

VJEŽBA 1

1.1. NAZIV VJEŽBE: Elektrokatalitički procesi

- **Preddiplomski studij (KI, EI, PK, KIM)**

CILJ

Cilj ove vježbe je stjecanje novih znanja iz područja kinetike elektrokemijskih reakcija i elektrokatalize te savladavanje elektrokemijskih tehnika poput metode linearne polarizacije i elektrokemijske impedancijske spektroskopije.

OPIS VJEŽBE

Kako bi se procesi koji se odvijaju u gorivnim člancima približili studentima ova vježba uključuje provođenje elektrokemijskih reakcija u troelektrodnom sustavu. Pri tome će se koristiti različiti elektrodni materijali na kojima će se pratiti brzina razvijanja vodika iz čega će se izvoditi zaključci o tome koji materijal je najpogodniji za promatranu reakciju odnosno koji materijal pokazuje elektrokatalitička svojstva. Osim toga studenti će se upoznati i s različitim eksperimentalnim tehnikama, poput linearne polarizacije i elektrokemijske impedancijske spektroskopije uz pomoć kojih će odrediti kinetički parametri karakteristični za elektrokemijsku reakciju (struja, polarizacijski otpor, otpor prijelazu naboja i prenapon). Eksperimentalni podaci dobiveni metodom elektrokemijske impedancijske spektroskopije usklađivat će se s određenim matematičkim modelima kako bi se konstruirao električni ekvivalentni krug koji opisuje ispitivani sustav te kako bi se odredile vrijednosti parametra električnog ekvivalentnog kruga.

ISHODI UČENJA

- demonstrirati jednostavan elektrokemijski eksperiment i analizirati dobivene podatke
- upotrijebiti osnovne elektrokemijske koncepte i relacije u analizi elektrokemijskih procesa
- objasniti ulogu elektrode u procesu katalize
- ukazati na značaj odabira elektrodnog materijala u procesu elektrolize te kod elektrokemijskih spremnika i pretvornika energije

1.1. NAZIV VJEŽBE: Elektrokemijski izvori energije – Gorivni članci

- **Diplomski studij (KI, EI, PK, KIM)**

CILJ

Cilj ove vježbe je upoznati studente s osnovnim principom rada gorivnih članaka te im ukazati na značaj gorivnih članaka kako u području elektrokemijskih izvora energije tako i u području obnovljivih izvora energije. Isto tako cilj ove vježbe je upoznati studente s metodom elektrokemijske impedancijske spektroskopije.

OPIS VJEŽBE

Studenti će provoditi elektrokemijska ispitivanja u dvoelektrodnom sustavu odnosno ispitat će gorivni članak metodom elektrokemijske impedancijske spektroskopije kod potencijala otvorenog kruga te kod različitih opterećenja kako bi se detektirali proces koji se odvijaju na elektrodama te odredili parametri karakteristični za navedene procese. Ispitivanje će se provoditi za jedan gorivni članak ili za sustav s više gorivnih članaka spojenih u seriju ili paralelu. Eksperimentalni podaci dobiveni metodom elektrokemijske impedancijske spektroskopije usklađivat će se s određenim matematičkim modelima kako bi se konstruirao električni ekvivalentni krug koji opisuje ispitivani sustav te kako bi se odredile vrijednosti parametra električnog ekvivalentnog kruga.

Praćenjem struje i napona kod različitih opterećenja studenti će konstruirati struja-napon karakteristiku te odrediti točku maksimalne snage.

Za napajanje gorivnog članka vodikom koristiti će se različiti izvori vodika: 1) spremnik vodika temeljen na metalnom hidridu, 2) vodik dobiven elektrolizom vode uz bateriju/ispravljač kao izvor napajanja ili 3) vodik dobiven elektrolizom vode uz fotonaponsku ćeliju kao izvor napajanja. Ispitivanje će se provoditi uz napajanje pozitivnog pola gorivnog članka kisikom ili zrakom pri čemu će se odrediti kako sastav plina utječe na strujno naponsku karakteristiku gorivnog članka i djelotvornost procesa.

ISHODI UČENJA

- navesti vrste gorivnih članaka, objasniti princip rada gorivnog članka i navesti njegove osnovne dijelove
- argumentirati prednosti i nedostatke gorivnih članaka u odnosu na ostale elektrokemijske izvore energije
- opisati reakcije na anodi i katodi

- objasniti i implementirati relaciju koja povezuje napon, snagu i djelotvornost gorivnog članka
- izračunati ravnotežni potencijal te objasniti odnos potencijala, prenapona i napona
- objasniti kako spajanje gorivnih članaka u seriju ili paralelu utječe na strujno-naponsku karakteristiku i snagu
- opisati načine dobivanja vodika te navesti i argumentirati njihove prednosti i nedostatke s obzirom na proizvodnju, skladištenje, distribuciju i čistoću

VJEŽBA 2

2.1. NAZIV VJEŽBE: Elektrokemijski izvori energije - Superkondenzatori

- **Prediplomski studij (KI, KIM, PK)**

CILJ

Cilj ove vježbe je stjecanje novih znanja o superkondenzatorima, savladavanje procesa njihove izrade te njihova karakterizacija u dvoelektrodnom sustavu korištenjem elektrokemijskih tehnika poput cikličke voltametrije, kronopotencimetrije i elektrokemijske impedancijske spektroskopije.

