

ZNANSTVENO VIJEĆE ZA NAFTNO-PLINSKO GOSPODARSTVO I ENERGETIKU
i
ZNANSTVENO VIJEĆE ZA PROMET

u suradnji s istraživačkim projektima

INSIGHT – Inteligentni podatkovni modeli za proizvodnju baterijskih članaka, projekt suradnje Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu i BMW Group,

Razvoj novih materijala te naprednih inovativnih tehnologija za proizvodnju litij-ionskih baterija¹, projekt suradnje Fakulteta kemijskog inženjerstva Sveučilišta u Zagrebu, Instituta Ruđer Bošković i poduzeća Sunceco d.o.o. i

MLBattProt - Model starenja baterijskog članka zasnovan na strojnom učenju korišten u računalnoj geometriji za on-line zaštitu integriteta baterijskog paketa², projekt suradnje Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu i poduzeća Rimac Technology d.o.o.

organiziraju i pozivaju Vas na

ZNANSTVENI SKUP O NOVIM METODAMA I TEHNOLOGIJAMA BATERIJSKIH SUSTAVA ZA ELEKTRIČNA VOZILA

koji će se održati

u petak, 28. ožujka 2025. od 10:00 do 13:30 sati,

u dvorani Knjižnice HAZU, Zagreb, Strossmayerov trg 14

Program rada znanstvenog skupa

10:00-10:05	Pozdravna riječ / akademik Ignac Lovrek, tajnik Razreda za tehničke znanosti HAZU
10:05-10:10	Otvaranje znanstvenog skupa i kratki uvod / akademik Ivan Petrović, predsjednik Znanstvenog vijeća za naftno-plinsko gospodarstvo i energetiku i Znanstvenog vijeća za promet
10:10-10:30	Strateška orijentacija promicanja proizvodnih i reciklažnih procesa korištenjem algoritama za rudarenje podataka na primjeru proizvodnje prototipnih članaka / Moritz Poremba, BMW Group
10:30-10:40	Izazovi u modeliranju umjetne inteligencije za proizvodnju i recikliranje baterijskih članaka / Ivan Rumenović, BMW Group
10:40-10:50	Trenutno stanje i istraživanja u modeliranju metodama umjetne inteligencije u proizvodnji baterijskih članaka / doc. dr. sc. Marko Švaco, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu
10:50-11:10	Može li razvoj baterija pratiti korak sa sve većim zahtjevima električnih vozila i mobilnih uređaja? / prof. dr. sc. Zoran Mandić, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
11:10-11:30	Napredak i izazovi silicijskih anoda u litij-ionskim baterijama / dr. sc. Matea Raić, Institut Ruđer Bošković
11:30-12:20	Pauza za osvježenje
12:20-12:40	Metodologija zaštitnih skupova za baterijske članke električnih vozila / prof. dr. sc. Mario Vašak, Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu
12:40-13:00	Eksperimentalni pristup i BMS implementacija zaštitnih skupova / Matija Matijašić, Rimac Technology d.o.o.
13:00-13:20	Rasprava
13:20-13:30	Zatvaranje znanstvenoga skupa / akademik Ivan Petrović

Predsjednik Znanstvenog vijeća za naftno-plinsko gospodarstvo i energetiku i Znanstvenog vijeća za promet HAZU

Akademik Ivan Petrović, v. r.

¹Projekt financiran sredstvima Nacionalnog plana oporavka i otpornosti pod brojem: NPOO.C3.2.R3-11.04.0187

²Projekt financiran sredstvima Nacionalnog plana oporavka i otpornosti pod brojem: NPOO.C3.2.R3-11.04.0263

