6. DAN DECE – ZA INŽENIRJE

Strokovni povzetki predavanj, tehnični zaključki in izhodišča za nadaljnje inženirsko delo

Društvo energetikov Celje – DECE Celje, 15. oktober 2026

O strokovni zbirki

Na strokovnem do6.DAN DECE je obravnaval tehnične posledice pospešene elektrifikacije: od načrtovanja transformatorjev in vključevanja baterijskih hranilnikov do obratovanja toplotnih črpalk, polnilne infrastrukture, zahtev priključevanja ter energetskih posledic razvoja podatkovnih centrov. V nadaljevanju so predavanja predstavljena ločeno, z njihovim osrednjim tehničnim problemom, najpomembnejšimi ugotovitvami in uporabnimi izhodišči za projektante, investitorje, izvajalce, operaterje sistemov ter raziskovalce.

Povzetki temeljijo na posredovanem gradivu in predstavitvah predavateljev ter spremljajočih gradivih. Izračuni, tržne projekcije in tehnične vrednosti, navedeni v predstavitvah, so označeni kot podatki predavateljev, ne kot univerzalne projektne zahteve. Vsebina ni nadomestilo za veljavne predpise, projektne pogoje, uradne razpisne dokumente ali tehnične podatkovne liste.

1. Peter Novak, Kolektor Etra – Transformatorji kot element stabilnosti zelenega prehoda v energetiki

Bistveni poudarki

Zeleni prehod spreminja tokovne in obremenitvene razmere v elektroenergetskih omrežjih. Distribuirani proizvodni viri, baterijski hranilniki, električna mobilnost, elektrifikacija procesne toplote in podatkovni centri povečujejo število priključnih mest ter zahtevajo obratovanje v razmerah dvosmernih pretokov energije. Transformator zato ni le pasivni pretvornik napetostnega nivoja, temveč element z zahtevami po visoki razpoložljivosti, nizkih izgubah, omejenih emisijah hrupa in vse obsežnejši diagnostični opremljenosti.

Novak je predstavil panožno napoved družbe TechSci: evropski trg vseh transformatorjev naj bi z okoli 13,8 milijarde USD leta 2026 dosegel 34,3 milijarde USD leta 2036; navedena nominalna povprečna letna rast je 9,6 %. Gre za tržno projekcijo, ne za že realiziran obseg naročil. Kolektor Etra je v segmentu 1–500 MVA predstavila oceno evropskega trga okoli 5,6 milijarde EUR in svoj delež okoli 6,7 %. Rastoča naročila niso enovrstna: različni viri in odjemalci zahtevajo specifične izolacijske, hladilne, mehanske in obratovalne izvedbe. Po navedbah predavatelja podjetje pri približno 250 izdelanih transformatorjih letno uporablja več kot sto konstrukcijskih različic.

Razvojna področja zajemajo zmanjševanje izgub v magnetnem jedru in navitjih, akustično optimiranje, spletni nadzor obratovanja ter nadomeščanje mineralnih olj z ustreznimi alternativnimi dielektričnimi tekočinami, kjer so te primerne. Posebna pozornost velja razliki med hrupom praznega teka, obremenitvenim hrupom in hrupom hladilnega sistema. Predavanje je

obravnavalo tudi potrebo po podatkih o življenjskem ciklu izdelkov (LCA), okoljskih deklaracijah (EPD) in trajnostnem upravljanju materialnih tokov.

Zaključki

1. **Dolgoročna zanesljivost ima prednost pred najnižjo nabavno ceno.** Za transformator z večdesetletno življenjsko dobo so odločilni izgube, servisna tveganja, razpoložljivost in posledice izpada.
2. **Tehnična specifikacija mora odražati režim omrežja.** Pri novih projektih je treba ovrednotiti profil obremenitve, harmonike, temperaturne razmere, hrupne omejitve, rezerviranje in možnosti diagnostike.
3. **Dobavne verige postajajo del načrtovanja zanesljivosti.** Podaljšani dobavni roki in omejena proizvodna zmogljivost narekujejo zgodnje usklajevanje investitorja, operaterja in proizvajalca.
4. **Podatkovni centri spreminjajo lokacijsko logiko energetskih naložb.** Poleg računalniške infrastrukture je ključna pravočasna in zanesljiva elektroenergetska priključitev.

Inženirska uporaba

Za nove transformatorske postaje je smiselno izdelati primerjavo izgub skozi življenjsko dobo, analizo režimov obremenjevanja, akustični elaborat in strategijo spremljanja stanja, skupaj s scenarijem dobavljivosti nadomestnih komponent. Predstavljena vlaganja Kolektor Etre v nove hale, visokonapetostni laboratorij ter logistiko dodatno ponazarjajo, da se razvoj omrežja neposredno odraža v razvoju proizvodne industrije.

Za nadaljnji študij: CIGRE – Power Transformer Audible Sound Requirements, TB 940; CIGRE, študijski odbor A2 – transformatorji in dušilke.

2. Filip Mlinarič, Sofar Solar – Vpliv baterijskih hranilnikov (BESS) na obvladovanje omrežja

Bistveni poudarki

Baterijski hranilnik električne energije (BESS) združuje elektrokemični hranilnik, pretvorniški sistem (PCS), sistem upravljanja baterij (BMS), sistem upravljanja energije (EMS), zaščitne funkcije in komunikacijski vmesnik do operaterja ali agregatorja. Predavanje je utemeljilo njegovo vlogo na različnih časovnih skalah: pri hitrih spremembah moči in kakovosti napetosti, pri uravnavanju frekvence, zmanjševanju konične obremenitve, cenovni arbitraži in pri zagotavljanju prožnosti lokalnih mikroomrežij.

