

PRIROČNIK ZA BATERIJSKE HRANILNIKE ELEKTRIČNE ENERGIJE

MATIČNA SEKCIJA ELEKTRO INŽENIRJEV



Avtorji:

mag. Andrej ZOREC, univ. dipl. inž. el.
mag. Igor PODBELŠEK, univ. dipl. inž. el.
Gregor KUŠAR, univ. dipl. kem.

Strokovni pregled in recenzija:

mag. Andrej KORAK, univ. dipl. gosp. inž.

PRIROČNIK ZA BATERIJSKE HRANILNIKE ELEKTRIČNE ENERGIJE

MATIČNA SEKCIJA ELEKTRO INŽENIRJEV

Avtorji:

mag. Andrej ZOREC, univ. dipl. inž. el.
mag. Igor PODBELŠEK, univ. dipl. inž. el.
Gregor KUŠAR, univ. dipl. kem.

Strokovni pregled in recenzija:

mag. Andrej KORAK, univ. dipl. gosp. inž.

Izdala:

Inženirska zbornica Slovenije
Jarška cesta 10 b, Ljubljana

Oblika izdaje:

elektronska verzija, dostopno na www.izs.si

Ljubljana, december 2025

Kazalo

1. ZAKONODAJA IN STANDARDI	6
1.1. Zakonodaja	6
1.2. Standardi	10
2. KLASIFIKACIJE, IZRAZI IN DEFINICIJE	18
2.1. Splošno	18
2.2. Izrazi in definicije SIST EN IEC 62485-5:2021	21
2.3. Izrazi in definicije SIST EN IEC 62485-2:2018	23
2.4. Izrazi in definicije SIST EN IEC 62619:2022	24
2.5. Izrazi in definicije SIST EN IEC 62933-4-2:2025	25
2.6. Opredelitev pojmov Uredba EU 2023/1542)	26
2.7 . Ostali izrazi in definicije	29
3. UMEŠČANJE V PROSTOR IN V OBJEKTE	30
3.1. Lokacije namestitve	30
3.2.Ohišja in prostori	30
3.3. Prepovedane lokacije	30
3.4. Priporočeni načini namestitve	31
4. ELEKTRIČNA IN POŽARNA VARNOST	35
4.1 Električna varnost	35
4.1.1 Namestitev BHEE	35
4.1.2 Posebne zahteve za ločene prostore za BHEE	36
4.1.3 Posebne zahteve za ločena območja v prostorih	36
4.1.4 Ohišja BHEE	37
4.1.5 Izolacija in ožičenje	38
4.1.6 Zaščita pred električnim udarom	38
4.1.7 Odklop in ločitev	38
4.1.8 Preprečevanje kratkih stikov in zaščita pred drugimi učinki električnega toka	39
4.1.9 Zaščita pred nevarnostmi	40
4.1.10 Identifikacijske nalepke, opozorila in navodila za uporabo	40
4.1.11 Osnovne zahteve za dokumentacijo, uporabo in vzdrževanje	41
4.1.12 Pregled in spremljanje (monitoring)	43
4.1.13 Elektromagnetna združljivost (EMC)	43
4.1.14 Specifične zahteve in testi	44

4.2. Požarna varnost	44
4.2.1. Požarnovarnostne zahteve za stacionarne BHEE	44
4.2.2 Požarna odpornost	47
4.2.3 Kroženje zraka in mehansko prezračevanje	48
4.2.4 Nadzor eksplozije	48
4.2.5 Trdnost ohišja in deflagracijsko odzračevanje	49
4.2.6 Stopnje prezračevanja za preprečevanje nastanka eksplozivne atmosfere	49
4.2.7 Zgodnje posredovanje za preprečevanje temperaturnega pobega	50
4.2.8 Strategije zgodnjega posredovanja	50
4.2.9 Oddaljeni nadzor/monitoring/spremljanje stanja	51
4.2.10 Avtomatski sistemi gašenja	52
4.2.11 Zajem požarne vode	53
4.2.12 Dodatni požarno varnostni ukrepi	53
4.2.13 Izolirani BHEE	53
4.2.14 Označevanje BHEE	54
4.3. Okoljska vprašanja	53
4.3.1 Klasifikacija tipov BHEE	55
4.3.2. Povzetek tipičnih lastnosti komercialnih BESS inštalacij	55

5. TEHNIČNA PRIPOROČILA ZA PROJEKTIRANJE BHEE	56
5.1. Postopek za postavitve in priključitve BHEE, projektna dokumentacija, priključne sheme	56
5.2. Vodenje in kibernetska varnost BHEE	62
5.3. Dimenzioniranje parametrov BHEE	63
5.3.1 Optimizacija parametrov moči in kapacitete BHEE	65
5.3.2 Obratovanje in pravila vodenja ob presežkih EE	69

6. PREGLED IN PREIZKUŠANJE	72
-----------------------------------	-----------

7. PRILOGE:	74
PRILOGA 1: Posamezne splošne tipske sheme vezave hranilnikov v sistemu FE in konfiguraciji "prosumer"	74
PRILOGA 2: Posamezne splošne tipske sheme PS.1, PS.2 in PS.3 iz Priloge 5 SONDSEE	78
PRILOGA 3: Posamezni sistemski diagrami vezave sistema BHEE v sistemih ozemljevanja TN-C, TN-C-S, TT, IT	83
PRILOGA 4: Tipična shema BHEE priklopljenega na NN omrežje	86
PRILOGA 5: Tipična shema BHEE priklopljenega na SN omrežje	87
PRILOGA 6: Primer izračuna optimalne baterije za industrijski objekt s SE	88
PRILOGA 7: Odločitveni diagram nameščanja več BHEE z vidika požarne varnosti	98

Uvodnik

Znaraščajočim deležem razpršene proizvodnje iz obnovljivih virov električne energije, v Sloveniji predvsem iz fotovoltaičnih elektrarn na stanovanjskih, industrijskih in poslovnih objektih, ter vse bolj dinamičnim tržnim pogojem oskrbe z električno energijo in nadomestilom za uporabo omrežij, se povečuje tehnično-ekonomska potreba po uporabi baterijskih hranilnikov električne energije (BHEE) tako za poslovne (v industriji in poslovnih stavbah) kot domače potrebe v stanovanjskih stavbah.

Baterijski hranilniki električne energije so pomemben in priročen kratkoročni hranilnik energije in eni ključnih novih elementov, ki omogočajo trajnostni razvoj, zeleno mobilnost, čisto energijo in podnebno nevtralnost. Po predvidevanjih se bo uporaba BHEE v prihodnjih letih še povečevala, zlasti pri osebnih in tovornih električnih vozilih. Nezanemarljiv delež pa bo v prihodnje pripadel tudi BHEE za potrebe uporabe hrambe energije v objektih ali samostojno, kot neposredno priključen element na elektroenergetsko omrežje.

Matična sekcija elektro inženirjev (MSE) je pripravila Priročnik za baterijske hranilnike električne energije, ki je namenjen prvenstveno v pomoč pri projektiranju BHEE in ga lahko uporabljajo pooblaščen inženirji vseh strok.

Predstavlja pripomoček projektantom, investitorjem, izvajalcem in vzdrževalcem. Njegov namen je, da so na enem mestu zbrane zahteve za projektiranje BHEE.

Opomnik: Trenutna verzija priročnika upošteva veljavno zakonodajo in predpise v decembru 2025. V primeru sprememb EU direktiv, EU uredb, nacionalne zakonodaje, predpisov, standardov in tehničnih smernic se bodo pripravljale dopolnitve tega priročnika.

1. ZAKONODAJA IN STANDARDI

1.1 Zakonodaja

Zakonodajno-regulatorne zahteve in obravnava le-teh za uspešno implementacijo in oblikovanje dolgoročne vizije uporabe BHEE s stališča zakonodaje in regulative so celovito analizirani v naslednjih relevantnih pravnih virih:

- **Uredba komisije (EU) 2016/631**
(Zahteve za priključitev proizvajalcev električne energije na omrežje, angl. Requirements for Generators — **RfG**¹) in predlog novega RfG 2.0².
- **Direktiva (EU) 2019/944 (Skupna pravila notranjega trga EE - prenova)**³,
- **Zakon o oskrbi z električno energijo (ZOEE-A)**⁴,
- **Sistemska obratovalna navodila za prenosni sistem (SONPO) s prilogami**⁵,
- **Sistemska obratovalna navodila za distribucijski sistem električne energije (SOND-SEE) s prilogami**⁶,
- **Ostale zahteve ELES**, kot kombiniranega operaterja prenosnega in distribucijskega sistema in **nacionalnega regulatorja AGEN-RS**:
 - Pravila in pogoji za ponudnike storitev izravnave (PSI)⁷,
 - Neizčrpna pravila AGEN-RS za EEM⁸,
 - Omrežninski akt AGEN-RS.

Uredba RfG (1.0, 2016 in 2.0, predlog 2025)

Uredba Komisije (EU) 2016/631 (*angl. Requirements for Generators*, v nadaljevanju RfG) vzpostavlja kodeks omrežja, ki določa zahteve za priključitev objektov za proizvodnjo električne energije oz. elektroenergijskih modulov (v nadaljevanju EEM), in sicer sinhronsko povezane elektroenergijske module (SPEM), module v proizvodnem polju (MPP) in priobalne module v proizvodnem polju, na interkonekcijski sistem. RfG določa tudi obveznosti SOPO/SODO, da zagotovijo ustrezno izkoriščanje zmogljivosti objektov za proizvodnjo električne energije na pregleden in nediskriminatoren način, tako da se zagotovijo enaki konkurenčni pogoji v celotnem elektroenergetskem sistemu (v nadaljevanju EES). Kljub temu, da BHEE lahko klasificiramo med EEM v skladu s 5. členom RfG — d. točka 2. odstavek 3. Člena, RfG določa, da se ta uredba za hranilnike električne energije ne uporablja.

¹ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0631>

² https://www.acer.europa.eu/sites/default/files/documents/Recommendations_annex/ACER_Recommendation_03-2023_Annex_1a_NC_RfG_TC_to_original.pdf

³ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02019L0944-20240716>

⁴ <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=ZAK09115>

<https://e-uprava.gov.si/si/drzava-in-druzba/e-demokracija/predlogi-predpisov/predlog-predpisa.html?id=17183&lang=si>

⁵ https://www.eles.si/Portals/0/News/2025-01-31_SONPO%202025_javna%20obravnavna.pdf

⁶ <https://www.sodo.si/sl/kdo-smo/zakonodaja/sondsee/veljavni-dokumenti-sondsee>

⁷ <https://www.eles.si/Obratovanje/Sistemske-storitve/Pogoji-za-sodelovanje>

⁸ https://www.agen-rs.si/documents/10926/65748/Predlog_neizcrpnih_zahtev_iz_Uredbe_EU_2016-631---30-10-2018.pdf/7ae15c31-4277-45fa-833b-87829337a960

Zato se postavi vprašanje, katere zahteve mora BHEE izpolnjevati, da zadosti obstoječim nacionalnim predpisom ter predpisom EU. Kot izhodiščno točko lahko omenimo, da ELES obravnava BHEE kot modul za shranjevanje EE (MSEE), katerega pogoji so sestavljeni na podlagi RfG in Uredbe Komisije (EU) 2016/1388 (*angl. Network Codes for Demand Connection: NC DC oz. Demand Connection Code: DCC*).

V vsakem primeru trenutno veljavna RfG izključuje hranilnike EE iz uporabe njenih določb⁹, naredimo lahko le analogijo med trenutno veljavnim in tistim, kar se pričakuje, da bo sprejeto na podlagi nove RfG. Tako kot sedaj veljavna RfG ureja izčrpne zahteve za EEM ter odločitve Agen-RS določajo neizčrpne zahteve za EEM, je pričakovati, da bodo na podoben način določene tudi zahteve za BHEE na podlagi nove RfG. Zaradi lastnosti BHEE je predvideti, da bodo v novem RfG baterijski hranilniki obravnavani kot ločena skupina EEM, tako kot so v trenutno veljavnem RfG ločeno obravnavani sinhronsko povezani EEM in MPP. Ker so BHEE povezani z EES preko pretvornikov močnostne elektronike, lahko sklepamo, da bodo dokončni pogoji za BHEE v novem RfG podobni tistim za MPP.

Evropska Komisija je septembra 2022 pozvala Agencijo za sodelovanje evropskih energetskih regulatorjev (v nadaljevanju ACER), da začne s postopkom revidiranja omrežnih kodeksov med katere sodi RfG. Posodobitev obstoječih kodeksov je potrebna zaradi hitrega razvoja v elektroenergetskem sektorju, zlasti na področju shranjevanja energije, e-mobilnosti in energetskih skupnosti.

Decembra 2023 je ACER Evropski Komisiji posredovala Predlog nove RfG (2.0). Nekatere ključne spremembe RfG, ki jih ACER v zadevnem dokumentu predlaga, so naslednje:

- posodobitev definicij pojmov in širitev področja uporabe RfG na nove hranilnike električne energije in električna vozila (v nadaljevanju EV),
- uveljavitev kriterijev za modernizacijo EEM glede na predloge različnih SOPO,
- opredeliti nove zahteve za module za shranjevanje električne energije (v nadaljevanju MSEE) ter zahteve za različna EV (skupaj s polnilnimi parki).

Določbe RfG vsebujejo izčrpne zahteve za EEM, ki se uporabljajo tako kot so opredeljene v RfG ter od njih ni odstopanj. Dodatno je treba upoštevati tudi značilnosti in posebnosti vsakega posameznega EES, za kar so z RfG predvidene tudi t.i. neizčrpne zahteve za EEM. Neizčrpne zahteve za EEM v slovenskem EES določa Agencija za energijo (v nadaljevanju AGEN-RS) kot slovenski regulativni organ skladno z RfG. Odločitve AGEN-RS o neizčrpnih zahtevah za EEM je zato treba uporabljati komplementarno z izčrpnimi zahtevami iz RfG.

Če bodo torej, tako kot to trenutno velja za EEM, poleg izčrpnih zahtev z novo RfG predvidene tudi neizčrpne zahteve, je v skladu z dosedanja prakso pričakovati, da bo po začetku veljave nove RfG treba počakati še na odločitev AGEN-RS o nacionalnih neizčrpnih zahtevah, ki bo sprejeta na predlog systemskega operaterja prenosnega sistema (Eles). To bo tako, saj gre pri izčrpnih zahtevah za zahteve, ki so dokončno urejene z uredbo EU in od njih ni odstopanj. Uporabljajo se v celoti tako, kot so zapisane v Uredbi EU. Neizčrpne zahteve so po drugi strani rezultat upoštevanja pravice vsake države članice EU (npr. Slovenije), da pri oblikovanju teh zahtev upošteva specifične lastnosti svojega (nacionalnega) EES.