O predavačima i temama znanstvenog skupa

Moritz Poremba diplomirao je na Tehničkom sveučilištu u Münchenu sa specijalizacijom u upravljanju proizvodnjom i razvoju proizvoda stekavši titulu Diplom-Ingenieur (Dipl.-Ing.). Godine 2003. pridružio se BMW Grupi. Karijeru je započeo kao planer u odjelu za planiranje procesa montaže motora visokih performansi. Godine 2013. postao je voditelj proizvodnje za specijalne motore i logistiku u BMW tvornici u Dingolfingu. Od veljače 2016. do lipnja 2018. gospodin Poremba bio je voditelj projekta za motor S58. U lipnju 2018. napustio je BMW Grupu i preuzeo ulogu direktora za Motor-ReMan i upravljanje opskrbnim lancem. Na toj je poziciji bio odgovoran za planiranje i proizvodnju obnovljenih motora za BMW AG. U siječnju 2020. gospodin Poremba vratio se u BMW kao voditelj kontrolinga razdoblja, gdje je bio zadužen za kontroling u tvornicama i upravljanje resursima u Dingolfingu, Regensburgu, Leipzigu i Landshutu. U lipnju 2022. preuzeo je odgovornost za razvoj tehnologije baterijskih ćelija i recikliranje u BCCC tvornici. U travnju 2024. recikliranje baterija izdvojeno je u zaseban odjel, a gospodin Poremba postao je voditelj recikliranja baterijskih ćelija, gdje je odgovoran za novo BMW-ovo kompetencijsko središte za recikliranje ćelija.

Tema: Strateška orijentacija promicanja proizvodnih i reciklažnih procesa korištenjem algoritama za rudarenje podataka na primjeru proizvodnje prototipnih članaka

Sažetak: Prema novoj simulaciji analize prodaje na tržištu, očekuje se da će prodaja električnih vozila premašiti dvije trećine globalne prodaje automobila do 2030. godine. Budući da je baterija najvažnija komponenta električnih vozila, a baterijska ćelija ključna komponenta baterije, to implicira da će baterijska ćelija i stručnost u proizvodnji baterija postati najvažnija konkurentna prednost u automobilskoj industriji. Kako bi stekli konkurentsku prednost, proizvođači automobila i baterijskih ćelija bore se za postizanje što boljih svojstava ćelija uz niske troškove proizvodnje. Proces recikliranja ima značajan utjecaj na troškove proizvodnje, a zbog sve viših cijena sirovina, proces recikliranja postaje sve važniji. Stoga se recikliranje baterija i proizvodnja baterijskih ćelija moraju smatrati jedinstvenim procesom. Kombinacija ovih dvaju procesa rezultira izuzetno velikim brojem parametara koji se teško mogu optimizirati klasičnim metodama pokušaja i pogrešaka. Umjesto toga, trebaju se koristiti prediktivni modeli temeljeni na umjetnoj inteligenciji ili takozvani digitalni blizanci, koji mogu predvidjeti ishode pojedinih među proizvoda i gotovih proizvoda. Preciznim predviđanjem izlaznih parametara, digitalni blizanci mogu pridonijeti smanjenju troškova, ubrzanju procesa i poboljšanju kvalitete, što u konačnici vodi do konkurentne prednosti.

Ivan Rumenović diplomirao na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Nakon što je odradio pripravnički staž u BMW Grupi, nastavio je svoju karijeru u BMW Grupi kao inženjer razvoja u odjelu za termalno upravljanje vozilima. Radio je na testovima pregrijavanja, mjerama za njegovo sprječavanje, kao i na optimizaciji procesa analize mjerenja, automatizirajući brojne ručne postupke. Krajem 2015. godine započeo je magistarski studij na Tehničkom sveučilištu u Münchenu sa specijalizacijom u strojarstvu i menadžmentu. Tijekom magistarskog studija radio je u odjelu za istraživanje i razvoj motora s unutarnjim izgaranjem, gdje je bio odgovoran za razvoj komponenata za prototipna vozila. Nakon što je 2018. diplomirao na Tehničkom sveučilištu u Münchenu, postao je voditelj projekta funkcije prilagodljive rekuperacije za blaga hibridna vozila. U siječnju 2023. postao je voditelj projekta sustava naručivanja logistike proizvodnje u kompetencijskom centru za baterijske članke. Od siječnja 2024. vodi projekt o modeliranju umjetne inteligencije u proizvodnji baterijskih članaka. Projekt se provodi u suradnji sa Sveučilištem u Zagrebu.