Kot primer evropskega usklajevanja sistemskih storitev je bila predstavljena platforma **PICASSO** za izmenjavo izravnalne energije iz avtomatske rezerve za povrnitev frekvence (aFRR). Razlikovati je treba med FCR, aFRR in mFRR: storitve imajo različne odzivne zahteve, načine aktivacije in pravila predkvalifikacije. Časi odziva, prikazani za britanski sistem, niso samodejno prenosljivi na slovenski trg.

Projektno sta ključna razmerje moči in uporabne energijske kapacitete ter dovoljeno obratovalno območje stanja napolnjenosti (SOC). BESS z močjo 1 MW in kapaciteto 2 MWh omogoča približno dve uri praznjenja pri nazivni moči le v poenostavljenem idealnem primeru; dejanski čas določajo izkoristek, dovoljen SOC, degradacija, temperaturni pogoji in lastna poraba. V predstavitvi je za litij-ionske sisteme naveden okvirni izkoristek 87–92 %, ki ga ni dovoljeno brez dodatnih pogojev uporabiti za vsako izvedbo ali obratovalni režim.

Predavatelj je opozoril na večnivojsko varnost: od celice in modula do omare, kontejnerja in celotnega sistema. Med ukrepi so nadzor temperature in izolacije, detekcija dima in plinov, selektivna zaščita, preprečevanje širjenja toplotnega pobega, razbremenitev tlaka ter zasnova gašenja. Prikazana modularna pretvorniška arhitektura omogoča, da okvara posameznega PCS povzroči delni izpad zmogljivosti namesto izpada celotnega hranilnika; trditev je odvisna od konkretne sistemske topologije.

Zaključki

1. **BESS se dimenzionira po storitvi in profilu obratovanja, ne zgolj po nazivnih MWh.** Potrebni so podatki o aktivacijah, moči, energiji, SOC in degradaciji.
2. **EMS, BMS in PCS je treba presojati kot usklajen regulacijski sistem.** Neustrezen nadzor lahko zmanjša razpoložljivo energijo ali poruši izvedljivost predvidenih storitev.
3. **Varnost je sistemska lastnost zasnove.** Zahteva dokazila o preskušanju, zasnovi zaščit, odzivu na napake in intervencijskih postopkih.
4. **Priključitev v omrežje zahteva dokazovanje kakovosti električne energije.** Harmonske motnje, odziv na spremembe moči in zaščitna koordinacija morajo biti preverjeni za konkretno priključno točko.

Inženirska uporaba

Pri investicijski študiji je priporočena časovna simulacija obratovanja in preverjanje občutljivosti na izkoristek, razpoložljivost, degradacijo in omejitve priključne moči. Posebej je treba dokumentirati požarni koncept, merilno shemo, predkvalifikacijske zahteve in meje odgovornosti med dobaviteljem, integratorjem ter agregatorjem.

Za nadaljnji študij: ENTSO-E – platforma PICASSO; Sofar Solar – tehnična dokumentacija proizvajalca.

3. Dr. Marko Klančišar, Weishaupt – Toplotne črpalke, termodinamični proces in uporaba R290

Bistveni poudarki

Prvo predavanje je obravnavalo toplotno črpalko kot termodinamični sistem, pri katerem je učinkovitost neposredno odvisna od temperaturnega dviga med virom toplote in ogrevalnim sistemom. Na diagramu entalpija–tlak je bil prikazan krožni proces z uparjanjem, kompresijo, kondenzacijo in ekspanzijo hladiva. Temeljni projektni sklep je zmanjševanje potrebne temperature dvižnega voda ob upoštevanju projektnih toplotnih izgub, grelnih teles in hidravličnega ravnotežja. V predstavitvi je podana ilustrativna občutljivost porabe električne

energije pri spreminjanju temperature; takšne vrednosti je treba za posamezno napravo preveriti z dejanskimi karakteristikami in ne linearno posploševati.

Osrednja tematika je bil prehod na hladiva z nižjim potencialom globalnega segrevanja (GWP), zlasti naravno hladivo **R290 – propan**. Zaradi dobrih termodinamičnih lastnosti lahko omogoča visoke temperature ogrevalne vode, vendar njegova vnetljivost narekuje namensko konstrukcijo naprave, ustrezno umestitev, tehnične odmike, preprečevanje virov vžiga, usposobljenost izvajalcev in servisno disciplino. Predavatelj je predstavil zahteve, povezane z Uredbo (EU) 2024/573, in izbrane tehnične standarde.

Pomembna je ločitev med zmogljivostjo posameznega hladiva in varnostjo celotne naprave. Navedba, da sistem uporablja »naravno hladivo«, ni dokaz ustrezne postavitve. Varnostna presoja mora vključevati dejansko hladivno polnitev, konfiguracijo hladilnega kroga, možne poti uhajanja, lokacijo zunanje enote, prezračevanje, dostop uporabnikov in način servisiranja.