⁹ d. točka 2. odstavek 3. člena RfG.

Direktiva 2019/944/EU (2019, zadnja prenova 2024) in ZOEE-A (2025)

V zvezi z nacionalno zakonodajo je za potrebe te študije pomemben predvsem Zakon o oskrbi z električno energijo (v nadaljevanju ZOEE-A). Ta zakon med drugim prenaša Direktivo (EU) 2019/944 o skupnih pravilih notranjega trga električne energije (v nadaljevanju Direktiva 2019/944/EU). Zato je treba oba akta in njune relevantne določbe obravnavati skupaj.

Namen Direktive 2019/944/EU in ZOEE je zagotoviti konkurenčno, varno, zanesljivo in dostopno oskrbo z električno energijo ob upoštevanju načel trajnostnega razvoja ter vzpostaviti celovite konkurenčne, prožne, pravične in pregledne trge električne energije.

Zadevna akta izpostavljamo predvsem z vidika dejavnosti shranjevanja električne energije kot eno izmed tržnih elektroenergetskih dejavnosti. V obeh aktih so na sistemski ravni poenotene definicije pojmov na področju shranjevanja energije, kot so:

- »shranjevanje energije«,
- »naprava za shranjevanje energije¹⁰«,
- »sistemska storitev«,
- »nefrekvenčna sistemska storitev« itd.

Sistemska obratovalna navodila (SONPO, SONDSEE)

SONPO in SONDSEE urejata obratovanje in način vodenja prenosnega in distribucijskega sistema električne energije¹¹. Obratovalna navodila na nacionalni ravni urejajo:

- tehnične in druge pogoje za sigurno in varno obratovanje prenosnega in/ali distribucijskega sistema z namenom zagotovitve zanesljive in kakovostne oskrbe z električno energijo,
- vrsto, strukturo, frekvenco in način izmenjave podatkov med elektrooperaterji, potrebnih za varno obratovanje in učinkovito vodenje sistemov,
- tehnične zahteve ter pogoje za priključitev uporabnikov,
- postopke pri motenem obratovanju sistema,
- način zagotavljanja sistemskih storitev,
- tehnične pogoje za medsebojno priključitev in delovanje sistemov različnih sistemskih operaterjev,
- postopke za obratovanje sistemov v kriznih stanjih,
- monitoring kakovosti storitev oskrbe z elektriko,
- stroške tehničnih ukrepov, ki so potrebni za priključitev novih proizvajalcev elektrike.
-

Vsak uporabnik prenosnega sistema, mora izpolnjevati vse tehnične zahteve ter pogoje za priključitev uporabnikov sistema na prenosni sistem, kot jih določajo SONPO. SONPO je v fazi noveliranja in je bil v javni obravnavi v letu 2025. Poleg tega, prenovljena SONPO upoštevajo tudi prihajajočo zakonodajo EU, konkretnije predloge ACER iz osnutka predloga nove uredbe RfG 2.0.

¹⁰ Direktiva (EU) 2019/944 sicer govori o »objektu« za shranjevanje energije, in ne o »napravi«, kot je določeno v ZOEE. Kjer se v nadaljevanju študije pojavi izraz »naprava za shranjevanje energije«, je s tem mišljen »objekt za shranjevanje energije«, kot to določa Direktiva (EU) 2019/944.

¹¹ 1. odstavek 136. Člena ZOEE in 1. člen SONPO.

V zvezi z novim predlogom SONPO izpostavljamo, da pravno-formalno ureja klasifikacijo hranilnikov električne energije, ki so priključeni na prenosno omrežje. V zvezi s SONDSEE pa izpostavljamo priložnost 5: *Navodila za priključevanje in obratovanje proizvodnih naprav in hranilnikov priključenih v distribucijsko elektroenergetsko omrežje*¹². Ta navodila podajajo tehnične pogoje in karakteristike, ki jih je treba upoštevati pri priključevanju in obratovanju proizvodnih naprav in hranilnikov električne energije, ki so priključeni v distribucijski elektroenergetski sistem (DEES) Slovenije. Ne glede na določila Uredbe komisije (EU) 2016/631 o vzpostavitvi kodeksa omrežja za zahteve za priključitev proizvajalcev električne energije na omrežje (RfG), kjer so BHEE in PEV izvzeti iz obveznosti uporabe določb te uredbe, se za priključevanje in obratovanje BHEE in PEV do izdaje posebnih navodil za priključevanje in obratovanje BHEE in PEV uporabljajo vse določbe teh Navodil in uredbe RfG. Navedba zahtev je podana v vsakem soglasju za priključitev, ki ga izda kombiniran sistemski operater ELES. BHEE in PEV se tako glede na uporabljen tehnologijo pri pretvorbi shranjene energije v električno energijo omrežne frekvence obravnava kot vsak drug EM (SPEM ali MPP). V času, ko BHEE ali PEV na svojih sponkah odjema delovno moč iz omrežja, se v tehničnem smislu obravnava kot porabnik električne energije. V tem času veljajo zanj enaka tehnična pravila in obveze kot za vse ostale porabniške naprave v omrežju uporabnika omrežja, vključno z dovoljenim odjemom jalove moči. V času, ko BHEE ali PEV na svojih sponkah proizvaja delovno moč (na svojih sponkah oddaja delovno moč v omrežje) se v tehničnem smislu obravnava kot proizvajalec električne energije (proizvodna naprava oziroma EM) in zanj veljajo vse tehnične določbe teh Navodil (vključno z načinom obratovanja, regulacijo jalove moči,...).

Uredba EU 2023/1542 o baterijah in odpadnih baterijah

Uredba (EU) 2023/1542 Evropskega parlamenta in Sveta, z dne 12. julija 2023, govori o baterijah in odpadnih baterijah, spremembi Direktive 2008/98/ES in Uredbe (EU) 2019/1020 ter razveljavitvi Direktive 2006/66/ES.

Baterije so pomemben vir energije in eden ključnih dejavnikov, ki omogočajo trajnostni razvoj, zeleno mobilnost, čisto energijo in podnebno nevtralnost. Po predvidevanjih se bo povpraševanje po baterijah v prihodnjih letih hitro povečevalo, zlasti za električna vozila za cestni prevoz in lahka vozila, ki uporabljajo baterije za pogon, zaradi česar bo imel trg baterij čedalje večji strateški pomen na svetovni ravni. Znatno znanstveni in tehnološki napredek na področju tehnologije baterij se bo nadaljeval. Zaradi strateškega pomena baterij ter za zagotovitev pravne varnosti vsem vključenim subjektom ter preprečitev diskriminacije, ovir za trgovino in izkrivljanj na trgu baterij je treba določiti pravila o trajnostnosti, delovanju, varnosti, zbiranju, recikliranju in drugi življenjski dobi baterij ter informacijah o baterijah za končne uporabnike in gospodarske subjekte. Oblikovati je treba harmoniziran regulativni okvir za obravnavanje celotnega življenjskega cikla baterij, ki se dajo na trg v Uniji.

Pomembno je, da se pri izvajanju te uredbe upoštevajo okoljski, socialni in ekonomski vplivi. Poleg tega je za zagotovitev enakih konkurenčnih pogojev pomembno, da se pri izvajanju te uredbe enakovredno upoštevajo vse ustrezne razpoložljive tehnologije, pod pogojem, da te tehnologije omogočajo, da baterije v celoti izpolnjujejo vse ustrezne zahteve iz te uredbe. Poleg tega gospodarskim subjektom, zlasti malim in srednjim podjetjem, ne bi smeli naložiti pretiranega upravnega bremena.

¹² <https://www.sodo.si/storage/app/uploads/public/66e3d55c066e3d55c0ed3c861514672.pdf>

Uredba o izvajanju Uredbe (EU) o baterijah in odpadnih baterijah

S to uredbo se določajo pristojni organi, nadzor, prekrški in kazenske določbe za izvajanje Uredbe (EU) 2023/1542 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 12. julija 2023 o baterijah in odpadnih baterijah, spremembi Direktive 2008/98/ES in Uredbe (EU) 2019/1020 ter razveljavitvi Direktive 2006/66/ES.

1.2 Standardi

V nadaljevanju so predstavljeni standardi:

SIST EN IEC 62485-5:2021 Varnostne zahteve za sekundarne baterije in baterijske naprave - 5. del: Varnostne zahteve za nepremične litij-ionske baterije

Standard SIST EN IEC 62485-5:2021 se uporablja za se uporablja za namestitve ene ali več stacionarnih sekundarnih baterij z največjo skupno enosmerno napetostjo 1500 V na katerikoli enosmerni del električnega omrežja in opisuje glavne ukrepe za zaščito med normalnim delovanjem ali v pričakovanih okvarnih pogojih pred nevarnostmi, ki nastanejo zaradi:

- elektrike,
- kratkih stikov,
- elektrolita,
- emisije plinov,
- požara,
- eksplozije.

Priporočila vsebujejo zahteve glede varnostnih vidikov, povezanih z namestitvijo, uporabo, pregledom, vzdrževanjem in odstranjevanjem litij-ionskih baterij, ki se uporabljajo v stacionarnih primerih uporabe.

Obravnavamo tudi stacionarne baterije za industrijsko uporabo, ki so nameščene v ločenih zaprtih stavbah ali ohišjih, ter stacionarne baterije, ki so nameščene v javnih stavbah, pisarnah in zasebnih stanovanjih. Ta dokument zajema tudi vzdrževanje in odstranjevanje litij-ionskih baterij, ki se uporabljajo v stacionarnih primerih uporabe.

SIST EN IEC 62485-2:2018 Varnostne zahteve za sekundarne baterije in baterijske naprave - 2. del: Nepremične baterije

Standard SIST EN IEC 62485-2:2018 se uporablja za stacionarne sekundarne baterije in baterijske instalacije z največjo napetostjo enosmernega toka 1500 V (nominalno) in opisuje glavne ukrepe za zaščito pred nevarnostmi, ki jih povzročajo:

- elektrika,
- emisije plinov,
- elektrolit,

ter določa zahteve glede varnostnih vidikov, povezanih z montažo, uporabo, pregledom, vzdrževanjem in odstranjevanjem. Zajema svinčeno-kislinske in NiCd/NiMH baterije. Glavni primeri uporabe so:

- telekomunikacije,
- delovanje elektrarn,
- centralne zasilne razsvetljave in alarmni sistemi,
- neprekinjeni napajalniki,
- stacionarni zagon električne energije,
- fotovoltaični sistemi.

SIST EN 62606:2014 Splošne zahteve, preizkuse in delovanje za naprave, ki so zasnovane za odkrivanje določenih električnih napak v nizkonapetostnih omrežjih (osnova za AFDD, in RCM).

SIST EN 62606:2014/A1:2018 SIST EN 62606:2014/kprA2:2022, SIST EN 62606:2014/kFprAB:2022

Standard IEC 62606:2013 se uporablja za naprave za zaznavanje obločnih stikov (AFDD) za gospodinjstva in podobno uporabo v izmeničnih tokokrogih. AFDD zasnuje proizvajalec: - kot eno samo napravo z odpiralnim sredstvom, ki lahko v določenih pogojih odpre zaščiteni tokokrog; ali - kot eno samo napravo, ki vključuje zaščitno napravo; ali - kot ločeno enoto v skladu s Prilogo D, sestavljeno na kraju samem z deklarirano zaščitno napravo.

Te naprave so namenjene zmanjševanju tveganja požara v končnih tokokrogih fiksne inštalacije zaradi vpliva obločnih tokov, ki predstavljajo tveganje za vžig požar pod določenimi pogoji (npr. če obločni tok ne preneha).

SIST EN 62423:2013 Naprave za zaščito pred električnim udarom – Diferencialni tokovni zaščitni aparati za izmenični in pulzirajoči enosmerni tok – RCBO-ji in RCD-ji tipa F in B

Ta standard BS EN 62423:2012 Odklopniki na preostali tok tipa F in tipa B z vgrajeno zaščito pred prevelikim tokom in brez nje za gospodinjstvo in podobno uporabo je razvrščen v naslednje kategorije ICS:

29.120.50 Varovalke in druge naprave za zaščito pred prevelikim tokom

29.120.01 Električni pribor na splošno

SIST EN IEC 62619:2022 Sekundarni členi in baterije z alkalnimi ali drugimi nekislinskimi elektroliti
 - Varnostne zahteve za sekundarne litijeve člene in baterije za industrijsko uporabo
 Ta dokument določa zahteve in preizkuse za varno uporabo sekundarnih litijevih členov in baterij za industrijsko rabo, vključno s stacionarno uporabo.

Če obstaja mednarodni standard IEC, ki določa preskusne pogoje in zahteve za člene za posebno uporabo ter je v nasprotju s tem dokumentom, ima prednost prvi (npr. skupina standardov IEC 62660 o cestnih vozilih).

V nadaljevanju je navedenih nekaj primerov uporabe členov in baterij v okviru tega dokumenta.

- Stacionarna uporaba: telekomunikacije, napajalniki za neprekinjeno napajanje (UPS), sistem za shranjevanje električne energije, preklapljanje storitev, zasilno napajanje in podobni načini uporabe.
- Pogonska uporaba: viličar, voziček za golf, samodejno vodeno vozilo (AGV), železniška in pomorska vozila, razen cestnih vozil.

Ker ta dokument zajema baterije za različno industrijsko rabo, vključuje skupne in minimalne zahteve za različne načine uporabe. Električna varnost je vključena samo kot del analize tveganja v točki 8. V povezavi s podrobnostmi za obravnavanje električne varnosti je treba upoštevati standardne zahteve za končno uporabo. Ta dokument se uporablja za člene in baterije. Če je baterija razdeljena na manjše enote, je mogoče manjšo enoto preizkusiti kot reprezentativno za baterijo. Proizvajalec jasno deklarira preizkušeno enoto. Proizvajalec lahko preizkušeni enoti doda funkcije, ki jih vsebuje končna baterija. Ta dokument se uporablja za člene in baterije v prvem življenjskem ciklu. Ta dokument ne upošteva vnovične uporabe, spremenjenega načina uporabe, uporabe v drugem življenjskem ciklu in podobnih načinov uporabe.

SISTEN IEC 63056:2021 Sekundarni členi in baterije z alkalnimi ali drugimi neksilinskimi elektroliti
- Varnostne zahteve za sekundarne litijeve člene in baterije za industrijsko uporabo v električnih napravah za shranjevanje energije

Standard IEC 63056:2020 določa zahteve in preskusne za varnost sekundarnih litijevih celic in baterij, ki se uporabljajo v sistemih za shranjevanje električne energije (slika 2) z največjo enosmerno napetostjo 1500 V (nominalno).

