинг корозије, а промене у течности нису биле присутне. Код четвртог материјала који је испитиван, а то је бакар може се закључити да је до промена на површини метала дошло након 10 дана, а до промена у течности након 20 дана.

До наведених закључака се дошло на основу праћења визуелном методом, на основу које се могло јасно приметити када је која појава настала. Такође је важно било правилно припремити површине плочица као и електролит, пре почетка експеримента како би он био успешан и како би се дошло до потребних резултата.

6. ЛИТЕРАТУРА

1. <http://scindeks.ceon.rs/article.aspx?artid=1451-93720603181P>
2. <http://uvidok.rcub.bg.ac.rs/bitstream/handle/123456789/1672/Doktorat.pdf?sequence=1>
3. Вујичић, *Корозија и технологија заштите метала*, Војна академија, Београд, 2002.
4. http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=galvanic_corrosion
5. A. Kokorin, *Ionic liquids: theory, properties, new approaches*, InTech, Rijeka, 2011.
6. М. Стојановић, *Методе за оцену отпорности према корозији метала у различитим условима експлоатације*, Integritet i vek konstrukcija 7 (2007) 71–78.
7. В. Ђоровић, Ј. Антић, С. Кочовић, М. Радић, *Заштита од корозије у аутоиндустрији*, Крагујевац, 2002.
8. ASTM D 2251, *Standard test method for metal corrosion by halogenated organic solvents and their admixtures*