Tema: Izazovi u modeliranju umjetne inteligencije za proizvodnju i recikliranje baterijskih članaka

Sažetak: Kako bi se koristili prediktivni modeli temeljeni na umjetnoj inteligenciji, potrebno je prevladati nekoliko izazova. Prvo, potrebno je zabilježiti sve nužne parametre. Ponekad je čak potrebno prilagoditi procese da bi se parametri mogli zabilježiti. IT zahtjevi se stoga moraju uzeti u obzir prilikom oblikovanja procesa proizvodnje baterija. Budući da modeli umjetne inteligencije (UI) imaju nedostatak jer trebaju velike količine podataka, broj ulaznih veličina u UI modelima također se mora smanjiti korištenjem modela temeljenih na fizikalnim načelima. Zbog visoke složenosti procesa, modeliranje procesa predstavlja istraživački izazov. Zbog toga je odlučeno uključiti akademsku podršku u projekt, te je uspostavljena suradnja sa Sveučilištem u Zagrebu.

Doc. dr. sc. Marko Švaco docent je na Zavodu za robotiku i automatizaciju proizvodnih sustava na Fakultetu strojarstva i brodogradnje (FSB) Sveučilišta u Zagrebu. Voditelj je Katedre za autonomne sustave i računalnu inteligenciju te voditelj Regionalnog centra izvrsnosti za robotske tehnologije (CRTA). Na FSB-u je zaposlen od 2010. godine gdje je 2015. doktorirao. Tijekom doktorskog studija usavršavao se na KTH, Švedska. Njegov je znanstveno istraživački fokus u području medicinske robotike i autonomnih sustava. U nastavnom radu nositelj je i sunositelj većeg broja kolegija iz područja robotike i autonomnih sustava. Od 2024. godine voditelj je sveučilišnog prijediplomskog i diplomskog Studija mehatronike i robotike na FSB-u. Kao suradnik ili istraživač sudjelovao je u više od 20 projekata, a trenutačno je voditelj dvaju znanstvenih i triju istraživačkih projekta. Kao autor ili koautor objavio je 19 radova u međunarodnim časopisima i više od 30 radova na međunarodnim konferencijama. Kao jedan od glavnih članova istraživačkoga tima, bio je uključen u razvoj robotskog sustava RONNA za primjenu u neurokirurgiji, koji je prvi neuronavigacijski robotski sustav razvijen u Republici Hrvatskoj. Jedan je od suosnivača MedTech startup-a RONNA Medical. Dobitnik je većeg broja domaćih i inozemnih nagrada od kojih se ističe nagrada za najboljeg mladog istraživača "Vera Johanides", Hrvatske akademije tehničkih znanosti (HATZ) 2019. godine. Član je znanstvenih i uređivačkih odbora dvaju znanstvenih časopisa te sudjeluje kao član različitih odbora četiriju znanstvenih konferencija. Aktivno se služi engleskim jezikom u govoru i pismu.

Tema: Trenutno stanje i istraživanja u modeliranju metodama umjetne inteligencije u proizvodnji baterijskih članaka

Sažetak: Umjetna inteligencija (UI) revolucionira proizvodnju baterijskih članaka, nudeći inovativna rješenja za optimizaciju učinkovitosti, održivosti i performansi u proizvodnim procesima. Suvremene UI metode, poput strojnog učenja i dubokog učenja, primjenjuju se na ključne faze poput odabira materijala, dizajna članaka, praćenja proizvodnje i kontrole kvalitete. Prediktivni modeli omogućuju prilagodbe u stvarnome vremenu, smanjujući defekte i otpad materijala, dok napredni algoritmi podupiru otkriće novih materijala s poboljšanom gustoćom energije i duljim vijekom trajanja. UI također olakšava automatizaciju procesa, omogućujući skalabilnu i ekonomičnu proizvodnju. Integracijom UI-a u proizvodne linije baterijskih članaka, proizvođači mogu odgovoriti na sve veću potražnju za visokoučinkovitim baterijama u primjenama poput električnih vozila i skladištenja obnovljive energije. Ovo predavanje istražiti će kako umjetna inteligencija i prediktivni modeli mogu oblikovati budućnost tehnologije baterijskih članaka, osiguravajući održive metode proizvodnje. Predavanje će pružiti kratak pregled trenutnih istraživanja koja se provode u CRTA-i i BMW Grupi.