Osnovne varnostne zahteve za sekundarne litijeve celice in baterije, ki se uporabljajo v industrijskih aplikacijah, so vključene v standard IEC 62619. Ta dokument določa dodatne ali posebne zahteve za sisteme za shranjevanje električne energije.

Ker ta dokument zajema baterije za različne sisteme za shranjevanje električne energije, vključuje tudi tiste zahteve, ki so skupne in minimalne za sisteme za shranjevanje električne energije.

Primeri naprav, ki spadajo na področje uporabe tega dokumenta, so:

- telekomunikacije,
- centralni sistemi za zasilno razsvetljavo in alarm,
- stacionarni zagon motorja,
- fotonapetostni sistemi,
- domači (stanovanjski) sistemi za shranjevanje energije (HESS) in
- veliki sistemi za shranjevanje energije: v omrežju/izven omrežja.

Ta dokument se uporablja za celice in baterije za neprekinjene napajalnike (UPS). Dokument se ne uporablja za prenosne sisteme z močjo 500 Wh ali manj, ki jih zajema standard IEC 61960-3.

SIST EN IEC 62485-4: 2018 Varnostne zahteve za sekundarne baterije in baterijske naprave - 4. del: Z ventili regulirane baterije za prenosne aparate

Standard SIST EN IEC 62485-4:2018 se uporablja za varnostne vidike, povezane s prilagajanjem postavitve, razporeditvijo tokokrogov ter delovanjem sekundarnih, z ventili reguliranih svinčenih celic in baterij za prenosne aparate.

Določene so zahteve, ki proizvajalce aparatov in sekundarnih baterij zavezujejo k preprečevanju nepravilne uporabe baterij med njihovim delovanjem, zagotavljanju zaščitnih ukrepov, namenjenih preprečevanju telesnih poškodb v primeru okvare baterij, ter zagotavljanju zadostnih informacij uporabnikom.

EN IEC 62933-1:2018 Električne naprave za shranjevanje energije (EES) - 1. del: Terminologija (IEC 62933-1:2018)

Standard SIST EN IEC-1:2028 62933 opredeljuje izraze, ki se uporabljajo za sisteme za shranjevanje električne energije (EES), vključno z izrazi, potrebnimi za opredelitev parametrov enote, preskusnih metod, načrtovanja, namestitve, varnostnih in okoljskih vprašanj.

Ta standard se uporablja za sisteme, povezane z omrežjem, ki lahko pridobivajo električno energijo iz elektroenergetskega sistema, jo shranjujejo interno, in dovajajo električno energijo v elektroenergetski sistem. Faza polnjenja in praznjenja sistema EES lahko vključuje pretvorbo energije.

SIST EN IEC 62933-2-1 Električne naprave za shranjevanje energije (EES) - 2-1. del: Parametri enot in preskusne metode - Splošne zahteve (IEC 62933-2-1:2017)

Ta del standarda IEC 62933 se osredotoča na parametre enote in preskusne metode sistemov EES. Naprave in tehnologije za shranjevanje električne energije ne spadajo na področje uporabe tega dokumenta. Ta dokument obravnava delovanje sistema EES in opredeljuje:

- parametre enote,
- preizkusne metode.

SIST EN IEC 62933-4-2:2025 Sistemi za shranjevanje električne energije (EES) - 4-2. del: Smernice o okoljskih vprašanjih - Ocenjevanje učinkov na okolje pri odpovedi baterije v sistemu, ki temelji na elektrokemičnem hranilniku (IEC 62933-4-2:2025).

Ta del standarda IEC 62933 določa zahteve za ocenjevanje negativnih učinkov na okolje zaradi odpovedi celice, pretočne celice, baterije ali pretočne baterije v akumulacijskem podsistemu baterijskega hranilnika (BESS), in poročanje o njih.

Baterije, zajete v področje uporabe tega dokumenta, ki se uporabljajo v baterijskem hranilniku, so razvrščene glede na vrsto elektrolita (vodni, nevodni ali trdni elektrolit).

Neposredni učinki na okolje zaradi odpovedi drugih komponent baterijskega hranilnika ne spadajo na področje uporabe tega dokumenta.

SIST EN IEC 62485-5:2021 Varnostne zahteve za sekundarne baterije in baterijske naprave - 5. del: Varnostne zahteve za nepremične litij-ionske baterije

Ta del standarda IEC 62485 se uporablja za namestitve ene ali več stacionarnih sekundarnih baterij z največjo skupno enosmerno napetostjo 1500 V na katerem koli delu električnega omrežja ter opisuje glavne ukrepe za zaščito med običajnim delovanjem ali ob pričakovanih okvarah pred nevarnostmi, ki jih povzročajo:

- električna energija,
- kratek stik,
- elektrolit,
- plinaste emisije,
- požar,
- eksplozija.

Standard določa zahteve glede varnostnih vidikov, povezanih z namestitvijo, uporabo, pregledi, vzdrževanjem in odstranjevanjem litij-ionskih baterij za stacionarno uporabo.

Obravnava stacionarne baterije za industrijsko uporabo, ki so nameščene v ločenih zaprtih stavbah ali stanovanjskih objektih, ter stacionarne baterije, ki so nameščene v javnih stavbah, pisarnah in zasebnih bivanjskih objektih. Ta dokument obravnava tudi vzdrževanje in odstranjevanje litij-ionskih baterij za stacionarno uporabo.

SIST EN IEC 62933-5-1:2024 Električne naprave za shranjevanje energije (EES) - 5-1. del: Varnostni vidiki za sisteme EES, vključene v omrežje - Splošna specifikacija (IEC 62933-5-1:2024)

Standard IEC 62933-5-1:2024 določa varnostne vidike (npr. prepoznavanje nevarnosti, ocenjevanje in ublažitev tveganj) za električne naprave za shranjevanje energije (EES), vključene v omrežje. Standard določa merila za omogočanje varne uporabe električnih naprav za shranjevanje energije katere koli vrste ali velikosti, ki so namenjene za vključitev v omrežje. Standard je mogoče uporabiti za vse tehnologije električnih naprav za shranjevanje energije, vendar se v zvezi z zahtevami, ki so specifične za elektrokemične naprave za shranjevanje energije, sklicuje tudi na standard IEC 62933-5-2.

SIST EN IEC 62933-5-2:2020 Električne naprave za shranjevanje energije (EES) - 5-2. del: Varnostne zahteve za sisteme EES, integrirane v omrežje - Elektrokemični sistemi (IEC 62933-5-2:2020)

Ta del standarda IEC 62933 opisuje predvsem varnostne vidike za ljudi in, kjer je to primerno, varnostna vprašanja v zvezi z okolico in živimi bitji za sisteme za shranjevanje energije, priključene na omrežje, kjer se uporablja elektrokemijski podsistem za shranjevanje.

Ta varnostni standard se uporablja za celoten življenjski cikel BESS (od zasnove do konca življenjske dobe upravljanja).

Standard vsebuje dodatne varnostne določbe, ki izhajajo iz uporabe elektrokemijskega podsistema za shranjevanje (npr. akumulatorski sistem) v sistemih za shranjevanje energije, ki presegajo splošne varnostne vidike, opisane v IEC TS 62933-5-1.

Ta dokument določa varnostne zahteve za „elektrokemijski“ sistem za shranjevanje energije kot „sistem“ za zmanjšanje tveganja za škodo ali poškodbe, ki jih povzročajo nevarnosti elektrokemijskega sistema za shranjevanje energije zaradi interakcij med podsistemi, kot se trenutno razume.

IEC 62933-5-3:2023 Električne naprave za shranjevanje energije (EES) - 5-3. del: Varnostne zahteve za sisteme EES, vključene v omrežje - Izvajanje nenačrtovanih sprememb elektrokemičnega sistema

Ta del standarda IEC 62933 se nanaša na primere, ko se sistem za shranjevanje energije (BESS) nepričakovano spremeni. Takšne spremembe lahko vključujejo eno ali več od naslednjega:

- spremembe zmogljivosti shranjevanja energije,
- spremembe kemijske sestave, zasnove in proizvajalca akumulacijskega podsistema,
- spremembe komponente podsistema z uporabo delov, ki niso originalni deli proizvajalca originalne opreme (OEM),
- spremembe načina delovanja,
- spremembe mesta namestitve ali
- spremembe akumulacijskega podsistema zaradi namestitve ponovno uporabljenih ali predelanih baterij.

Vsaka taka sprememba lahko ogrozi prvotno varnost BESS. Ta dokument dopolnjuje standard IEC 62933-5-2, ki se nanaša na splošne varnostne vidike BESS. Zahteve iz tega dokumenta se uporabljajo poleg zahtev iz standarda IEC 62933-5-2 v skladu z vsako posamezno situacijo.

Osnutek **IEC 62933-5-4:2025** Električne naprave za shranjevanje energije (EES) - 5-4. del: Varnostne zahteve za sisteme EES, vključene v omrežje - Sistemi na osnovi litij-ionskih baterij.

Ta del standarda IEC 62933 opisuje predvsem varnostne preskusne metode in postopke za sisteme za shranjevanje energije, priključene na omrežje, v katerih se uporablja podsistem na osnovi litij-ionskih baterij.

Ta dokument navaja preskusne metode in postopke za potrjevanje varnostnih vprašanj, ki so posebej povezana z uporabo podsistema na osnovi litij-ionskih baterij, in temelji predvsem na standardu IEC 62933-5-1, ki določa merila za zagotavljanje varne uporabe sistemov za shranjevanje električne energije vseh vrst in velikosti, ter standardu IEC 62933-5-2, ki dodatno določa varnostne ukrepe, ki izhajajo iz uporabe elektrokemijskih podsistemov za shranjevanje v sistemih EES. Ta standard vključuje le preskusne metode, ki se nanašajo posebej na BESS na osnovi litij-ionskih baterij, in temelji na dejanskih preskusih.

Obseg tega dokumenta je omejen na nekatere reprezentativne dejanske preskusne metode in postopke za BESS na osnovi litij-ionskih baterij, vendar ne vključuje vseh preskusnih metod in postopkov.

VDE-AR-E2510-2 Stacionarni sistemi za shranjevanje električne energije, namenjeni za priključitev na nizkonapetostno omrežje.

To VDE pravilo uporabe upošteva celotne sisteme za shranjevanje električne energije enega proizvajalca ter sisteme iz posameznih komponent različnih proizvajalcev, če so medsebojno odobreni in preizkušeni; vsebuje varnostne zahteve za načrtovanje, prevoz, postavitve, obratovanje, razgradnjo in odstranjevanje stacionarnih sistemov za shranjevanje električne energije, ki so vključeni v priključno točko nizkonapetostnega omrežja. To VDE-pravilo uporabe upošteva različne nevarnosti, ki lahko nastanejo zaradi različnih načinov delovanja v omrežju, vzporednem ali otočnem omrežju, in pri preklopu med temi načini delovanja. Pravila za priključitev na omrežje je treba upoštevati tako pri polnjenju kot tudi pri praznjenju sistemov za shranjevanje električne energije.

PAS 63100:2024 Electrical installations – Protection against fire of battery energy storage systems for use in dwellings – Specification

Ta specifikacija je namenjena pomoči inštalaterjem pri obvladovanju nevarnosti, povezanih s požarno varnostjo, ki jih predstavljajo EESS v domovih v Združenem kraljestvu. Določbe so namenjene zmanjševanju tveganja, da bi baterije v stanovanjih postale vir vžiga, in omejitvi posledic morebitnega požara baterij.

Leitfaden zum Brandschutz für Photovoltaikanlagen und Batteriespeicher (August 2024)

V tem dokumentu so opisani požarnovarnostni ukrepi pri nameščanju BHEE. Nadgradi ukrepe, ki so opredeljeni v izhodiščih OVE-RL R 20 in OIB-RL 2.

MVBÖ-004-2023-01: Brandschutzmaßnahmen im Umgang mit Lithium-Ionen-Akkus

Ta publikacija vsebuje ukrepe za izboljšanje gradbene, tehnične in organizacijske požarne varnosti v zvezi z nevarnostjo požara zaradi litij-ionskih akumulatorjev. Navodila so strukturirana po različnih področjih uporabe. Po uvedbi osnovnih pojmov in pojasnitvi splošnih varnostnih ukrepov so podrobno obravnavana posamezna področja uporabe. Ukrepi, opredeljeni v tem informativnem listu, so mišljeni kot dopolnilo k že obstoječim zahtevam. Navedena priporočila temeljijo na splošno priznanih tehničnih pravilih ter izkušnjah gasilcev in strokovnjakov za požarno varnost.

Guidelines for the fire protection of battery energy storage systems (RISE Report 2023:117)

FM Property Loss Prevention Data Sheets 5-33: Lithium-ion battery energy storage systems (April 2025)

Ta podatkovni list opisuje priporočila za preprečevanje izgub pri načrtovanju, delovanju, zaščiti, pregledovanju, vzdrževanju in testiranju stacionarnih sistemov za shranjevanje energije (ESS) z litij-ionskimi baterijami (LIB) z zmogljivostjo več kot 20 kWh. Ta podatkovni list opisuje tudi priporočila glede lokacije za prenosne (začasne) sisteme za shranjevanje energije z litij-ionskimi baterijami (LIB-ESS).

Sistemi za shranjevanje energije so lahko nameščeni v zunanjih ograjenih prostorih, namenskih stavbah ali v ločenih prostorih znotraj stavb. Sistemi za shranjevanje energije lahko vključujejo nekatere ali vse od naslednjih komponent: baterije, polnilnike baterij, sisteme za upravljanje baterij, sisteme za upravljanje temperature in pripadajoče ograjenih prostore ter pomožne sisteme.

OPOMBA: standarde VDE, PAS, MVBÖ in FM tako s področja električnih inštalacij in sistemov za shranjevanje električne energije v baterijah in požarne varnosti smo v priročnik vključili zaradi dodatnih priporočil in obrazložitev vključevanja BHEE v nizkonapetostno omrežje, priporočil za preprečevanje izgub pri načrtovanju, delovanju, zaščiti, pregledovanju, vzdrževanju in testiranju stacionarnih BHEE ter za izboljšanje gradbene, tehnične in organizacijske požarne varnosti v zvezi z nevarnostjo požara zaradi litij-ionskih akumulatorjev.