Zaključki

1. **Najnižja izvedljiva temperatura ogrevalnega sistema je ključna za učinkovitost.** Pravilno projektiranje ogrevalnih površin in regulacije je enako pomembno kot izbira kompresorja.
2. **R290 ni univerzalna zamenjava hladiva v obstoječi napravi.** Zahteva projektiranje naprave in namestitve za njegove fizikalno-kemijske lastnosti.
3. **Regulativno skladnost je treba presojati za konkretno kategorijo naprave in datum dajanja na trg.** Evropski roki in omejitve niso enaki za vse močnostne razrede in izvedbe.
4. **Kakovostna montaža in certificirano vzdrževanje sta sestavni del obratovalne varnosti.**

Inženirska uporaba

Projektna dokumentacija naj obsega bilanco izgub, izračun temperaturnih režimov, karakteristike grelne moči in COP/SCOP, varnostno oceno hladiva, načrt postavitve ter izvedbeni in servisni protokol. Različice s povišano temperaturo dvižnega voda je treba primerjati tudi pri projektni zunanji temperaturi, ne samo pri standardni preskusni točki.

Za nadaljnji študij: Uredba (EU) 2024/573 o fluoriranih toplogrednih plinih; Weishaupt – ogrevalne tehnologije.

4. Dean Mavrič, Vitanest / Mitsubishi Electric – Toplotne črpalke kot prilagodljiv porabnik v pametnem omrežju

Bistveni poudarki

Predavanje je obravnavalo vlogo toplotnih črpalk pri elektrifikaciji ogrevanja ter razmerje med njihovo visoko sezonsko učinkovitostjo in lokalnimi omejitvami nizkonapetostnega omrežja. Izzivi so izraziti na lokacijah z omejeno kratkostično močjo, velikim deležem sončnih elektrarn ali visoko sočasnostjo zimskega obratovanja toplotnih črpalk. Predavatelj je poudaril invertersko

modulacijo, omejevanje zagonskih tokov, pravilno izvedbo in možnost upravljanja porabe prek digitalnih vmesnikov.

Posebna pozornost je bila namenjena **SG Ready**. Gre za krmilno funkcionalnost, pri kateri zunanji signali iz razsmernika sončne elektrarne, energetskega upravljalnika ali drugega krmilnega sistema vplivajo na obratovalni način toplotne črpalke. Predstavitev je prikazala štiri kombinacije dveh digitalnih vhodov: normalno delovanje, ukaz za izklop in dva režima prilagojenega delovanja oziroma povečanja hranjenja toplote. Signalizacija, pomen kontaktov in dovoljeni režimi morajo biti preverjeni po navodilih konkretnega proizvajalca; oznaka SG Ready sama po sebi ne zagotavlja aktivnega vodenja odjema.

Praktičen primer je časovni zamik porabe: ob presežku proizvodnje iz sončne elektrarne se poviša ciljna temperatura sanitarne vode ali hranilnika, s čimer se del električne porabe prestavi v čas ugodnejših razmer. Vrednotenje učinka mora poleg prihranka vključiti toplotne izgube hranilnika, vpliv na COP, omejitve udobja in sanitarne zahteve. Pri razpravi o subvencijah je bila omenjena zahteva SG Ready; upravičenost je treba vedno presoditi po besedilu točno določenega javnega poziva.

Zaključki

1. **Toplotna črpalka je lahko vir prožnosti odjema, če ima signalni vir in dejansko izvedeno krmiljenje.** Nepovezani SG Ready kontakti ne prinašajo sistemskega učinka.
2. **Inverterska regulacija ne popravi napak v zasnovi objekta ali omrežnega priključka.** Kritični ostajajo preseki kablov, varovalke, faznost in kakovost napetosti.
3. **Skladiščenje toplote zahteva dinamično analizo.** Potencial pomika odjema je odvisen od toplotne vztrajnosti objekta, velikosti hranilnika in uporabniškega udobja.
4. **Priključna moč in sezonske konice sta različni kategoriji.** Načrtovanje mora upoštevati najneugodnejše kombinacije vremenskih in obratovalnih razmer.

Inženirska uporaba

Ob zagonu se priporoča funkcionalni preskus vseh signalnih stanj, validacija vmesnika EMS, dokumentiranje omejitve moči in preveritev delovanja ogrevanja ter priprave sanitarne vode. Za kvantifikacijo prožnosti so potrebne meritve moči, temperature in stanja hranilnika po časovnih intervalih.

Za nadaljnji študij: https://www.mitsubishielectric.com/en/products-solutions /; Uredba (EU) 2024/573.

5. Jurij Indihar, Airabela – Optimalno dimenzioniranje, modulacija in kaskadni sistemi toplotnih črpalk

Bistveni poudarki

Predavanje je bilo usmerjeno v obratovalne posledice izbire ene velike toplotne črpalke ali kaskade več manjših enot. Inverterski kompresor prilagaja obrate glede na odstopanje dejanske temperature od ciljne vrednosti, določene denimo z vremensko vodeno ogrevalno krivuljo. Ob dosegu

minimalne dovoljene moči pa tudi inverterska enota preide v ciklično delovanje, če je trenutna potreba objekta nižja od njene spodnje meje modulacije.

Na primerjalnem primeru približno 60 kW projektne grelne moči je bilo obravnavanih več konfiguracij: štiri manjše enote, dve srednji ali ena velika. Predavatelj je prikazal, da so lahko deklarirane sezonske učinkovitosti primerljive, bistveno pa se razlikujejo **najmanjša dosegljiva moč, stopnja redundance, obnašanje pri delni obremenitvi, hrup in servisna razpoložljivost**. Predstavljeni časi cikličnega delovanja in karakteristike so rezultat konkretnega modela in predpostavljenih pogojev, ne splošna lastnost vseh kaskad.