Prof. dr. sc. Zoran Mandić redoviti je profesor u trajnom izboru na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu. Njegov znanstveni rad obuhvaća područja elektrokemije i elektrokemijskog inženjerstva. U posljednjih deset godina, njegov je rad bio usmjeren na razvoj naprednih elektrodnih materijala u primjenama za pohranu energije, posebno baterija i superkondenzatora. Razvoj elektrokemijskih metoda u ispitivanju performansi i predviđanju životnog ciklusa i SoH također je od sve većeg interesa za njegovo istraživanje. Vodio je nekoliko međunarodnih i domaćih projekata, objavio više od 50 radova u međunarodnim časopisima, 3 patenta i imao brojna pozvana predavanja na međunarodnim konferencijama i događanjima.

Tema: Može li razvoj baterija pratiti korak sa sve većim zahtjevima električnih vozila i mobilnih uređaja?

Sažetak: Razvoj električnih vozila i potrošačke elektronike postavlja sve veće zahtjeve na baterijske sustave sa stajališta gustoće energije i snage, životnog vijeka i temperaturnog opsega rada. Svojstva i performanse jediničnih baterijskih članaka ovise o kemijskom sastavu članka, brzini elektrokemijskih reakcija koje se odvijaju prilikom pražnjenja/punjenja te o dizajnu samog članka. U razvoju baterijskih članaka neophodno je kombinirati znanja kemije i inženjerstva materijala te elektrokemijskog i električnog inženjerstva. U ovom predavanju govorit će se o sadašnjem stanju sastava i funkcioniranja jediničnih članaka, njihovom kemizmu i novim trendovima u njihovom razvoju.

Dr. sc. Matea Raić vanjska je suradnica na Institutu Ruđer Bošković. Njezino znanstveno djelovanje obuhvaća sintezu i karakterizaciju materijala te elektrokemiju. Doktorirala je na Institutu Ruđer Bošković na temi razvoja naprednih anodnih materijala za litij-ionske baterije. Tijekom poslijedoktorskog usavršavanja na Kemijskom institutu u Ljubljani, radila je na razvoju elektrolita za aluminijeve i magnezijeve baterije. Njezin istraživački interes usmjeren je na razvoj elektrodnih

materijala s poboljšanim elektrokemijskim svojstvima. Objavila je devet znanstvenih radova u časopisima s međunarodnom recenzijom, od kojih je u pet bila prvim autorom. Aktivno je sudjelovala na brojnim međunarodnim konferencijama te u aktivnostima popularizacije znanosti.

Tema: Napredak i izazovi silicijskih anoda u litij-ionskim baterijama

Sažetak: Silicijske anode imaju veliki potencijal za povećanje kapaciteta i gustoće energije litij-ionskih baterija, čineći ih ključnim za buduće primjene kao što su električna vozila i sustavi za pohranu energije. U okviru predavanja izložit će se glavni izazovi silicijskih anoda, uključujući volumno širenje, degradaciju strukture i nestabilnost međupovršinskog sloja elektrolita (SEI) te će se predstaviti inovativna rješenja poput nanostrukturiranja i razvoja kompozitnih materijala. Predavanje će se zaključiti pregledom budućih smjerova i prilika za primjenu silicijskih anoda u komercijalnim baterijskim sustavima.

Prof. dr. sc. Mario Vašak redoviti je profesor u trajnom izboru na Zavodu za automatiku i računalno inženjerstvo Fakulteta elektrotehnike i računarstva (FER) Sveučilišta u Zagrebu te vodi FER-ov Laboratorij za sustave obnovljivih izvora energije. Njegovi su istraživački interesi u domeni prediktivnog upravljanja dinamičkim sustavima s primjenama na sustave iz niskougljičnog energetskog sektora. U proteklih 15 godina vodio je više od 20 istraživačkih projekata koji su se bavili prediktivnim upravljanjem u sustavima zelene energije. Autor je više od 30 časopisnih te sveukupno više od 150 međunarodno recenziranih istraživačkih radova koji su citirani više od 1000 puta prema Web of Science.