2. KLASIFIKACIJE, IZRAZI IN DEFINICIJE

2.1. Splošno

Evropsko združenje za hranilnike energije (angl. European Association for Storage of Energy, v nadaljevanju: **EASE**)¹³ klasificira **hranilnike električne energije (HEE) v 5 skupin:**

- Kemični hranilniki:
 - vodika
 - metana
 - sintetičnega naravnega plina,
 - sintetičnih goriv,
 - amonija ter
 - drugih goriv.
- Elektrokemični hranilniki:
 - Klasični BHEE:
 - Svinčeni (angl. Lead Acid)
 - Litij-ionski (angl. Lithium-Ion, Li-Ion)
 - Litij-polimerni (angl. Lithium-Polymer, Li-Polymer)
 - Litij-žveplovi (angl. Lithium-Sulfur, Li-S)
 - Kovinsko-zračni (angl. Metal Air)
 - Natrij-ionski (angl. Natrium-Ion ali Sodium-Ion)
 - Natrij-nikelj-kloridni (angl. Sodium/Natrium-Nickel-Chloride, Na-NiCl₂)
 - Natrij-žveplovi (angl. Sodium/Natrium Sulfur, Na-S)
 - Nikelj-kadmijevi (angl. Nickel-Cadmium, Ni-Cd)
 - Nikelj-kovinsko-hidridni (angl. Nickel-metal hydride, Ni-MH)
 - Pretočni¹⁴ BHEE:
 - Vanadijevi redoks (angl. Vanadium Red-Ox)
 - Cink-bromidni (angl. Zinc-Bromide, Zn-Br)
 - Cink-železni (angl. Zinc-Ferrum, Zn-Fe)
 - Hibridni superkondenzatorji (angl. Hybrid Supercapacitors)
 - Elektrokemični rekuperatorji (angl. Electrochemical Recuperator)
- Električni hranilniki:
 - Superkondenzatorji (angl. Supercapacitors)
 - Superprevodni hranilniki magnetne energije (angl. Superconducting Magnetic Energy Storage – SMES)
- Mehanski oz. elektromehanski hranilniki:
 - Hranilniki stisnjenega zraka (angl. Compressed Air System Storage - CAES):
 - Adiabatno kompresijski (angl. adiabatic compressed)
 - Diabatno kompresijski (angl. diabatic compressed)
 - Hranilniki utekočinjenega zraka (angl. Liquid Air Energy Storage - LAES)
 - Vztrajniki (angl. flywheels)
 - Črpalne hidroelektrarne (angl. Pumped Hydro Storage)
- Termični (ali termalni) hranilniki

¹³ <https://ease-storage.eu/energy-storage/technologies/>, [2]

¹⁴ angl. flow BESS

Za namene tega dokumenta se uporabljajo naslednje opredelitve pojmov:

Stanje napolnjenosti baterije (angl. State of Charge, SoC) Stanje napolnjenosti je trenutni delež razpoložljive akumulirane energije glede na uporabno kapaciteto baterijskega hranilnika, izražen v odstotkih. SoC je podan kot

$$\text{SoC}_i = \frac{E_i}{C} \cdot 100\%$$

kjer E_i predstavlja energijo v bateriji na koncu i -tega intervala, C pa uporabno energijsko kapaciteto. Prikaže odstotek napolnjenosti baterije skozi čas

Baterijska kvantifikacija - Koliko energije bi baterijski sistem lahko procesiral glede na dan profil moči in podan nabor tehničnih parametrov (moč, kapaciteta, izkoristek, začetni SoC).

Baterijska kvantifikacija mora upoštevati nazivno moč in kapaciteto, časovni interval, učinkovitost in začetno stanje napolnjenosti. Tak način definicije je ključen, ker omogoča algoritmu pravilno odločanje o tem, ali mora baterija pomagati pokriti porabo ali absorbirati presežke proizvodnje.

Vhodni signal predstavlja neto moč tj. **neto izmenjavo z omrežjem**:

$$P(t) = P^+(t) - P^-(t)$$

kjer je :

$P^+(t)$ (pozitivna komponenta) poraba oziroma prevzeta moč iz omrežja

$P^-(t)$ (negativna komponenta) lokalna proizvodnja (npr. sončna energija)

To pomeni, da:

Pozitivna vrednost $P(t)$ predstavlja neto porabo (moč se jemlje iz omrežja)

Negativna vrednost $P(t)$ predstavlja neto proizvodnjo (moč gre v omrežje)

Baterijski parametri:

Kapaciteta moči (MW): Največja moč baterije v megavatih.

Energijska kapaciteta (MWh): Največja energija, ki jo lahko shrani baterija.

Učinkovitost (%): skupno učinkovitost procesa polnjenja + shranjevanja + praznjenja baterijskega hranilnika, pri čemer so upoštevane vse izgube v sistemu BHEE.

Procesirana (servirana) energija baterije ($E_{proc.}$) je energija, ki jo je baterija procesirala tj. prevzela nase bodisi v režimu polnjenja ali praznjenja matematično:

$$E_{proc.} = \sum_{i=1}^n |E_{interval,i}|$$

Torej je $E_{proc.}$ energija ki jo je baterija procesirala tj. prevzela nase bodisi v režimu polnjenja ali praznjenja v i -tem časovnem intervalu, $E_{interval,i}$. **Primer:** Če baterija v treh zaporednih 15-minutnih intervalih odda 0,25 MWh, sprejme 0,15 MWh in odda 0,10 MWh, je $E_{served}=0,50$ MWh.

Neprocesirana energija ($E_{nproc.}$) je energija, ki je baterija ni mogla obdelati – bodisi zaradi omejitev stanja napolnjenosti (SoC) bodisi zaradi presežanja maksimalnih polnilnih ali izpraznitvenih zmogljivosti. Neprocesirana energija je vsota energijskih količin, ki jih zaradi omejitev moči ali kapacitete baterija ne more prenesti in se zato štejejo kot izgubljene oportunitete formalno:

$$E_{nproc.} = \sum_{i=1}^n \left| E_{zahtevana} - E_{proc.,i} \right|$$

Primer: Če v določenem intervalu omrežje zahteva praznjenje 0,5 MWh, baterija pa zaradi prazne kapacitete odda le 0,3 MWh, znaša neprocesirana energija 0,2 MWh.

Pomembno: Visoka neprocesirana energija pomeni slabo dimenzioniranje baterije.

Število ciklov baterije (N_{ciklov} **enota: cikel**) Število ciklov predstavlja količinsko oceno obremenitve baterijskega sistema na podlagi števila prehodov stanja napolnjenosti (SoC) do mejnih vrednosti 0 % in 100 %. Pri računanju se morajo vse vrednosti SoC predhodno preslikati na mejo, če ležijo v pasu tolerance $\varepsilon = 1 \%$.

Izračun se izvaja po enačbi:

$$N_{cikli} = \sum N_{[SoC_{i-1} < 100 \wedge \tilde{SoC}_i = 100]} + N_{[SoC_{i-1} > 0 \wedge \tilde{SoC}_i = 0]},$$

kjer je SoC_i preslikana vrednost glede na mejo:

$$SoC_i = \{0, \text{ če je } SoC_i \leq \varepsilon \quad 100, \text{ če je } SoC_i \geq 100 - \varepsilon \quad SoC_i, \text{ sicer}\}$$

Vsaka zaznana dosega meje šteje kot en cikel. Rezultat predstavlja **število mejnih prehodov**, in se neposredno uporablja kot »število ciklov«. Računanje število ciklov mora veljati za primere direktna skoka vrednosti 0 % $\rightarrow$ 100 % in 100 % $\rightarrow$ 0 %. Končna vrednost tako mora predstavljati skupno število teh prehodov; zaporedje popolnega praznjenja in polnjenja (0% $\rightarrow$ 100% $\rightarrow$ 0%) npr. vrne vrednost 2.

Za pojme, ki niso navedeni na tem seznamu, se uporabljajo definicije, ki so navedene v naslednjih pravnih virih iz prejšnjega poglavja.

Uporabljene definicije, kratice in pojmi, ki so uporabljeni v tem priročniku imajo enak pomen kot v zgoraj navedenih pravnih virih, razen, če ni v tem priročniku izrecno drugače določeno.

Vsakišno sklicevanje na uredbe, direktive, zakonodajo in ostale kakršnekoli tehnične dokumente znotraj tega priročnika se nanaša na trenutno veljavne uredbe, direktive, zakonodaja in ostale tehnične dokumente.

2.2. Izrazi in definicije SIST EN IEC 62485-5:2021

sekundarna litijeva celica (secondary lithium cell)

sekundarna celica, kjer se električna energija pridobiva iz reakcij vstavljanja/ekstrakcije litijevih ionov ali oksidacije/redukcije litija med negativno in pozitivno elektrodo.

sistem za shranjevanje energije v gospodinjstvu (home energy storage system - HESS)

stacionarni baterijski sistem, ki se uporablja v enostanovanjski ali večstanovanjski hiši ali ob njej ali v notranjih sistemih za shranjevanje energije v domu.

sistem za shranjevanje energije v baterijah (battery energy storage system - BESS)

stacionarni sistem za shranjevanje in pretvorbo električne energije nazaj, ki vsebuje komponente, potrebne za to funkcijo, zlasti baterijo, sistem za pretvorbo energije in sistem za upravljanje energije.

baterijski sistem (battery system)

sistem, ki obsega eno ali več celic, modulov ali baterijskih sklopov in ima sistem za upravljanje baterije, ki lahko nadzoruje tok v primeru prekomernega polnjenja, prekomernega toka, prekomernega praznjenja in pregrevanja.

stacionarna (nepremična) baterija (stationary battery)

baterijski sistem, ki je zasnovan za delovanje na fiksni lokaciji in se med življenjsko dobo običajno ne premika z mesta na mesto.

elektrolit (electrolyte)

tekoča ali trdna snov, ki vsebuje mobilne ione, zaradi katerih je ionsko prevodna.

sistem za upravljanje baterije (battery management system - BMS)

elektronski sistem, povezan z baterijo, ki ima funkcije za nadzor toka v primeru prenapolnjenosti, prekomernega toka, prekomernega praznjenja in pregrevanja ter ki spremlja in/ali upravlja stanje baterije, izračunava sekundarne podatke, poroča o teh podatkih in/ali nadzoruje njeno okolje, da vpliva na varnost, delovanje in/ali življenjsko dobo baterije.

polnjenje baterije (charging of a battery)

polnjenje baterije, med katerim se sekundarna celica ali baterija napaja z električno energijo iz zunanjega tokokroga, kar povzroči kemične spremembe znotraj celice in s tem shranjevanje energije kot kemične energije.

baterija v stanju vztrajnega polnjenja (battery of float - charge)

baterija, katere priključki so trajno priključeni na vir konstantne napetosti, ki zadostuje za vzdrževanje približno polne napolnjenosti baterije, in ki je namenjena napajanju električnega tokokroga, če je normalno napajanje začasno prekinjeno.

napetost vzdrževalnega polnjenja (float charge voltage)

konstantna napetost, potrebna za ohranjanje polne napolnjenosti sekundarne celice ali baterije oziroma za ohranjanje predvidenega stanja napolnjenosti.

tok vzdrževalnega polnjenja (float charge current)

tok, ki nastane zaradi vzdrževalnega polnjenja.

prenapolnjenje prenapolnjenje (overcharge)

<celice ali baterije> nadaljnje polnjenje po popolnem polnjenju sekundarne celice ali baterije.

nazivna napetost (nominal voltage)

primerna približna vrednost napetosti, ki se uporablja za označevanje ali identifikacijo celice, baterije ali elektrokemičnega sistema.

spodnja meja napetosti praznjenja (lower limit discharging voltage)

najnižja napetost praznjenja v območju delovanja celice, ki jo je določil proizvajalec celice.

stanje prekomerne izpraznjenosti baterije (overdischarge)

ko se ena ali več celic baterije izprazni pod njihovo spodnjo mejo napetosti praznjenja.

najvišja napetost baterijskega sistema (maximum voltage of battery system)

najvišja napetost baterijskega sistema, pri kateri je najvišja napetost katere koli posamezne celice nižja ali enaka zgornji meji napetosti polnjenja in komponente delujejo v svojem določenem/dovoljenem območju delovanja v vseh obratovalnih pogojih.

zgornja meja napetosti polnjenja (upper limit charging voltage)

najvišja napetost polnjenja v območju delovanja celice, ki jo je določil proizvajalec celice.

zunanji kratki stik (external short-circuit)

nenormalno visok tok zaradi prevodne napake na delih z nasprotno polarnostjo bodisi znotraj vezja baterije bodisi na zunanjih priključkih.

notranji kratki stik (internal short-circuit)

električna prevodnost skozi izolacijo znotraj celice zaradi napak v izdelavi celice, napak v zasnovi celice ali poškodb zaradi zlorabe celice med njeno uporabo.

blok celic (cell block)

skupina celic, vezanih vzporedno z zaščitnimi napravami ali brez njih (npr. varovalka ali naprava s pozitivnim temperaturnim koeficientom (PTC)) in nadzornim vezjem ali brez njih.

modul (module)

skupina celic, vezanih zaporedno in/ali vzporedno z zaščitnimi napravami ali brez njih (npr. varovalka ali naprava s pozitivnim temperaturnim koeficientom (PTC)) in nadzornim vezjem.

baterijski sklop (battery pack)

naprava za shranjevanje energije, sestavljena iz ene ali več celic ali modulov, ki so električno povezani in imajo nadzorno vezje, ki zagotavlja informacije (npr. napetost celice) baterijskemu sistemu, da vpliva na varnost in delovanje baterije in/ali življenjsko dobo.

temperaturni pobeg (thermal runaway)

nenadzorovano intenzivno zvišanje temperature celice, ki ga poganja eksotermna reakcija.