OPIS VJEŽBE

Najčešći dizajn modernih superkondenzatora pored separatora i elektrolita sadrži i dvije ugljične elektrode identičnog sastava. Prilikom izrade elektroda mogu se koristiti različiti udjeli aktivnog ugljika, vodljivog aditiva i veziva čime se utječe na kinetičke parametre elektrokemijske reakcije unutar sustava. Student će za vrijeme vježbe izraditi ugljične elektrode različitih sastava te pomoću njih sastaviti superkondenzatore. Elektrokemijska svojstva superkondenzatora ispitivati će se u dvoelektrodnom sustavu. Odrediti će se kapacitet i unutarnji otpor te će se pratiti njihova promjena u ovisnosti o primijenjenoj struji te broju ciklusa punjenja i pražnjenja.

Rezultati dobiveni elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom koristiti će se za modeliranje ekvivalentnog električnog kruga koji opisuje ispitivani sustav.

Pomoću dobivenih rezultata će se odrediti koji sastav elektroda rezultira boljim karakteristikama superkondenzatora.

- demonstrirati jednostavan elektrokemijski eksperiment i analizirati dobivene podatke
- upotrijebiti osnovne elektrokemijske koncepte i relacije u analizi elektrokemijskih procesa
- navesti osnovne materijale i dodatke koji se koriste za izradu elektroda kod superkondenzatora
- opisati mehanizam skladištenja naboja
- objasniti ulogu aktivnog materijala i dodataka u superkondenzatoru
- ukazati na značaj odabira aktivnog materijala kod superkondenzatora te na prednosti i nedostatke ugljičnih materijala

2.1. NAZIV VJEŽBE: Elektrokemijski izvori energije - Superkondenzatori

- **Diplomski studij (KI, KIM, PK)**

CILJ

Cilj ove vježbe je stjecanje novih znanja o superkondenzatorima, savladavanje procesa njihove izrade te njihova karakterizacija u troelektrodnom sustavu korištenjem elektrokemijskih tehnika poput cikličke voltametrije, kronopotencijometrije i elektrokemijske impedancijske spektroskopije.

OPIS VJEŽBE

Današnji superkondenzatori se sastoje od dvije ugljične elektrode identičnog sastava, separatora i elektrolita. Odabir elektrolita uz sastav elektrode ima najznačajniji utjecaj na kinetičke parametre superkondenzatora. Prilikom rada superkondenzatora dolazi do razdvajanja naboja pri čemu kationi idu prema negativno polariziranoj elektrodi, a anioni prema pozitivno polariziranoj elektrodi. Utjecaj kationa i aniona na karakteristike sustava u cjelini nije jednak te je bitno promatrati svaku elektrodu odvojeno što je moguće izvesti uvođenjem treće, referentne elektrode od inertnog metala.

Student će za vrijeme ove vježbe izraditi elektrode određenog sastava te pomoću njih sastaviti superkondenzatore sa različitim elektrolitima. Ponašanje pojedinih elektroda prilikom rada superkondenzatora će se promatrati u troelektrodnom sustavu uz platinsku referentnu elektrodu. Ponašanje sustava će se promatrati kroz određeni broj ciklusa punjenja i pražnjenja definiranom strujom. Usporediti će se unutarnji otpor i kapacitet pojedinih elektroda u ovisnosti o korištenom elektrolitu. Elektrokemijska impedancijska spektroskopija će se koristiti kako bi se modelirao ekvivalentni električni krug pojedine elektrode te kako bi se odredile njegove vrijednosti.

- demonstrirati jednostavan elektrokemijski eksperiment i analizirati dobivene podatke
- upotrijebiti elektrokemijske koncepte i relacije u određivanju osnovnih parametara superkondenzatora
- navesti osnovne materijale i dodatke koji se koriste za izradu elektroda kod superkondenzatora
- opisati mehanizam skladištenja naboja
- odabrati elektrolit pogodan za primjenu u superkondenzatoru
- ukazati na značaj sastava elektrolita na svojstva superkondenzatora

- argumentirati značaj praćenja potencijala pojedine elektrode u superkondenzatoru tijekom testiranja superkondenzatora
- primijeniti fundamentalna znanja iz elektrokemije i kemijskog inženjerstva na rješavanje praktičnih problema tijekom izrade superkondenzatora
- argumentirati prednosti i nedostatke superkondenzatora u odnosu na ostale elektrokemijske izvore energije

VJEŽBA 3

3.1. NAZIV VJEŽBE: Funkcionalni nanostrukturirani filmovi

- **Preddiplomski studij (KI, KIM, PK, EI)**

CILJ

Cilj vježbe je modifikacija i karakterizacija površina metalnih materijala korištenjem elektrokemijskih metoda (voltametrijske tehnike i elektrokemijska impedancijska spektroskopija).