Tema: Metodologija zaštitnih skupova za baterijske članke električnih vozila

Sažetak: Baterije su u pogledu očekivanog životnog vijeka jedna od najskupljih i najslabijih karika električnih vozila te je stoga potrebno osigurati njihovu eksploataciju u uvjetima koji ih čim manje degradiraju. Potreba za čim bržim punjenjem, čim većom rekuperacijom energije pri kočenju te čim boljim dinamičkim performansama vozila podvrgava baterije u različitim režimima korištenja vozila stresu kojim se narušava njihov integritet više ili manje, ovisno o uspostavljenom profilu opterećenja baterije. Stoga je sustav zaštite integriteta baterije potrebno optimalno uklopiti u sustav upravljanja vozilom kako bi se, uz ostvareno produljenje životnoga vijeka baterije, u pogledu performansi vozila izgubilo čim manje ili u najboljem slučaju ništa. Izlaganje se usredotočuje na zaštitne skupove kojima se u prostoru stanja baterijskog članka te profila struja ili snaga punjenja/praznjenja baterije obuhvaća čim više točaka u kojima je osigurano udovoljenje svim ograničenjima za dugovječnost baterijskog članka. Kod zaštitnih skupova, prediktivno upravljanje i teorija skupova primjenjuju se na model baterijskog članka te se upotrebom tih skupova u radu sustava za gospodarenje baterijom dinamički neprestano određuje skup prihvatljivih profila terećenja baterije na temelju procjene stanja baterijskih članaka. Navedena lokalizacija dopustivih profila terećenja baterije u spomenutom skupu potom se rabi u različitim podsustavima vozila kako bi se vozilo koristilo poštujući ograničenja za dugovječnost baterije.

Matija Matijašić zaposlen je na puno radno vrijeme u poduzeću Rimac Technology d.o.o. (RT) na poziciji Battery Cell Modelling Engineer. Glavni zadaci kojima se bavi uključuju numeričko modeliranje baterijskih članaka, procjenu starosti članaka, procjenu performansi članaka, kao i cijelog baterijskog paketa te dizajniranje profila za brzo punjenje baterija. U RT-u je u proteklih šest godina radio na mnogobrojnim projektima, među kojima su Rimac Nevera, Aston Martin Valkyrie, Pininfarina Battista i drugi.

Tema: Eksperimentalni pristup i BMS implementacija zaštitnih skupova

Sažetak: Za pouzdano, učinkovito i optimalno iskorištavanje baterije električnog vozila neophodni su i sklopovski i programski elementi. Sklopovski dio čini tzv. „mozak“ baterije – sustav gospodarenja baterijom (*engl.* Battery Management System, BMS), koji prikuplja i nadzire ključne parametre baterijskih članaka te upravlja njihovim radom. Programski dio obuhvaća algoritme zaslužne za održavanje baterije unutar sigurnih radnih granica, neovisno radi li se o punjenju, praznjenju ili regenerativnom kočenju. Kako bi ti algoritmi izvodili s visokom točnošću i pouzdanošću, razvijaju se matematički modeli prilagođeni za rad na BMS-u. Njihova izrada uključuje opsežna ispitivanja u različitim uvjetima – od varijacija struje i temperature do različitih stadija zdravlja baterijskih članaka. U pojedinim je slučajevima potrebno i dublje istražiti sami članak, odnosno izmjeriti njegova

elektrokemijska svojstva kako bi se osigurali maksimalna točnost i učinkovitost algoritama. Ovo izlaganje usredotočit će se na sam proces izrade ovih modela i njihove naprednije verzije, kao i na način njihove implementacije zajedno s algoritmima za praćenje stanja baterije na BMS-u. Uz to, prikazat će se uvođenje zaštitnih skupova na BMS, zajedno s izazovima i prednostima takvoga pristupa. Na samome kraju, bit će predstavljen i novi projekt (MIBattProt) koji se oslanja na modele temeljene na strojnom učenju.