Kaskada omogoča razširitev regulacijskega območja in postopno vključevanje enot. Pri okvari posamezne enote lahko del razpoložljive moči ostane v obratovanju, kar je posebej pomembno za hotele, javne objekte in tehnološke procese. Po drugi strani mora projektant obravnavati hidravlično shemo, vrstni red zagona, skupni krmilnik, odtaljevanje, zvočno seštevanje, priključno moč ter potencialno povečanje kompleksnosti vzdrževanja.

Prikazana je bila tudi uporaba SG Ready za predgretje sanitarne vode in hranilnikov ob višji proizvodnji sončne elektrarne ali ugodnejših tarifnih intervalih.

Zaključki

1. **Najmanjša modulacijska moč je enako pomemben izborni parameter kot nazivna moč.** Prevelika minimalna moč povzroča neželeno cikliranje.
2. **Kaskadna zasnova lahko poveča razpoložljivost in prilagodljivost**, vendar le ob pravilni hidravlični in krmilni integraciji.
3. **SCOP posamezne naprave ne zadošča za odločitev med konfiguracijami.** Potrebna je primerjava sistemske sezonske učinkovitosti v obratovalnem profilu objekta.
4. **Hrup se ne presoja z aritmetičnim seštevanjem dB(A).** Pomembna sta logaritemsko seštevanje virov in akustična umestitev enot.

Inženirska uporaba

Priporočena je urna simulacija letne krivulje obremenitve skupaj z zunanjimi temperaturami, režimi sanitarne vode, odtaljevanjem, rezervno močjo in strategijo krmiljenja. Ocena naj vključuje število vklopov, delne obremenitve in možnost nadaljevanja obratovanja ob servisnem posegu.

Za nadaljnji študij: Airabela – tehnične rešitve in podpora; Evropska komisija – pravila za F-pline.

6. Andrej Oprčkal, STAGOJ – Izkušnje z montažo in obratovanjem toplotnih črpalk na terenu

Bistveni poudarki

Predstavitev je povezala projektiranje strojnih in električnih inštalacij s težavami pri dejanski vgradnji. Med kritičnimi točkami so določitev toplotne moči, prehod z enofaznega na trifazni priključek, povečanje priključne moči, ustreznost napajalnih vodnikov, zaščitnih elementov,

ozemljitve in konfiguracije glavne električne omare. Splošna tehnična specifikacija toplotne črpalke zato še ne predstavlja zadostne podlage za izvedbo priključitve.

Po zagonu lahko zanesljivost zmanjšajo prenapetosti, slab ničelni vodnik, fazna nesimetrija, napetostna nihanja zaradi sočasnega delovanja porabnikov in lokalnih sončnih elektrarn ter dodatni električni grelniki. Posebej je treba obravnavati **sočasnost električne moči kompresorja in pomožnega grelca**: njuna vsota lahko preseže projektirane omejitve, če regulacija ne zagotavlja selektivnega delovanja. Predavatelj je opisal tudi nevarnosti začasnih gradbiščnih priključkov in neustreznih spojnih mest.

Kot praktična primera sta bila predstavljena **Garni hotel Zvon v Zrečah** (kaskada 3 × 23 kW z dodatno funkcijo hlajenja) ter **Gasilska postaja Celje** (sedem visokotemperaturnih enot po 16 kW). Oba primera ilustrirata potrebo po uskladitvi potreb objekta, obstoječega ogrevanja, sprememb električne infrastrukture ter pričakovanega obratovalnega režima. Navedeni prihranki so izkušnje iz konkretnih izvedb, ne univerzalno napovedljiv finančni rezultat.

Zaključki

1. **Strojni in elektroprojekt morata biti usklajena pred naročilom opreme.** Nezadostna priključna moč lahko spremeni investicijski obseg in časovnico.
2. **Kakovost električne napetosti je neposreden dejavnik zanesljivosti ogrevanja.** Diagnostika mora vključevati tudi omrežne inštalacijske razmere.
3. **Kaskade in hranilniki toplote so lahko učinkovito orodje za omejevanje cikliranja**, vendar morajo biti pravilno dimenzionirani.
4. **Uporabnik potrebuje navodila za pravilno regulacijo.** Kontinuirano obratovanje in vremenska regulacija se razlikujeta od režima klasičnih kotlov.

Inženirska uporaba

Pred priključitvijo je potreben zapisnik o električni zaščiti, faznosti, omrežnih napetostih, priključni moči, dodatnih grelcih in pogojih proizvajalca. Po zagonu je smiselno spremljati frekvenco vklopov, temperaturne režime, omrežne motnje in dejansko porabo moči ob konicah.

Za nadaljnji študij: STAGOJ – primeri sistemov in servis; ELES – informacije o elektroenergetskem sistemu.

7. Rok Kobal, Etrel – Električno vozilo: del problema ali del rešitve?

Bistveni poudarki

Elektromobilnost je treba obravnavati kot problem **časovne in prostorske koncentracije priključne moči**, ne samo kot vprašanje skupne letne porabe. V predstavitvi je na podlagi slovenskega povprečnega števila prevoženih kilometrov izračunana ilustrativna dnevna potreba osebnega električnega vozila približno 6,61 kWh. Pri razpoložljivem času polnjenja 8 ur gre za povprečno moč približno 0,83 kW, kar pokaže, da lahko daljša parkirna obdobja omogočijo razmeroma majhno potrebno povprečno moč. Vendar dejanska polnilna infrastruktura deluje z

omejitvami polnilnega toka in izgubami, zato polnjenje z zelo majhno močjo ni vedno energetsko optimalno.