2.3. Izrazi in definicije SIST EN IEC 62485-2:2018

sekundarna) celica (secondary cell)

(polnilna) celica (rechargeable cell)

posamezna celica (single cell)

sklop elektrod in elektrolita, ki predstavlja osnovno enoto sekundarne baterije

prezračevana (sekundarna) celica (vented secondary cell)

sekundarna celica s pokrovom, opremljenim z odprtino, skozi katero lahko uhajajo plinasti produkti

ventilsko regulirana (sekundarna) celica (valve regulated secondary cell)

sekundarna celica, ki je v normalnih pogojih zaprta, vendar ima napravo, ki omogoča uhajanje plina, če notranji tlak preseže vnaprej določeno vrednost. Celica običajno ne more sprejemati dodatka elektrolita

plinotesno zaprta (sekundarna) celica (gas tight sealed secondary cell)

sekundarna celica, ki ostane zaprta in ne sprošča niti plina niti tekočine, ko deluje v mejah polnjenja in temperature, ki jih je določil proizvajalec. Celica je lahko opremljena z varnostno napravo za preprečevanje nevarno visokega notranjega tlaka. Celica ne potrebuje dodajanja elektrolita in je zasnovana tako, da deluje v času svoje življenjske dobe v prvotno zaprtem stanju.

sekundarna baterija (secondary battery)

dve ali več sekundarnih celic, povezanih skupaj in uporabljenih kot vir električne energije.

svinčevo-dioksidno-svinčeva (kisla) (lead dioxide-lead acid battery)

baterija sekundarna baterija z vodnim elektrolitom na osnovi razredčene žveplove kisline, pozitivno elektrodo iz svinčevega dioksida in negativno elektrodo iz svinca.

nikelj-oksidno-kadmijeva baterija (nickel oxide-cadmium battery)

sekundarna baterija z alkalnim elektrolitom, pozitivno elektrodo, ki vsebuje nikelj-oksid, in negativno elektrodo iz kadmija.

stacionarna (nepremična) baterija (stationary battery)

sekundarna baterija, ki je zasnovana za delovanje na fiksni lokaciji in se med življenjsko dobo ne premika običajno z mesta na mesto. Trajno je priključena na vir napajanja (fiksna namestitvev).

monoblok baterija (monoblock battery)

baterija z več ločenimi, a električno povezanimi predelki za celice, od katerih je vsak zasnovan za namestitev sklopa elektrod, elektrolita, priključkov in medsebojnih povezav ter morebitnega ločevalnika.

plinanje (gassing)

emisija plina (gas emission)

razvoj plina, ki nastane pri elektrolizi vode v elektrolitu celice.

vzdrževalna (polnilna) napetost (float charge voltage)

konstantna napetost, potrebna za ohranjanje polne celice ali baterije.

tok vzdrževalnega polnjenja (float charge current)

tok, ki nastane zaradi vzdrževalnega polnjenja.

pospešeno polnjenje (boost charge)

pospešeno polnjenje, ki se uporablja pri višjih vrednostih električnega toka ali napetosti (za določeno zasnovo) od običajnih v kratkem časovnem intervalu.

napetost vzdrževalnega polnjenja (boost charge voltage)

konstantna napetost - pri višji napetostni ravni - uporabljena pri vzdrževalnem polnjenju.

tok vzdrževalnega polnjenja (boost charge current)

tok, ki nastane zaradi napetosti vzdrževalnega polnjenja.

praznjenje (discharge)

praznjenje (baterije) (discharging of a battery)

operacija, med katero baterija oddaja zunanemu tokokrogu in pod določenimi pogoji električno energijo, proizvedeno v celicah.

nikelj-metal hidridna baterija (nickel-metal hydride battery)

sekundarna baterija z elektrolitom vodnega kalijevega hidroksida, pozitivno elektrodo, ki vsebuje nikelj kot nikljev hidroksid, in negativno elektrodo vodika v obliki kovine hidrid.

2.4. Izrazi in definicije SIST EN IEC 62619:2022

varnost (safety)

svoboda pred nesprejemljivim tveganjem

tveganje (risk)

kombinacija verjetnosti nastanka škode in resnosti te škode

škoda (harm)

telesna poškodba ali škoda za zdravje ljudi ali škoda na premoženju ali okolju

nevarnost (harm)

potencialni vir škode

predvidena uporaba (intended use)

uporaba izdelek, postopek ali storitev v skladu s specifikacijami, navodili in informacijami, ki jih je zagotovil dobavitelj.

razumno predvidljiva zloraba (reasonably foreseeable misuse)

uporaba izdelka, postopka ali storitve na način, ki ga dobavitelj ni predvidel, vendar je lahko posledica zlahka predvidljivega človeškega vedenja.

puščanje (leakage)

vidno uhajanje tekočega elektrolita.

odzračevanje (venting)

sproščanje prekomernega notranjega tlaka iz celice, modula, baterijskega sklopa ali baterijskega sistema na način, ki je z zasnovo namenjen preprečevanju razpoka ali eksplozije.

ruptura (rupture)

mehanska okvara posode za celico ali ohišja baterije, ki jo povzroči notranji ali zunanji vzrok, kar povzroči izpostavljenost ali razlitje, ne pa izmeta materialov.

eksplozija (explosion)

eksplozijska okvara, ki se pojavi, ko se posoda za celico ali ohišje baterije silovito odpre in so na silo izvržene trdne komponente.

ogenj (fire)

ognjena emisija plamenov iz celice, modula, baterijskega sklopa ali baterijskega sistema več kot 1 s

nazivna kapaciteta (rated capacity)

vrednost kapacitete celice ali baterije, določena pod določenimi pogoji in ki jo deklarira proizvajalec.

2.5. Izrazi in definicije SIST EN IEC 62933-4-2:2025**celica (cell)**

osnovna funkcionalna enota, sestavljena iz sklopa elektrod, elektrolita, posode, priključkov in običajno separatorjev, ki je vir električne energije, pridobljene z neposredno pretvorbo kemične energije

pretočna celica (flow cell)

sekundarna celica, za katero je značilna prostorska ločitev elektrod in gibanje tekočin za shranjevanje energije

pretočna baterija (flow battery)

dve ali več pretočnih celic, električno povezanih, vključno z vsemi komponentami za uporabo v elektrokemičnem sistemu za shranjevanje energije

baterija (battery)

ena ali več celic, opremljenih z napravami, potrebnimi za uporabo, na primer ohišjem, priključki, označevalnimi in zaščitnimi napravami

okvara (failure)

izguba sposobnosti celice, pretočne celice, baterije ali pretočne baterije za delovanje po potrebi

vzrok okvare (failure cause)

niz okoliščin, ki vodijo do okvare

okolje (environment)

naravno in umetno okolje, v katerem je nameščen, deluje in interagiran sistem EES, vključno z zgradbami in objekti, zrakom, vodo, zemljo, naravnimi viri, rastlinstvom, živalstvom, vključno s človeškimi prebivalci tega okolja

sistemiški integrator (system integrator)

subjekt, ki je specializiran za načrtovanje, usklajevanje, gradnjo, izvajanje in testiranje sistemov.

proizvajalec (manufacturer)

subjekt, ki proizvaja določen predmet in ima v lasti proizvodni proces, s katerim je bil ustvarjen

2.6. Opredelitev pojmov Uredba EU 2023/1542)**baterija**

pomeni vsako napravo, ki zagotavlja električno energijo, ki nastaja z neposredno pretvorbo kemične energije, ter ima notranji ali zunanji sistem shranjevanja energije, pri čemer jo sestavlja ena ali več nepolnilnih ali polnilnih baterijskih celic, modulov ali njihovih sklopov, in vključuje baterijo, ki je bila pripravljena za ponovno uporabo ali pripravljena za spremembo namena, katere namen je bil spremenjen ali ki je bila ponovno izdelana

baterijski sklop

pomeni vsak niz baterijskih celic ali modulov, ki so medsebojno povezani ali zaprti v zunanje ohišje, tako da tvorijo zaključeno enoto, ki je končni uporabnik naj ne bi razdelil ali odprl

baterijski modul

pomeni vsak niz baterijskih celic, ki so medsebojno povezane ali zaprte v zunanje ohišje, s čimer so celice zaščitene pred zunanjimi vplivi, in naj bi se uporabljal samostojno ali v kombinaciji z drugimi moduli

baterijska celica

pomeni osnovno funkcionalno enoto v bateriji, ki jo sestavljajo elektrode, elektrolit, ohišje, terminali, po potrebi pa tudi separatorji, in vsebuje aktivne materiale za reakcijo, ki proizvaja električno energijo

aktivni material

pomeni material, ki s kemično reakcijo pri praznjenju baterijske celice proizvaja električno energijo ali pri polnjenju baterije električno energijo shranjuje

nepolnilna baterija

pomeni baterijo, ki ni zasnovana za ponovno polnjenje z električno energijo

polnilna baterija

pomeni baterijo, ki je zasnovana za ponovno polnjenje z električno energijo

baterija z zunanjim sistemom shranjevanja

pomeni baterijo, ki je posebej zasnovana za shranjevanje svoje energije izključno v eni ali več

povezanih zunanjih napravah

prenosna baterija

pomeni baterijo, ki je zapečatena, tehta 5 kg ali manj, ni zasnovana posebej za industrijsko rabo in ni baterija za električna vozila, baterija za lahka vozila ali baterija SLI

prenosna baterija za splošno rabo

pomeni prenosno baterijo, ne glede na to, ali je polnilna ali ne, ki je posebej zasnovana tako, da je interoperabilna in je v enem od naslednjih splošnih formatov: 4,5 volta (3R12), gumbasta baterija, D, C, AA, AAA, AAAA, A23, 9 voltov (PP3)

baterija za lahka vozila

pomeni baterijo, ki je zapečatena, tehta 25 kg ali manj in je posebej zasnovana za zagotavljanje električne energije za pogon vozil s kolesi, ki jih lahko poganja samo električni motor ali kombinacija motorja in človeške moči, vključno s homologiranimi vozili kategorije L v smislu Uredbe (EU) št. 168/2013 Evropskega parlamenta in Sveta in ki ni baterija za električna vozila

baterija za zagon, osvetljavo in vžig ali „baterija SLI“

pomeni baterijo, ki je posebej zasnovana za napajanje zaganjalnika, osvetljave ali vžiga z električno energijo ter ki se lahko uporablja tudi v pomožne ali rezervne namene v vozilih, drugih prevoznih sredstvih ali delovnih strojih

industrijska baterija

pomeni baterijo, ki je posebej zasnovana za industrijsko rabo, namenjena za industrijsko rabo, potem ko je bila pripravljena za spremembo namena ali je bil njen namen spremenjen, ali vsako drugo baterijo, ki je težja od 5 kg in ki ni baterija za električna vozila, baterija za lahka vozila ali baterija SLI

baterija za električna vozila

pomeni baterijo, ki je posebej zasnovana za zagotavljanje električne energije za pogon v hibridnih ali električnih vozilih kategorije L, kot je določena v Uredbi (EU) št. 168/2013, ter tehta več kot 25 kg, ali baterijo, ki je posebej zasnovana za zagotavljanje električne energije za pogon v hibridnih ali električnih vozilih kategorij M, N ali O, kot so določene v Uredbi (EU) 2018/858

stacionarni baterijski sistem za shranjevanje energije

pomeni industrijsko baterijo z notranjim sistemom shranjevanja, ki je posebej zasnovana za shranjevanje električne energije iz omrežja in oskrbo samega omrežja z električno energijo ali za shranjevanje električne energije in oskrbo končnih uporabnikov z električno energijo, ne glede na to, kje se uporablja in kdo jo uporablja.

model baterije

pomeni različico baterije, pri kateri imajo vse enote enake tehnične značilnosti, pomembne za zahteve glede trajnostnosti, varnosti, označevanja, oznak in obveščanja iz te uredbe, ter isto identifikacijsko oznako modela.

baterija, ki predstavlja tveganje

pomeni baterijo, ki bi lahko škodljivo vplivala na zdravje ali varnost ljudi, lastnino ali okolje v meri, ki presega tisto, ki velja za razumno in sprejemljivo glede na predvideni namen baterije ali pod običajnimi ali razumno predvidljivimi pogoji uporabe zadevne baterije, vključno s trajanjem uporabe in, kadar je to ustrezno, z dajanjem v uporabo, namestitvijo in zahtevami glede vzdrževanja.

ogljčni odtis

pomeni vsoto emisij toplogrednih plinov in odvzemov toplogrednih plinov v sistemu proizvodov, izraženo v ekvivalentih ogljikovega dioksida (CO₂), ki temelji na študiji okoljskega odtisa izdelkov z uporabo ene same kategorije vpliva, in sicer kategorije podnebnih sprememb.

krmilni sistem baterije

pomeni elektronsko napravo za nadzor ali upravljanje električnih in toplotnih funkcij baterije, da se zagotovijo varnost, delovanje in življenjska doba baterije, upravljanje in shranjevanje podatkov o parametrih za ugotavljanje stanja staranja in pričakovane življenjske dobe baterije iz Priloge VII ter za komuniciranje z vozilom, lahkim vozilom ali aparatom, v katerega je baterija vgrajena, ali z javno ali zasebno polnilno infrastrukturo.

stanje napolnjenosti

pomeni razpoložljivo energijo v bateriji, izraženo kot odstotek njene nazivne zmogljivosti, kot jo deklarira izdelovalec;

stanje staranja

pomeni merilo splošnega stanja polnilne baterije in njene sposobnosti doseganja določene zmogljivosti v primerjavi z njenim začetnim stanjem

priprava za ponovno uporabo

pomeni pripravo za ponovno uporabo, kot je opredeljena v členu 3, točka 16, Direktive 2008/98/ES

odpadna baterija

pomeni vsako baterijo, ki je odpadek, kot je opredeljen v členu 3, točka 1, Direktive 2008/98/ES

priprava za recikliranje

pomeni obdelavo odpadnih baterij pred vsakim postopkom recikliranja, ki med drugim vključuje skladiščenje baterijskih sklopov, ravnanje z njimi in njihovo razstavljanje ali ločevanje frakcij, ki niso del same baterije

2.7 . Ostali izrazi in definicije

DOD	Globina praznjenja
ESD	Elektrostatična razelektritev
FELV	Funkcionalna izjemno nizka napetost
BESS	Battery Energy Storage System
BMS	Sistem za upravljanje baterij
BMU	Enota za upravljanje baterij
HESS	Domači sistem za shranjevanje energije
PELV	Zaščitna izjemno nizka napetost
PTC	Naprava s pozitivnim temperaturnim koeficientom.
RCD	Zaščitna naprava na preostali tok.
SOC	Stanje napolnjenosti
UPS	Neprekinjeno napajanje
BHEE	Baterijski hranilnik električne energije (baterija, baterijski sistem)
HEE	Hranilnik električne energije
EMC	Elektromagnetna združljivost
PEV	Polnilnica električnih vozil
DEES	Distribucijski elektroenergetski sistem
PN	Proizvodnja naprava
FE	Fotonapetostna elektrarna
EES	Shranjevanje električne energije
HVAC	Ogrevanje, prezračevanje in klimatizacija
LFP	Litijev železov fosfat
LTO	Litijev titanov oksid
MSDS	Varnostni list
NCA	Nikelj kobalt aluminijski oksid
NMC	Nikelj mangan kobalt oksid
PCS	Sistem za pretvorbo energije
POC	Priključna točka
SDS	Varnostni list
SOH	Stanje sistema (State of Health)
VRLA	Ventilsko regulirana svinčeno-kislinska baterija
EMS	Sistem za upravljanje z energijo (ang. Energy Management System)
DPP	Projektna dokumentacija za pridobitev projektnih in drugih pogojev
PZI	Projektna dokumentacija za izvedbo gradnje
PID	Projektna dokumentacija izvedenih del
DZO	Dokazilo o zanesljivosti objekta
NOV	Navodilo za obratovanje in vzdrževanje
PEV	Polnilnica električnih vozil (tehnologija V2G - Vehicle-to-Grid))
PEI	Električna inštalacija potrošnika/proizvajalca

3. UMEŠČANJE V PROSTOR IN V OBJEKTE

BHEE predstavljajo povečano požarno nevarnost. Zato se v skladu s priporočili standardov in zadnjim stanjem tehnike priporoča, da se hranilnike v stavbah namešča v ločene prostore, namenjene izključno baterijam. Ti prostori morajo izpolnjevati vse zahteve glede požarne varnosti.