OPIS VJEŽBE

Površinska modifikacija, dizajniranje novih materijala poboljšanih i korisnih svojstava za posebnu upotrebu, uz široku primjenu može se koristiti i s ciljem povećavanja brzine međufaznih reakcije ((elektro)kataliza) i za sprječavanje neželjenih reakcija (korozija). Stoga će se ovom vježbom studenti upoznati s modifikacijom površina metalnih materijala funkcionalnim nanostrukturiranim filmovima i karakterizacijom dobivenih površina elektrokemijskim metodama. Upotrebom voltametrijskih tehnika i elektrokemijske impedancijske spektroskopije bit će dan uvid u elektrokemijsku kinetiku površinskih reakcija i bit će određeni kinetički parametri elektrokemijskih reakcija (otpor prijenosu naboja, struja, vrijednosti otpora i kapaciteta sustava). Snimljeni impedancijski spektri analizirati će se koristeći prikladne električne ekvivalentne krugove. Modeliranje spektara provodi se kompleksnom nelinearnom metodom najmanjih kvadrata (CNLS algoritam) s ciljem dobivanja vrijednosti impedancijskih parametara sustava (parametri međufazne granice i karakteristike materijala).

ISHODI UČENJA

- definirati, opisno i/ili matematički pojmove vezane uz elektrokemijsku kinetiku, modifikaciju površine i funkcionalne nanostrukturirane filmove
- upoznati se s različitim *ac* i *dc* elektrokemijskim metodama
- dobiti potrebna iskustva i znanja za samostalno korištenje elektrokemijskih metoda i pripadajuće opreme/pribora
- analizirati i interpretirati rezultate/podatke dobivene tim metodama i pripremiti laboratorijska izvješća
- primijeniti fundamentalna znanja iz elektrokemije i kemijskog inženjerstva u procesu modifikacije površine
- predvidjeti probleme koji se mogu javiti prilikom modifikacije površine nanostrukturiranim filmovima

3.2. NAZIV VJEŽBE:

Optimizacija modifikacije metalnih materijala funkcionalnim nanostrukturiranim filmovima

- **Diplomski studij (KI, KIM, PK, EI)**

CILJ

Cilj vježbe je optimizacija parametara modifikacije i karakterizacija površina metalnih materijala i legura korištenjem elektrokemijskih metoda (voltometrijske tehnike i elektrokemijska impedancijska spektroskopija).

OPIS VJEŽBE

Tema ove vježbe je optimizacija modifikacije površine metalnih materijala i legura funkcionalnim nanostrukturiranim filmovima. Ova vježba obuhvaća istraživanje mehanizma i kinetike površinskih reakcija s prijenosom iona i elektrona na međufaznoj granici metal|elektrolit. Studenti će se upoznati s različitim metodama funkcionalizacije površina, poput metode anodizacije i metode samoorganiziranja, i optimizacijom parametara za dobivanje funkcionalnih nanostrukturiranih filmova. Različitim *ac* i *dc* elektrokemijskim metodama (voltometrijske metode, kronoamperometrija i elektrokemijska impedancijska spektroskopija) bit će karakterizirane nefunkcionalizirane i funkcionalizirane površine metalnih materijala i legura i određeni kinetički parametri elektrokemijskih reakcija (otpor prijenosu naboja, struja, vrijednosti otpora i kapaciteta sustava). Snimljeni impedancijski spektri bit će analizirani koristeći prikladne električne ekvivalentne krugove. Modeliranje spektara provodi se kompleksnom nelinearnom metodom najmanjih kvadrata (CNLS algoritam) s ciljem dobivanja vrijednosti impedancijskih parametara sustava (parametri međufazne granice i karakteristike materijala).

ISHODI UČENJA:

- upoznati se s različitim metodama modifikacije površina nanostrukturiranim filmovima
- moći objasniti osnovne principe rada pojedinih elektrokemijskih metoda karakterizacije
- koristiti se mjernom opremom za elektrokemijsku karakterizaciju
- usporediti, interpretirati i obrazložiti rezultate dobivene elektrokemijskim metodama i pripremiti laboratorijska izvješća
- primijeniti fundamentalna znanja iz elektrokemije i kemijskog inženjerstva na rješavanje praktičnih problema tijekom modifikacije površina
- povezati osnovne kemijske principe i koncepte uz napredna znanja iz područja prirodnih i tehničkih znanosti, posebice kemijskog inženjerstva i inženjerstva materijala

- prezentirati i argumentirati rezultate rada u usmenom i pisanom obliku nestručnjacima i stručnjacima na jasan i razumljiv način