Obravnavanih je bilo sedem ravni od vozila oziroma polnilnice, električne inštalacije in priključne točke do nizkonapetostnega izvoda, transformatorske postaje in srednjenapetostnega omrežja. Dinamično prilagajanje polnilne moči lahko na ravni objekta upošteva trenutno porabo drugih bremen, medtem ko na ravni distribucijskega omrežja zahteva drugačna pravila, telemetrijo in koordinacijo z operaterjem.

Predavanje je predstavilo vlogo protokolov **IEC 61851** (osnovna komunikacija in električne zahteve polnjenja), **OCPP** (komunikacija med polnilnico in centralnim upravljalnim sistemom) in **ISO 15118** (naprednejša komunikacija vozilo–polnilnica, podlaga tudi za določene funkcionalnosti pametnega/dvosmernega polnjenja). Primer nizozemskega pristopa je prikazal pomen enotnih priključnih zahtev, preizkušanja interoperabilnosti in upravljanja polnilnih bremen.

Zaključki

1. **Problem predstavlja sočasna konica polnjenja, ne sama dnevna energija.** Pri načrtovanju voznih parkov in parkirišč je treba uporabiti časovne profile priklopa in odhoda.
2. **Dinamično upravljanje obremenitve lahko zmanjša potrebno priključno moč**, vendar ga je treba opredeliti kot preverljivo funkcionalno zahtevo.
3. **Interoperabilnost je pogoj dolgoročne uporabnosti infrastrukture.** Izbira protokolov, različic in certifikacijskih profilov vpliva na možnosti nadgradenj.
4. **V2G ni samoumevna lastnost vsakega električnega vozila ali polnilnice.** Potrebni so ustrezna strojna oprema, protokolna podpora ter omrežna in tržna ureditev.

Inženirska uporaba

Za večje polnilne sisteme se priporoča simulacija sočasnega polnjenja, uporaba omejitev skupne moči, preverjanje selektivnosti zaščit, merjenja in zahtev OCPP/ISO 15118. Pri razpisni dokumentaciji je smiselno zahtevati preverljive scenarije motenj, prekinitve komunikacije in varnega povratka v delovanje.

Za nadaljnji študij: Open Charge Alliance – standardi OCPP; Etrel – polnilne rešitve.

8. Mag. Robert Otorepec, Sol Navitas inštalacije / TSG – Pasti pri investicijah v sončne elektrarne in baterijske hranilnike

Bistveni poudarki

Predavanje je izpostavilo razliko med **energetsko proizvodnjo in ekonomsko vrednostjo proizvodnje**. Ena MWh lastne porabe zmanjšuje nakup električne energije pod pogoji konkretne pogodbe in tarif, medtem ko je vrednost prodanega viška odvisna od dejanske cene v času oddaje. Dimenzioniranje fotonapetostnega sistema samo po letni porabi zato pogosto vodi v napačno izbiro moči. Predavatelj je priporočil analizo najmanj 15-minutnega profila porabe, omejitev priključitve, stanja strehe in realnih cenovnih scenarijev.

Za baterijski sistem je bila poudarjena metodologija **TCO – Total Cost of Ownership**, ki vključuje nakup in vgradnjo, izgube pri pretvorbi in shranjevanju, porabo za hlajenje oziroma ogrevanje baterij, degradacijo, servis, izpade in obveznosti ob koncu življenjske dobe. Primerjava ponudb samo po EUR/kWh ali desetletni garanciji ni dovolj. Garancije se razlikujejo po dovoljenih ciklih, globini praznjenja (DoD), pretoku energije, zagotovljeni preostali kapaciteti, kritju sistemskih komponent ter dostopnosti servisnih ekip.

Predstavljeni ilustrativni primer **1 MW / 2 MWh BESS** s predpostavljenim neto prispevkom 150 EUR/MWh in enim ekvivalentnim ciklom dnevno daje 300 EUR dnevnega prispevka; 90-dnevni izpad bi v takšnem scenariju pomenil 27.000 EUR potencialno izgubljenega prispevka. To **ni napoved prihodkov**, temveč primer občutljivosti finančnega rezultata na trajanje izpada. Podobno sta primerjava dveh nabavnih cen in ocena stroškov odstranitve baterije ilustrativna scenarija, ne preverjene univerzalne tarife.

Zaključki

1. **Projektiranje SE/BESS mora izhajati iz časovno odvisne neto vrednosti energije.** Potrebna je simulacija obratovanja, ne le letna energetska bilanca.
2. **Razpoložljivost in servisni čas sta ekonomska parametra.** V pogodbi je smiselno ločiti odzivni čas, čas diagnostike in čas dejanske odprave okvare.
3. **Obseg garancije mora biti tehnično in pravno razčlenjen.** Posebej je treba preveriti zmogljivost, degradacijo, BMS, PCS, hlajenje in stroške intervencij.
4. **Obveznosti za odpadne baterije so del dobavne verige.** Razširjena odgovornost proizvajalca (EPR) in vloga uvoznika se presojata po dejanskih pravnih razmerjih.

Inženirska uporaba

Investicijska študija naj vsebuje 15-minutni časovni model, P50/P90 ali druge razumno definirane scenarije proizvodnje, različne scenarije cen, model degradacije in denarnega toka, razpoložljivost, pogoje garancije ter preveritev priključne točke. Za BESS je treba pred podpisom zagotoviti polne servisne in garancijske pogoje.