Kontejnerske izvedbe BHEE morajo imeti popolno poročilo o preskušanju požara in eksplozije po standardu UL 9540A. Iz poročila mora biti razvidno, da požar, ki izvira iz ene baterijske enote, ne povzroči širjenja na sosednjo enoto ali konstrukcijo ter izven kontejnerja.

3.1. Lokacije namestitve

BHEE se lahko namestijo:

- v zunanja zaprta območja (ohišja, kontejnerji),
- v namenske stavbe,
- v požarno ločene prostore znotraj stavb.
-

V vseh primerih se mora upoštevati zahteve proizvajalca glede:

- zaščite pred zunanjimi nevarnostmi (požar, voda, tresljaji oz. vibracije, glodalci),
- zaščite pred nevarnostmi, ki izvirajo iz baterij (visoka napetost, eksplozijska nevarnost, elektroliti, plini, korozija),
- zaščite pred dostopom nepooblaščenih oseb,
- zaščite pred ekstremnimi okoljskimi vplivi (sonce, temperatura, vlaga, prah),
- razpoložljivosti ustreznih gasilnih sredstev,
- prezračevanja, odvisno od vrste baterije.

3.2. Ohišja in prostori

Priporoča se namestitev BHEE v požarno ločenih prostorih, ognjevarnih omarah ali ohišjih, ki so v celoti iz negorljivih materialov. Če proizvajalec ne predvideva vgradnje v ognjevarno omaro ali ohišje iz negorljivih materialov, je potrebno z njim uskladiti dodatne zahteve (hlajenje, prezračevanje, gašenje ipd.).

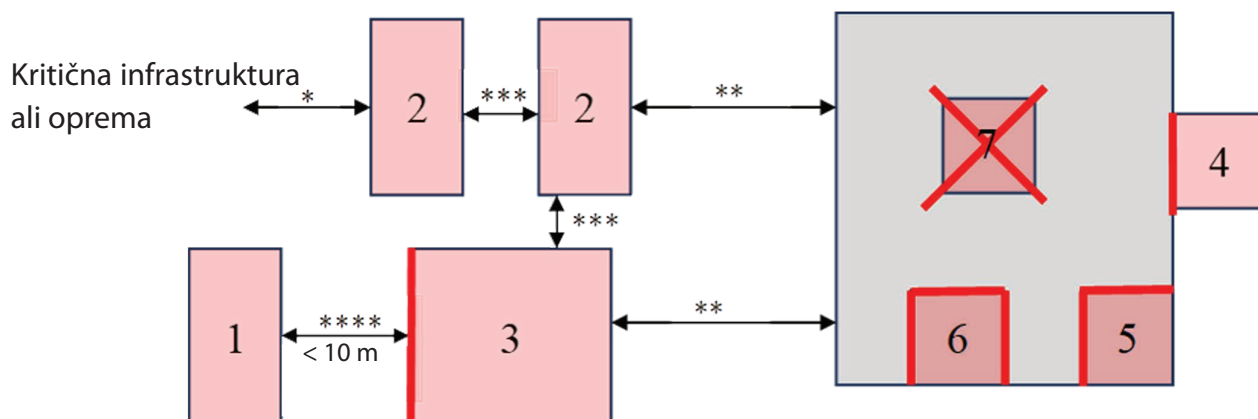
Regali za baterije, ki so integrirani v druge naprave (npr. kombinirane omare, predali v razsmernikih), morajo izpolnjevati enake zahteve kot samostojna ohišja. Stacionarni BHEE v kontejnerjih na prostem se obravnavajo kot prostori s povečano požarno nevarnostjo.

3.3. Prepovedane lokacije

Namestitev BHEE je prepovedana v:

- prostorih s povečano nevarnostjo požara ali eksplozije,
- neposredni bližini gorljivih, vnetljivih ali lahko vnetljivih materialov,
- bližini evakuacijskih poti, zaščitene poti ali zbirnih mest.

3.4. Priporočeni načini namestitve



1. Kontejnerski BHEE s popolnim poročilom UL 9540A
2. V namenskem zaprtem območju zunaj.
3. V namenski stavbi, ki vsebuje samo BHEE.
4. V namenskem zunanjem prostoru.
5. V namenskem notranjem kotnem prostoru.
6. V namenskem notranjem prostoru z vsaj eno zunanjo steno
7. V prostoru ali brez zunanjih sten.

Opombe:

*

12 m odmik za BHEE, ki so kontejnerske izvedbe in nimajo poročila o preskušanju požara in eksplozije po standardu UL 9540A od kritične infrastrukture ali opreme, ki je pomembna za delovanje stavb ali javno dobro in imajo na zunanji strani požarni zid minimalno EI 30 oz. kot se zahteva za stavbo in iz negorljivih materialov. 25 m odmik za BHEE, ki so kontejnerske izvedbe in nimajo popolnega poročila o preskušanju požara in eksplozije po standardu UL 9540A od kritične infrastrukture ali opreme, ki je pomembna za delovanje stavb ali javno dobro in je brez požarnega zidu ali ima gorljive materiale na zunanji strani.

**

Glede odmikov od sosednjih stavb upoštevajte, da se mora pri odmikih manjših od 10 m zunanja stena izvesti kot požarno odporen zid minimalno EI 30 oz. kot se zahteva za stavbo.

Odmiki glede na navodila proizvajalca sistema vezano na razmeščanje opreme. V kolikor proizvajalec nima zahtev, se odmiki določijo na podlagi lege vrat in prezračevalnih odprtin ter tipa baterij.

BHEE, ki so kontejnerske izvedbe in imajo popolno poročilo o preskušanju požara in eksplozije po standardu UL 9540A in je iz poročila razvidno, da požar ne more priti izven ohišja kontejnerja velja, da se odmike od kritične infrastrukture ali opreme določi skladno z navodili proizvajalca sistema. Pri tem se mora upoštevati, da se pri odmikih, ki so manjši od 10 m, zunanja stena stavbe s kritično infrastrukturo ali opremo izvede kot požarno odporen zid minimalno EI 30 oz. kot se zahteva za stavbo.

Slika 1: Prednostni vrstni red načinov namestitve BHEE, kjer rdeča črta predstavlja požarni zid minimalno EI 30 oz. kot se zahteva za stavbo.

Priporočljivo je, da se BHEE nameščajo po naslednjem vrstnem redu prednosti:

1. Za BHEE, ki so kontejnerske izvedbe in imajo popolno poročilo o preskušanju požara in eksplozije po standardu UL 9540A,
2. v zaprtem območju zunaj in stran od kritičnih stavb ali opreme (slika 1, lokacija 1),
3. v namenski stavbi, ki vsebuje samo BHEE in pripadajočo podporno opremo (slika 1, lokacija 2),
4. v namenskem zunanjem prostoru, ki je dostopen in ima možnost za gašenje požarov (slika 1, lokacija 3),
5. v namenskem notranjem kotnem prostoru z vsaj dvema zunanjsima stenama, ki je dostopen in ima dostop za gašenje požarov (slika 1, lokacija 4),
6. v namenskem notranjem prostoru z vsaj eno zunanjo steno, ki je dostopen in kjer je dostop za gašenje požarov (slika 1, lokacija 5),
7. V nenamenskem prostoru ali brez zunanjih sten, ki bi omogočale gašenje požarov.

Zunanja območja in kontejnerji z BHEE

Ohišja oziroma kontejnerji z BHEE morajo biti izdelani iz negorljivih materialov. V celoti se mora upoštevati navodila proizvajalca sistema vezano na razmeščanje opreme. V kolikor proizvajalec nima zahtev, se odmiki določijo na podlagi lege vrat in prezračevalnih odprtih ter tipa baterij. Če so vrata nameščena le na eni strani ohišja in na drugih straneh ni prezračevalnih ali požarno nezaščitenih odprtih, zadostujejo manjši odmiki.

Za kontejnerje z BHEE, v katerih so baterije sestavljene iz celic iz litijevega železovega fosfata (LFP), se mora zagotoviti prehod z odklikom vsaj 1,5 m na straneh, ki vsebujejo dostopne podeste, vrata ali odprtine za deflagracijo.

Za kontejnerje z BHEE, v katerih so baterije sestavljene iz litijevih nikelj-mangan-kobaltovih (NMC) celic, pri katerih konstrukcija sten ni znana ali ima požarno odpornost manj kot (R)EI 60, je treba med prehodi najmanj zagotoviti odklik z razdaljo 4,0 m na straneh, ki vsebujejo dostopne podeste, vrata ali odprtine za deflagracijo. Za kontejnerje z NMC BHEE, pri katerih je konstrukcija stena negorljiva in ima požarno odpornost vsaj (R)EI 60, je lahko odklik med prehodi najmanj 2,4 m.

Če so v stenah prisotni preboji, je treba odklike povečati ali preboje ustrezno zaščititi s požarno odpornimi sistemskimi rešitvami.

Razbremenilne površine za primer eksplozije morajo biti usmerjene stran od okoliške opreme in stavb.

V primeru požara lahko odzračevalniki omogočajo uhajanje vročih plinov in produktov zgorevanja, kar poveča tveganje za sosednje objekte. Posebno pozornost je treba nameniti prebojem, kot so električne cevi, vrata in prezračevalni kanali.

Za BHEE, ki so kontejnerske izvedbe in imajo popolno poročilo o preskušanju požara in eksplozije po standardu UL 9540A in je iz poročila razvidno, da požar ne more priti izven ohišja kontejnerja velja, da se odmike od kritične infrastrukture ali opreme določi skladno z navodili proizvajalca sistema. Pri tem se mora upoštevati, da se pri odklikih, ki so manjših od 10 m, zunanja stena stavbe s kritično infrastrukturo ali opremo izvede kot požarno odporen zid minimalno EI 30 oz. kot se zahteva za stavbo.

BHEE, ki so kontejnerske izvedbe in nimajo poročila o preskušanju požara in eksplozije po standardu UL 9540A morajo med kritično infrastrukturo ali opremo in BHEE zagotoviti minimalni odmik v odvisnosti od požarne odpornosti sten in odziva na ogenj teh sten, kot je določeno na sliki 1.

Pri načrtovanju namestitve je treba upoštevati tudi tveganja zaradi mehanskih udarcev (npr. trk vozila) in zagotoviti zaščitne bariere.

Namenska stavba ali ograjen prostor z BHEE (> 50 m²)

Vsak montažni kontejner ali ograjen prostor, večji od 50 m², obravnavajte kot stavbo. Stavba ali ograjen prostor z BHEE, večji od 50 m² mora biti zgrajen skladno z veljavnimi gradbenimi predpisi.

Glede odmikov od sosednjih stavb upoštevajte, da se mora pri odmikih manjših od 10 m zunanja stena izvesti kot požarno odporen zid minimalno EI 30 oz. kot se zahteva za stavbo. Konstrukcija mora biti iz negorljivih materialov in zasnovana tako, da omejuje škodo v primeru eksplozije.

Tla in, če je primerno, njihova podkonstrukcija morajo biti zasnovana tako, da podpirajo teže baterije, omare ali ohišja; upoštevati je treba načrtovane prihodnje širitve. V kolikor lahko iz baterije puščajo elektroliti ali druge kemikalije, morajo biti tla kemično odporna in neprepustna za elektrolit ali pa mora biti baterija nameščena v ustreznem pladnju ali lovilni posodi.

Prostori z BHEE ob stavbah ali znotraj stavb

Poleg zahtev za namensko stavbo se mora upoštevati še dodatne zahteve:

- BHEE se ne smejo nameščati v glavno prebivališče, temveč v dopolnilne stavbe (garaža, skladišče,...). Namestitev v bivalne prostore se odsvetuje. V določenih primerih je primerna namestitev na prostem, če je izdelek preizkušen in odobren za takšno uporabo.

Pri namestitvi BHEE s kapaciteto 5 kWh ali več, v stavbah veljajo naslednje zahteve:

- če baterija ni nameščena v ognjevarni omari ali ohišju, jo je treba namestiti v zaprt požarno odporen elektro-tehnični prostor, ki je zgrajen iz negorljivih materialov,
- pri več regalnih baterij, nameščenih skupaj, je treba med njimi zagotoviti negorljive požarno odporne pregrade,
- baterija ne sme biti nameščena v bližini gorljivih materialov ali na območju z nevarnostjo požara ali eksplozije ali v bližini lahko vnetljivih snovi.
- Odmiki od dostopne površine omare ali ohišja (stran z vrati, prezračevalnimi odprtinami ali deflagacijskimi loputami):
 - najmanj 2 m do negorljivih materialov, gradbenih elementov in dostopnih površin sosednjih omar,
 - najmanj 3 m do gorljivih materialov,
 - najmanj 5 m do vnetljivih materialov ali eksplozijsko ogroženih območij,

- ločitev med nedostopnimi stranmi sosednjih omar ni zahtevana, če so stene omar ali ohišja BHEE požarno odporne in zgrajene iz materialov, ki imajo negorljiv odziv na ogenj. V kolikor niso, se mora odmike zagotoviti kot je zapisano predhodno za kontejnerje v odvisnosti od tipa baterij.
- namestitev BHEE je prepovedana na stopniščih, na poteh evakuacije, v bližini evakuacijskih izhodov ter spalnih prostorov.