Za nadaljnji študij: Evropska komisija – PVGIS, modeliranje proizvodnje sončnih elektrarn; Uredba (EU) 2023/1542 o baterijah.

9. Mag. Ervin Planinc, ELES – Priključevanje uporabnikov na javno elektroenergetsko omrežje

Bistveni poudarki

Priključevanje novih proizvodnih naprav, hranilnikov in odjemnih mest je postopek, ki združuje upravnopravne zahteve, tehnično analizo vplivov na omrežje in dokazovanje skladnosti izvedene naprave. Predstavljen je bil zaporedni okvir: vložitev zahteve za soglasje, upravni postopek, tehnična analiza, odločitev o soglasju s pogoji oziroma zavrnitvi, dokazovanje izpolnjevanja zahtev in končna priključitev. Pomembno je razlikovati med pravico do priključitve in tehnično možnostjo priključitve pri zahtevanih parametrih.

Predavanje je povezalo slovenski zakonodajni okvir s sistemskimi obratovalnimi navodili **SONDSEE/SONPO** ter evropskimi priključnimi omrežnimi kodeksi, predvsem **RfG** za proizvodne naprave in **DCC** za odjemalce. Prikazani grafi so opozorili na rast soglasij, priključenih fotonapetostnih naprav in baterijskih hranilnikov. Zaradi razpršenosti in obojesmernih tokov nastajajo napetostne in zmogljivostne omejitve, ki jih ni mogoče rešiti samo z administrativno hitrejšimi postopki.

Med pomembnejšimi težavami je bila izpostavljena **elektromagnetna združljivost (EMC)**: nekateri hibridni razsmerniki lahko motijo komunikacijo PLC za daljinsko odčitavanje števcev. V takšnih primerih so nujni meritve, ugotovitev vira motenj in ustrezni korektivni ukrepi. Opozorjeno je bilo tudi na nevarnosti priklapljanja baterijskih sistemov brez predpisanega postopka: nepravilna konfiguracija lahko ogrozi varnost ljudi in delovanje omrežja.

Posebni diapozitiv je prikazal **predlog** sprememb evropske ureditve za hitrejše dovoljevanje (COM(2025)1007). Navedeni predlagani roki niso predstavljeni kot že veljavno pravo; njihov status je treba preveriti ob morebitni poznejši uporabi.

Zaključki

1. **Tehnična analiza priključitve mora upoštevati obojesmerne pretoke, napetostni profil, kratkostične razmere in zaščito.**
2. **EMC je projektni in prevzemni kriterij.** Oprema, ki izpolnjuje osnovne funkcije, lahko še vedno povzroča motnje v komunikaciji ali kakovosti električne energije.
3. **Baterijski hranilnik ni izvzet iz zahtev varne priključitve.** Sprememba konfiguracije za merilnim mestom lahko vpliva na izdano soglasje in zaščitno shemo.
4. **Razvoj omrežja in priključevanje morata biti načrtovana usklajeno.** Administrativna poenostavitev ne odpravi fizičnih omejitev vodov, transformatorjev ali napetostnih razmer.

Inženirska uporaba

Za priključni projekt se priporoča kontrolni seznam tehničnih podatkov, analiz kakovosti napetosti in EMC, zaščitnih nastavitev, obratovalnih režimov, skladnosti razsmernikov ter izvedenih preskusov. Za pravne sklice je treba uporabljati veljavna konsolidirana besedila predpisov in zadnje spremembe SONDSEE.

Za nadaljnji študij: Sistemska obratovalna navodila za distribucijski sistem električne energije (SONDSEE)https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=ANJP39; ELES – operater elektroenergetskega sistema; Evropska komisija – predlog COM(2025)1007.

10. Dr. Marko Klančišar, Weishaupt – Quo vadis, energia? Alternativna goriva in vodik

Bistveni poudarki

Drugo predavanje je problematiko energetskega prehoda postavilo v širši okvir končne porabe energije in prihodnosti goriv. Stavbni sektor in ogrevanje ostajata pomembna potenciala za povečanje učinkovitosti, vendar razogljičenje ni omejeno na elektrifikacijo. Predstavitev je

obravnavala bioplin, biometan, kanalizacijski plin, utekočinjeni naftni plin in vodik ter njihove zahteve pri zgorevanju v nadtlačnih sistemih.

Pri vodiku je bila poudarjena razlika med visoko **masno** energijsko gostoto in nizko **prostorninsko** energijsko gostoto. Predstavitev navaja približno 3,0 kWh/Nm³ kurilne vrednosti vodika proti okoli 10,35 kWh/Nm³ za primerjani zemeljski plin. Zato volumenski odstotek primesi vodika ni enak odstotku nadomeščene energije. Spremenijo se pretoki, Wobbejev indeks, lastnosti vžiga in zgorevanja, nevarnost povratnega udara plamena ter zahteve za materiale in gorilnik.

Prikazane so bile omejitve združljivosti posameznih naprav z mešanicami vodika, zahteve po dodatnih varovalih plamena in po ustreznem upravljanju plinske instalacije. Pri zgorevanju vodika ne nastaja CO_2 iz vodika kot goriva, vendar to **ne pomeni ničelnih emisij v življenjskem ciklu**, niti nujno odsotnosti NOx pri zgorevanju v zraku. Predavatelj je opozoril na višje temperature plamena in možnost večjega nastajanja termičnih dušikovih oksidov.

Primerjana sta bila vodik iz reformiranja fosilnih goriv ter vodik iz elektrolize z električno energijo obnovljivega izvora. V predstavitvi je za elektrolizo uporabljena projektna predpostavka približno **55 kWh električne energije za kilogram vodika**. Gre za vhodni parameter ilustrativnega energetskega računa; dejanska specifična poraba je odvisna od tehnologije, sistemskih meja in režima delovanja. Predstavljeni so bili tudi stroški in negotovosti komercializacije vodika.

Zaključki

1. **Vodik je energetski nosilec, njegova okoljska učinkovitost je odvisna od načina proizvodnje in dobavne verige.**
2. **Mešanje vodika v zemeljski plin zahteva preračun energije in karakteristik zgorevanja.** Volumenski delež sam po sebi ni merilo prihranka CO_2 na dostavljeno kWh.
3. **Združljivost gorilnikov in kotlov je modelno specifična.** Splošne navedbe o dovoljenih deležih vodika ne nadomeščajo certifikata naprave.
4. **Poleg CO_2 so pomembni NOx, procesna varnost, oskrbna zanesljivost in celotni sistemski izkoristek.**

Inženirska uporaba

Za obravnavo alternativnih plinov je priporočena materialna in energijska bilanca, analiza Wobbejevega indeksa, temperaturnih režimov, emisij NOx, varnosti plinske instalacije, certificirane združljivosti opreme ter scenarijev razpoložljivosti goriva. Primerjava vodika z neposredno elektrifikacijo mora vključiti vse pretvorbene stopnje in stroške, ne samo ceno gorilnika.

Za nadaljnji študij: IEA – Global Hydrogen Review 2025; Weishaupt – industrijski gorilniki in ogrevalni sistemi.

11. Mag. Domen Preložnik, Laboratorij za slikovne tehnologije UL FE – Ko se umetna inteligenca priključi na omrežje

Bistveni poudarki

Razvoj velikih modelov umetne inteligence in povečevanje računske gostote podatkovnih centrov ustvarjata novo kategorijo koncentriranega elektroenergetskega odjema. Pri načrtovanju niso odločilne le računske naprave, temveč celotna infrastruktura: napajalni vodi in transformatorji, neprekinjeno napajanje, redundantni razdelilni sistemi, hlajenje, odziv v prehodnih režimih ter razpoložljivost vode oziroma odvajanja toplote, kjer to zahteva tehnologija hlajenja.

V strokovni razpravi so bili predstavljeni obsežni podatkovni centri velikih tehnoloških podjetij ter posledice njihovega razvoja za električno moč in načrtovanje omrežij. Pri tovrstnih projektih je pomembno ločiti **IT-moč**, **skupno priključno moč** in **dejansko porabo električne energije**. Ti kazalniki niso zamenljivi; nanje vplivajo izkoriščenost računske opreme, redundantne rezerve in učinkovitost podpornih sistemov. Primerjava načrtovane priključne moči z nazivnimi močmi elektrarn je lahko ilustrativna, vendar sama ne predstavlja napovedi letne porabe.

Zaradi spremenljivosti računske obremenitve in potrebe po visoki zanesljivosti je treba skupaj obravnavati profile odjema, rezerviranje, kakovost napajanja, koordinacijo zaščit in možnosti izrabe odvečne toplote. Povečevanje infrastrukture umetne inteligence zato ni zgolj vprašanje informatike, temveč pomemben problem elektroenergetskega in prostorskega načrtovanja.

Zaključki

1. **Podatkovni center je infrastrukturno intenziven odjemalec, katerega energetski vpliv presega samo moč strežnikov.**
2. **Projektiranje zahteva ločeno bilanco IT-opreme, električnih izgub, hlajenja in rezerviranja.**
3. **Dostopnost priključne moči postaja pomemben lokacijski kriterij.** Nujni so zgodnje usklajevanje z omrežnim operaterjem in realni razvojni roki.
4. **Energetsko učinkovitost je treba preverjati s celovitimi in med seboj primerljivimi kazalniki**, pri čemer je treba jasno določiti sistemsko mejo meritev.

Inženirska uporaba

V študiji izvedljivosti naj bodo najmanj prikazani projektna priključna moč, predvideni časovni profil, stopnja redundance, sistem hlajenja, vrednotenje odvečne toplote in vplivi na lokalno omrežje. Viri iz svetovnih projekcij ne morejo nadomestiti podatkov posameznega investitorja.

Za nadaljnji študij: IEA – Energy and AI, energetika podatkovnih centrov; IEA – Key Questions on Energy and AI.

Opomba o viru: Posebna predstavitev tega predavanja ni bila vključena v prejeti arhiv; povzetek temelji na prej posredovanem vsebinskem zapisu dogodka. Ne vsebuje pripisanih neposrednih izjav ali nepreverjenih numeričnih vrednosti predavatelja.

12. Nataša Černila Zajc, Eko sklad – Financiranje učinkovite rabe energije in okoljskih naložb

Bistveni poudarki

Energetska prenova ni le tehnični poseg, temveč reguliran investicijski projekt, pri katerem so upravičenost stroškov, čas začetka naložbe, dokazovanje prihrankov, kreditna sposobnost in pravila državnih pomoči ključni že v projektni zasnovi. Predstavnica Eko sklada je predstavila nepovratne spodbude in ugodne kredite za podjetja, lokalne skupnosti in prebivalce ter možnost financiranja energetskih pregledov in sistemov upravljanja z energijo.