Za BHEE s kapaciteto največ 5 kWh predhodno zapisane zahteve ne veljajo. Se pa lahko razmisli o smiselnosti zgornjih ukrepov tudi za BHEE, ki imajo manjše zmogljivosti. Poleg tega prostor za baterije ni potreben:

- za eno- ali dvostanovanjske stavbe ali vrstne hiše, v kolikor je v prostoru za namestitev BHEE nameščen detektor dima in/ali ogljikovega monoksida, ki lokalno opozarja na prisotnost detektiranih snovi,
- v garažah, pokritih parkirnih mestih in parkirnih etažah z uporabno površino največ 250 m²,
- če ima ohišje stacionarnega BHEE enako požarno odpornost, kot jo zahteva tehnična smernica TSG-1-001 za konstrukcijo stavbe.

Za nameščanje več manjših BHEE v eno stavbo sta vam lahko v pomoč odločitvena diagrama v prilogi 7.



Slika 2: Primer lokacije 15,9 MW FE z 5,3 mW/17,9 MWh BESS, Kreuth, Nemčija, vir: European Market Outlook for Battery Storage 2025-2029

4. ELEKTRIČNA IN POŽARNA VARNOST

4.1 Električna varnost

Posebne vrste električnih inštalacij hranilniki električne energije vsebujejo posebne zahteve glede na specifiko uporabe in temeljijo na osnovnih delih standarda SIST EN 62485 (deli 1, 2, 5) ter na osnovnih delih standarda SIST EN 62619. Upoštevati je potrebno tudi Pravilnik o zahtevah za nizkonapetostne električne inštalacije v stavbah, Tehnično smernico TSG-N-002:2021, Nizkonapetostne električne inštalacije.

4.1.1 Namestitev BHEE

OPOMBA: Priročnik se primarno osredotoča na BHEE, bolj natančno na Li-ION baterije.

Hranilniki električne energije morajo biti nameščeni v zaščitениh prostorih. Po potrebi, zlasti za velike BHEE, je treba zagotoviti električno namestitev, ki je lahko tudi zaklenjena.

Potrebno je upoštevati naslednje vrste namestitev:

- ločeni prostori za baterije v stavbah,
- posebej ločena območja v električni namestitvi,
- omare ali ohišja znotraj ali zunaj stavb,
- zunanja montaža,
- predeli za baterije v napravah, ohišja za baterije, ki zagotavljajo ustrezno zaščito in izolacijo.

Pri izbiri namestitve je treba upoštevati naslednje dejavnike:

- zaščito pred zunanjimi nevarnostmi, na primer ognjem, vodo, udarci, vibracijami, škodljivci,
- zaščito pred nevarnostmi, ki jih povzroča hranilnik električne energije (visoka napetost, nevarnost eksplozije, nevarnost elektrolita, korozijo in kratki stik z zemljo),
- zaščita pred dostopom nepooblaščenih oseb,
- zaščita pred ekstremnimi vplivi okolja (temperaturo, vlago, onesnaženostjo zraka).

4.1.2 Posebne zahteve za ločene prostore za BHEE

Glede na vrsto in velikost hranilnikov električne energije veljajo pri uporabi ločenega prostora za baterije naslednje zahteve:

- tla ali stena morata biti zasnovana tako, da preneseta obremenitev baterij. Upoštevati je treba rezervni prostor za prihodnjo širitev,
- električna inštalacija mora biti izvedena v skladu s standardi za vgradnjo električnih inštalacij v stavbah,
- dostop mora biti omejen na pooblaščen osebje, vrata morajo biti možnost zaklepanje, zasilna vrata pa morajo biti protipanična in se morajo odpirati navzven. Vrata se morajo zakleniti samo od zunaj. Od znotraj se morajo vrata enostavno odpreti z mehanizmom za zasilni izhod.

4.1.3 Posebne zahteve za ločena območja v prostorih

Izpolnjene morajo biti vse zahteve za namestitev baterij, kot je opisano v točki 4.1.2, poleg naslednjih ukrepov:

- v bližini baterije morajo biti nameščeni opozorilni in zaporni znaki v skladu s 4.1.10,
- ukrepi za zaščito pred električnim udarom v skladu s točko 4.1.6.



Slika 3: Primer izvedbe BHEE zunaj stavbe,
vir: projekt PZI št. EPR 04/25

4.1.4 Ohišja BHEE

Ohišje hranilnikov električne energije se izbere iz bistvenih razlogov kot so:

- zagotavljanje funkcionalno popolne opreme v enem ohišju,
- za zaščito pred nevarnostmi, ki jih povzročajo hranilniki električne energije,
- zaščita pred zunanjimi nevarnostmi (vplivi okolja, dostopom nepooblaščenih oseb, pred širjenjem ognja),

Pri namestitvi hranilnikov električne energije v ohišje je treba upoštevati naslednje zahteve:

- tla (ali nadstrešek) in stenski sistemi morajo biti zasnovani tako, da podpirajo obremenitev hranilnika električne energije,
- predelne stene znotraj ohišja zagotavljajo učinkovitost prezračevanja, kar je treba oceniti med načrtovanjem ohišja,
- razdalja med moduli mora zagotavljati ustrezno hlajenje v skladu z zahtevami proizvajalca,
- ohišje mora preprečiti dostop nepooblaščenih oseb do nevarnih delov,
- ohišje mora zagotavljati ustrezen dostop za vzdrževanje.



Slika 4: Primer izvedbe ohišja hranilnikov električne energije, vir: <https://www.tab.si/>

4.1.5 Izolacija in ožičenje

Ožičenje in izolacija hranilnika električne energije morata biti takšni, da preneseta največje predvidene zahteve glede napetosti, toka, temperature, nadmorske višine in vlažnosti. Nevarni deli baterijskega sistema pod napetostjo morajo biti zaščiteni, da se prepreči tveganje električnega udara.

Mehanska celovitost celotnega baterijskega sistema (celica/modul/BMS) in njihovih povezav mora biti zadostna, da se prilagodi pogojem uporabe.

4.1.6 Zaščita pred električnim udarom

Varnostni ukrepi za hranilnike električne energije in njihove instalacije temeljijo na standardu SIST EN 62485-1. V stacionarnih instalacijah za polnjenje BHEE je treba upoštevati zahteve za zaščito pred neposrednim stikom (osnovna zaščita) in pred posrednim stikom (zaščita pred napako) z nevarnimi napetostmi, ki temeljijo na standardih SIST HD 60364-4-41 in SIST EN 61140.

Varnostna izjemno nizka napetost (SELV) in zaščitna izjemno nizka napetost (PELV), se uporabljajo le za baterijske instalacije z najvišjimi napetostmi do 120 V DC.

4.1.7 Odklop in ločitev

Naprave za odklop baterijskega hranilnika električne energije omogočajo odklop od vseh vodov vhodnih in izhodnih tokokrogov ter od ozemljitvenega potenciala.

Ta naprave so lahko:

- odklopniki, stikala,
- vtiči in vtičnice,
- odstranljive varovalke,
- povezovalni elementi (konektor ali zbiralnica),
- posebej zasnovane sponke.

Naprave morajo biti uporabne za enosmerni tok in zagotavljati potrebno izolacijo. Med odklopom hranilnika električne energije ne smete ozemljiti ali ga izpostaviti kratkemu stiku.

Priključni kontakti baterij se lahko štejejo kot **ločilni kontakti**. Odklop priključkov ali kontaktov (vtičev) je **dovoljen samo, kadar po tokokrogu ne teče tok**. Pred odklopom baterij je potrebno **izklopiti polnilnik in bremena**, da se **izognemo nevarnosti iskrenja**.

4.1.8 Preprečevanje kratkih stikov in zaščita pred drugimi učinki električnega toka

Poleg nevarnosti električnega udara lahko tok v baterijskih sistemih povzroči tudi druge nevarnosti. Do tega pride, ker lahko v primeru napake stečejo zelo visoki tokovi, napetost na priključkih baterije pa ne more biti prekinjena na način, kot to zahteva standard SIST EN 60364-4-43 (zaščita pred preobremenitvami) in SIST EN 60364-5-53 (zaščitne naprave). Zasnova celic in baterij običajno vključuje vgradno zaščito (npr. ventile za odplinjanje), ki omogočajo izpust plinov, ne da bi pri tem prišlo do počenja ohišja celice ali baterije.

Pri postopkih izklopa zaščitne naprave je treba upoštevati možnost, da iskra ob prekinitvi toka lahko vžge izpuščene pline elektrolita. Ti plini lahko vsebujejo fluorovodikovo kislino (HF), ki je zelo korozivna in strupena.

Za zmanjšanje tveganja požara se uporabljajo plastike z zaviralci gorenja v skladu s standardoma IEC 60695-11-20 in/ali IEC 60695-11-10, da se prepreči, da bi plastični deli dodatno prispevali toploto ob morebitnem gorenju.

Pri preprečevanju kratkih stikov in zaščite pred drugimi učinki električnega toka je treba upoštevati naslednje zahteve:

- naprava za zaščito pred preobremenitvijo mora imeti zmogljivost prekinitve ali kratkega stika, ki je višja od kratkostičnega toka litij-ionske baterije,
- glavni priključki na priključkih baterije morajo biti zasnovani tako, da prenesejo mehanske obremenitve, ki jih povzročajo elektromagnetne sile, ki nastanejo med kratkim stikom,
- vsi priključki baterije do naprave za zaščito baterije morajo biti nameščeni tako, da v predvidljivih pogojih ne pride do kratkega stika,
- izolacija mora biti odporna na vplive okolja, kot so temperatura, vlaga, prah, plini, para in mehanske obremenitve,
- kjer priključki in vodniki niso izolirani (zaradi konstrukcije ali vzdrževanja) je priporočljiva uporaba izoliranega orodja v skladu s standardom IEC 60900.

Opomba: V primerjavi s svinčeno-kislinskimi baterijami imajo litij-ionske baterije nižjo notranjo upornost in hitrejši prenos naboja znotraj elektrolita. Zato imajo pri enaki napetosti in kapaciteti bistveno višji kratkostični tok.

Navodila za vzdrževanje

Pri izvajanju zaščitnih ukrepov med vzdrževanjem hranilnikov električne energije je treba upoštevati zahteve za vzdrževanje podane v točki 8.

Uhajavi toki

Minimalna **izolacijska upornost** med baterijskim tokokrogom in drugimi kovinskimi deli v okolici mora biti **večja od $100 \Omega / V$** največje napetosti baterijskega sistema. Izolacija mora biti odporna na: temperaturo, vlago, prah, pline, paro in mehanske obremenitve.

4.1.9 Zaščita pred nevarnostmi

Glede zaščite pred nevarnostmi je treba upoštevati naslednje zahteve:

- v standardnem temperaturnem območju se lahko sekundarne celice polnijo z največjim polnilnim tokom,
- Litij-ionske celice je treba vedno uporabljati v delovnem območju, ki ga določi proizvajalec celic (napetost, temperatura, tok) in temeljijo na standardih SIST HD 62619 (dodatek A in C).

Pri načinih polnjenja za stacionarne baterije je potrebno upoštevati naslednje zahteve:

- polnjenje s konstantnim tokom/konstantno napetostjo (običajno polnjenje),
- polnjenje z zmanjšanim polnilnim tokom pri nizkih temperaturah (določi proizvajalec),
- prekomerno polnjenje ali prekomerno praznjenje v okvari (avtomatski odklop napajanja ali izklop pretoka energije do in iz baterije).

Odklop baterije je ena njenih najpomembnejših varnostnih funkcij.

Preprečevanje elektrostatičnih razelektritev pri delu z baterijami: Paziti je treba, da osebe ne nosi oblačil ali obutve, ki bi lahko povzročala nabiranje elektrostatičnega naboja (v skladu s standardoma IEC TR 61340-1 ali IEC 61340-5-1), razen v primerih, ko bi to nasprotovalo zahtevam po izolacijskih oblačilih in obutvi.

4.1.10 Identifikacijske nalepke, opozorila in navodila za uporabo

Prostor v katerem je nameščen hranilnik električne energije je potrebno označiti in na zunanji strani morajo biti nameščene vsaj naslednje opozorilne nalepke ali obvestila:

- "Nevarna napetost", če je napetost baterije večja od Upc 60 V,
- prepovedni znak za Ogenj, odprt ogenj, kajenje prepovedano,
- opozorilni znak "Hranilnik električne energije" za označevanje nevarnega materiala, napetosti in tokov.

Hranilnik električne energije mora imeti na lokaciji ali v bližini naslednja navodila:

- naziv inštalaterja,
- datum zagona,
- varnostna navodila in priporočila za namestitve, delovanje in vzdrževanje,
- informacije o odstranjevanju in recikliranju,
- druge oznake (Uredba EU 2023/1542).

Zaradi varnosti vzdrževalcev, inšpektorjev, distributerjev, gasilcev in reševalcev je bistveno, da je označena prisotnost BHEE inštalacije v stavbi. Znak je treba namestiti na:

1. vhodna vrata ali v bližini glavnega vhoda na dobro vidnem mestu iz zunanje strani,
2. točko napajanja električne inštalacije,
3. merilno mesto, če je oddaljeno od točke napajanja električne inštalacije,
4. na porabnika ali razdelilnik, na katerega je priključeno napajanje.

Znak se namesti na napajalno točko inštalacije, na števec, če ni v bližini napajalne točke in na razdelilnik, kamor je priključen pretvornik (glej poglavje 4.2.14 Označevanje BHEE).

4.1.11 Osnovne zahteve za dokumentacijo, uporabo in vzdrževanje

Zahteve glede minimalne dokumentacije, ki jo je potrebno zagotoviti po namestitvi na omrežje priključenega hranilnika električne energije temeljijo na spodnjih zahtevah:

- osnovne podatke o sistemu, o načrtovalcu sistema in inštalaterju sistema,
- enopolna shema ožičenja,
- seznam podatkov o sistemskih komponentah (razsmerniki, BHEE, BMS, število vgrajenih modulov, ...),
- dokumentacija sistema za nujna stanja,
- informacije o delovanju in vzdrževanju,
- rezultati preskusov in podatki o prevzemu,

ter na osnovnih zahtevah iz standarda SIST EN IEC 62933-5-1:

- navodili za vzdrževanje za servisno osebje ter
- ločenim sklopom navodil za vse osnovne vzdrževalne postopke, ki bi jih izvajali upravljavci sistema.

Navodila za vzdrževanje morajo vključevati:

- navodila za manjša popravila kot npr. zamenjava varovalk ter navodila kdaj mora servisno osebje opraviti popravilo,
- varnostne ukrepe, ki jih je treba upoštevati med vzdrževanjem sistema,
- pogostost rednega vzdrževanja, ki ga je treba izvajati, vključno z letnimi pregledi vseh podsistemov, vključno z baterijami, vključno z vsemi napravami za zaznavanje plina, sistemi HVAC, sistemi za gašenje požara itd., ter vsemi preizkusi, ki jih je treba izvesti.