Poseben poudarek je bil namenjen **javnemu pozivu 88KOH-PO26**, ki združuje kreditiranje postopnih celovitih energetskih prenov poslovnih stavb z nepovratno podporo v obliki odpisa dela glavnice. Po predstavljenem modelu lahko ob izpolnitvi pogojev delni odpis doseže **do 40 % odobrenega kredita**; predavanje je izpostavilo tudi potrebo po **najmanj 20-odstotnem prihranku primarne energije** in pogoju, da se naložba ne začne pred oddajo vloge. To so povzetki bistvenih pogojev, ne popoln pravni opis javnega poziva. Zahteve glede upravičencev, lastništva in uporabe stavbe, eligible ukrepov, dokazil in državne pomoči je treba vedno preveriti v uradnem besedilu in prilogah.

Za poslovne subjekte so bile obravnavane tudi spodbude za učinkovito rabo energije (med drugim **118FS-PO24**), energetske preglede in upravljanje energije (**113SUB-EPPO24**) ter kreditiranje okoljskih naložb (**83PO25**). Za okolju prijazna vozila pravnih oseb in občin je pomemben poziv **76POEV24**, ki je namenjen **kreditiranju vozil**, ne splošni energetski učinkovitosti tehnoloških procesov. Za lokalne skupnosti in prebivalce obstajajo ločeni instrumenti; pogoji se lahko razlikujejo glede na vrsto stavbe, število posameznih delov, status vlagatelja in vrsto naložbe.

Predavateljica je opozorila tudi na pravila državnih pomoči: prag **de minimis 300.000 EUR v obdobju treh let** in možnost uporabe drugačne pravne podlage (npr. GBER) pri določenih projektih. Dopustna višina pomoči in združevanje različnih spodbud zahtevata individualno presojo.

Zaključki

1. **Razpisni pogoji so vhod v projektiranje, ne administrativna naloga po koncu projekta.** Zahtevani energetski prihranki vplivajo na obseg, izbiro ukrepov in metodologijo izračuna.
2. **Energetsko stanje pred prenovo in stanje po prenovi morata biti dokazljivo primerljiva.** Vnaprej je treba določiti izhodišče, sistemsko mejo ter metodologijo za izkaz prihrankov.
3. **Pravočasnost oddaje vloge je lahko odločilna.** Preuranjen začetek ali zavezujoče naročilo lahko ogrozi upravičenost do podpore.
4. **Finančna konstrukcija mora vključevati državno pomoč, kreditne obveznosti in scenarij neizpolnitve pogojev.**

Inženirska uporaba

Pred oddajo naj projektna skupina pripravi popis energetskih ukrepov, izračun primarne energije pred posegom in po njem, dokazila o lastništvu in rabi stavbe, terminski načrt ter matriko upravičenih stroškov. Vloga za financiranje naj temelji na istem tehničnem konceptu kot projektna in izvedbena dokumentacija; sicer obstaja tveganje neskladnosti ob zaključnem dokazovanju.

Za nadaljnji študij: Eko sklad – uradni seznam spodbud za gospodarstvo; Eko sklad – javni pozivi za gospodarstvo; Eko sklad – spodbude za prebivalstvo.

Opomba o viru: Povzetek temelji na ločenem prejetem transkriptu predstavitve in naknadno posredovanem pregledu spodbud. Ker so razpisi časovno spremenljivi, je pred vsako prijavo treba preveriti zadnjo uradno objavo in spremembe.

Skupni inženirski zaključki 6. DNEVA DECE

Vsebinske povezave med predavanji potrjujejo, da zelenega prehoda ni mogoče obravnavati kot neodvisen seštevek novih proizvodnih in porabniških naprav. Gre za **sistemsko spremembo elektroenergetske infrastrukture** s posledicami za omrežna sredstva, projektiranje priključitev, krmiljenje, varnost, nabavo in investicijsko ekonomiko.

Prvič – načrtovati je treba moč, energijo in časovni profil. Letna MWh bilanca ne pojasni zimskih konic ogrevanja, poletnega hlajenja, kratkotrajnih aktivacij hranilnikov in sočasnega polnjenja električnih vozil. Odločitve zahtevajo dovolj podroben časovni model.

Drugič – prožnost mora biti tehnično izvedljiva in merljiva. Funkcije BESS, SG Ready, EMS in dinamičnega polnjenja imajo vrednost šele, ko so povezane s konkretnim signalom, dogovorjenim obratovalnim režimom, merjenjem in odgovornostjo za delovanje.

Tretjič – varnost in elektromagnetna združljivost sta projektni funkciji. R290, visokoenergijski baterijski sistemi, močnostni pretvorniki in priključki povečujejo pomen analiz tveganja, zaščitnih ukrepov, kakovosti montaže ter preskusov ob zagonu.

Četrtič – zanesljivost je tudi ekonomski parameter. Zgolj najnižja ponudbena cena ne izkaže stroškov izgub, izpadov, vzdrževanja, degradacije, garancijskih omejitev ali ravnanja z odpadno opremo.

Petič – regulativa in financiranje morata biti vključena dovolj zgodaj. Priključni pogoji, tehnične zahteve, standardi in javni pozivi so del projektnega izhodišča. Naknadno prilagajanje že izvedene investicije je pogosto dražje ali pravno neizvedljivo.

Sklep: Uspešna izvedba energetskih naložb zahteva interdisciplinarno skupino elektro- in strojnih inženirjev, strokovnjakov za regulacijo ter upravljanje energije, projektantov, investitorjev in operaterjev omrežja. Najpomembnejši rezultat strokovnega srečanja je prenos preverljivih praktičnih izkušenj v boljše projektne odločitve.