Pri načrtovanju vzdrževalnih del, je potrebno pred začetkom izvesti ustrezno analizo sistema, da se zagotovi varno izvajanje vzdrževanja. To vključuje določitev potrebe po električni izolaciji katerega koli dela opreme in dokumentiranje pred vsakim vzdrževanjem.

Navodila za uporabo

Navodila za uporabo morajo vsebovati vsaj naslednje:

- splošen opis značilnosti BESS,
- glavna varnostna pravila, informacije o ustrezni osebni varovalni opremi, potrebni za opravljanje nalog,
- navodila za upravljanje BESS,
- navodila glede različnih stanj delovanja,
- kako odpravljati težave npr. napačni prikazi stanja, ki ne zahtevajo nadaljnjega vzdrževanja,
- navodila o komunikacijskih protokolih za BESS,
- navodila o postopkih v primeru alarmov iz BESS in navodila za proženje postopkov v sili.

Če je mogoče upravljanje sistema na daljavo, morajo biti priložena navodila o varnem odklopu od daljinskega upravljanja in prehodu na lokalno upravljanje sistema. Ko lokalno upravljanje ni več potrebno, morajo biti vključena navodila za varno ponovno povezavo daljinskega upravljanja.

Postopek v sili

Navodila za ravnanje v sili morajo vsebovati postopke za predhodno načrtovanje izrednih dogodkov, ki lahko nastanejo na podlagi tehnologije, zasnove in načina delovanja BESS (npr. oddaljeno ali lokalno).

OPOMBA: Lastnik ali upravljavalec BESS je odgovoren za vzpostavitev ustreznih načrtov za ravnanje v sili !

Priročnik za postopke v sili mora vsebovati:

- opis ukrepov, ki jih je treba sprejeti za nadzor dogodkov in omejitev njihovih posledic, vključno z opisom varnostne opreme in virov, ki so na voljo,
- omejitev tveganj za osebe na kraju samem, vključno z načinom sporočanja opozoril in ukrepov, ki jih je potrebno sprejeti po prejemu opozorila (smernice za prve posredovalce, načrt evakuacije v sili),

- urediti ustrezno opozarjanje odgovornega organa in oseb za začetek izvajanja zunanjega načrta za ravnanje v izrednih razmerah, o incidentu in zagotavljanje podrobnejših informacij,
- urediti usposabljanje osebja za naloge, ki jih bo moralo opravljati (usposabljanje uskladiti z zunanjimi službami za nujne primere).

Te informacije bodo uporabniku, pregledniku ali vzdrževalcu ter ostalim udeleženiim zagotovile enostavno dostopne ključne podatke o sistemu. Dokumentacija vključuje osnovne podatke o sistemu in informacije, ki morajo biti v navodilu za obratovanje in vzdrževanje.

4.1.12 Pregled in spremljanje (monitoring)

Zaradi funkcionalnih in varnostnih razlogov je potreben reden pregled baterije in njenega delovnega okolja. Pregled in vzdrževanje baterijskega sistema je treba izvajati v skladu z zahtevami proizvajalca. Če se izvaja preizkus kapacitete, je treba uporabiti preskusne metode v skladu s standardom IEC 62620:2014, 6.3 (za litij-ionske baterije).

Za zagotovitev varnega delovanja stacionarne baterije so potrebni redni pregledi. Vsako napako je treba zabeležiti in jo odpraviti, zlasti v primeru puščanja elektrolita in okvare izolacije. Poslabšanje litij-ionskih baterij je mogoče prepoznati po rahlo nabreklem ohišju. V takih primerih je treba baterijo izločiti iz uporabe.

Pregled baterije je potrebno vključiti v redno periodiko pregleda in vzdrževanja baterije. Redni pregled in spremljanje baterij med uporabo je treba izvajati v skladu s priporočili in navodili proizvajalca baterije.

4.1.13 Elektromagnetna združljivost (EMC)

Celotna litij-ionska baterija je sestavljena iz litij-ionske celice ali celic/blokov in integriranega sistema/enote za upravljanje baterije (BMS/BMU). BMS/BMU izvaja notranje meritve toka, napetosti in temperature, alarm in morebitne zaščitne komponente za izklop toka za varno delovanje baterije. Enosmerni izhod omogoča varno napajanje več komponent in omrežij, AC vhod ali DC vhod je potreben za polnjenje baterije.

Zahteve EMC za baterijske sisteme so odvisne od uporabe posamezne končne naprave. Zahteve EMC za baterijski sistem morajo izpolnjevati zahteve glede na posamezno uporabo, kot so stacionarna, vlečna, podpostaja, železnica itd.. Preskus EMC se mora izvesti na končni napravi, kot je BESS ali manjša enota.

Če se baterijski sistem prodaja na potrošniškem trgu kot končna naprava, se preskus izvede na baterijskem sistemu.

Standardi EMC, ki se uporabljajo za testiranje imunosti baterijskega sistema (vključno z ESD) in emisij v stanovanjskih, komercialnih, industrijskih okoljih, so naslednji navedeni v SIST EN IEC 62485-5:2021, priloga B.

4.1.14 Specifične zahteve in testi

Specifične zahteve in testi temeljijo na osnovnih delih standarda SIST EN IEC 62619:2022, standarda SIST EN IEC 63056:2021 in standarda SIST EN IEC 62933-2-1:2018.

Poleg preskusnih zahtev iz standarda SIST EN IEC 63056:2021 morajo biti celice in baterijski sistemi, ki se uporabljajo v baterijskih sistemih, biti skladni s preskusom iz varnostnimi zahtevami standarda SIST EN IEC 62619:2022 za sekundarne litijeve celice in baterijske sisteme za uporabo v industrijskih aplikacijah.

Po standardu SIST EN IEC 62933-2-1:2018 so preskusni elementi in postopki potrebni za oceno delovanja sistema za shranjevanje električne energije (EES), da se izpolnijo zahteve, ki se nanašajo na varnost, zanesljivost, delovanje in medsebojno povezavo sistema. Preskus parametrov enote je obvezen preskus za vsak sistem EES.

Če preizkus celotnega sistema EES v obsežnih in kompleksnih sistemih EES fizično ni mogoč, je treba preizkus potrditi z rezultati preizkusov, izvedenih na vsakem modulu sistema EES.

4.2. Požarna varnost

4.2.1. Požarnovarnostne zahteve za stacionarne BHEE

Priročnik določa požarnovarnostne zahteve in navodila za stacionarne baterijske sisteme za shranjevanje električne energije (BHEE), namenjene trajni priključitvi na fiksne inštalacije, povezane na nizkonapetostno omrežje. Zahteve veljajo za postavitve in namestitve sistemov BHEE, kadar te niso že zajete v standardu SIST EN IEC 62485. BHEE lahko vključujejo nekatere ali vse naslednje komponente:

- baterije,
- polnilnike baterij,
- sisteme za upravljanje baterij,
- razsmernike,
- toplotno upravljanje in
- pripadajoča ohišja ter
- pomožne sisteme.

Za BHEE velja osnovno pravilo: vedno se dosledno upoštevajo tehnična in varnostna navodila proizvajalca BHEE.

Kurilna vrednost Li-ION celic je 16 MJ/kg, kar se mora upoštevati pri določanju požarnih obremenitev.

Primer: V prostor z 20 m² se namesti 110 kW BHEE, ki ima 1250 kg. Požarna obremenitev je tako 1000 MJ/m².

4.2.1.1 Tveganja ob temperaturnem pobegu

Med temperaturnim pobegom litij-ionskih baterij se sproščajo velike količine vnetljivih in strupenih plinov, pogosto v zelo kratkem času. Prostor, namenjen za baterijske BHEE, morajo biti zasnovani tako, da dim in plini ne ogrozijo koncepta evakuacije stavbe. Zato **BHEE ne sme biti nameščen**:

- na evakuacijskih poteh ali v prostorih, ki so z njimi neposredno povezani,
- v bližini spalnih/bivalnih prostorov.

4.2.1.2 Električna varnost in označevanje

BHEE je običajno opremljen s kontaktorji, ki prekinajo tok v primeru poškodbe ali izpada napetosti. Da bi dodatno zagotovili, da kabli enosmernega toka (DC) iz akumulatorja ne predstavljajo tveganja med reševalnimi akcijami, morajo biti jasno označeni, razsmernik pa mora biti povezan z BHEE ali pa mora biti nameščeno varnostno stikalo za odhodne kable. Vstop v prostor, kjer BHEE gori, ni vedno mogoč, zato je treba v vsakem primeru preučiti možnost aktiviranja varnostnega stikala iz sosednjega prostora. Pomembno je, da varnostno stikalo prekine izhodni tok le zato, da se ohrani delovanje kritičnih notranjih varnostnih sistemov, kot so krmilni sistem, sistem za upravljanje baterij (BMS) in regulacija temperature.

4.2.1.3 Izklopna požarna tipka

V stavbah z BHEE se mora namestiti izklopno požarno tipko. S tipko se mora izklopiti BHEE in s tem zagotoviti, da bodo električni porabniki v stavbi v breznapetostnem stanju v primeru intervencije. Zahteva ne velja za:

- za eno - ali dvostanovanjske stavbe ali vrstne hiše, v kolikor je v prostoru za namestitev BHEE nameščen detektor dima in/ali ogljikovega monoksida, ki lokalno opozarja na prisotnost detektiranih snovi, ali
- v garažah, pokritih parkirnih mestih in parkirnih etažah z bruto tlorisno površino največ 250 m² ali
- če ima ohišje BHEE v celoti vsaj enako požarno odpornost, kot jo zahteva tehnična smernica TSG-1-001 za konstrukcijo stavbe.

Izklopne požarne tipke je treba namestiti poleg vhoda namenjenega dostopu gasilcev v stavbo. Izklopna požarna tipka mora imeti napis: 'IZKLOP HRANILNIKA ELEKTRIČNE ENERGIJE'. Izklopna tipka mora biti nameščena na takem mestu, ki ni ogrožena v primeru požara BHEE.

4.2.1.4 Ocena tveganja za požar BHEE

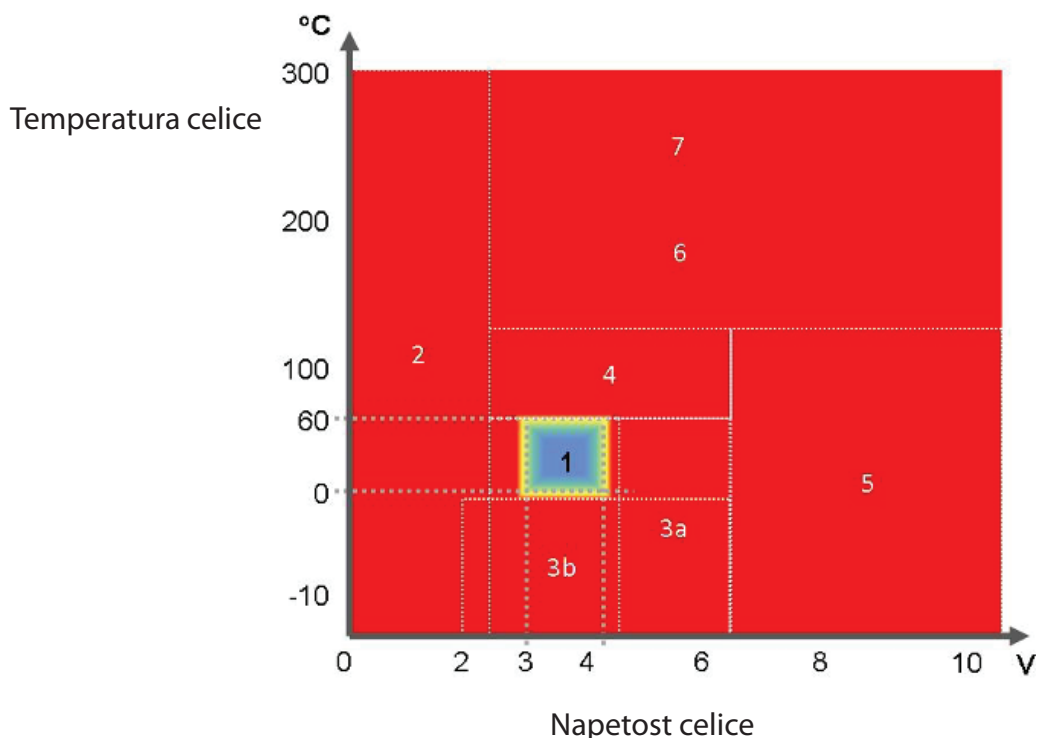
V pomoč pri ocenjevanju tveganja in možnih posledicah je lahko spodnja tabela.

Tabela 1. Primeri scenarijev vzrokov in možnih posledic, povezanih z BESS

Vzroki scenarijev	Možne posledice
Napake pri izdelavi ali namestitvi BHEE	Visoke temperature, požar, eksplozija, naraščanje tlaka, sproščanje strupenih plinov, izstrelki v primeru eksplozije, električne nevarnosti, korozivni plini, razlitje kemikalij itd.
Poškodbe baterijskih celic zaradi vplivov okolja (prah, vlaga, slana voda, udari strele itd.)	
Električne napake, kot so prekomerno polnjenje ali praznjenje, električni oblaki	
Staranje in nastanek litijevih dendritov zaradi slabega elektrolita	
Mehanski vpliv, npr. trk, padec drevesa, odkrivanje streh v neurjih in padec strehe,...	
Zunanji požar, ki se širi na BHEE	
Previsoke/prenizke temperature BHEE	
Incidenti, ki jih povzročijo človeški dejavniki med npr. vroča dela pri vzdrževanju, tvorjenja obloka,...	
Vandalizem, kibernetški napadi	

Pri ocenjevanju tveganja za požar BHEE se mora razmišljati o naslednjih točkah:

- notranje varnostne razdalje, hladilni sistemi in zaščita pred širjenjem toplote,
- odmiki med ločenimi enotami BHEE, kot sta dva zabojnika, ter zunanje varnostne razdalje do drugih stavb in infrastrukture,
- aktivna in pasivna protipožarna zaščita ter tveganje eksplozije,
- okoljski vidiki, kot so vreme, podnebje in mehanski vplivi itd. Poleg tega postavitev in tveganje širjenja ognja skozi požare v naravi,
- varnost reševalne ekipe v primeru požara, kot so dve ločeni vstopni točki, ustrezni načrti za nujne primere itd,
- gasilna voda in zaščita občutljivih naravnih območij ter zajem požarne vode,
- kako ravnati z BHEE po incidentu in razgradnji BHEE.



1. Območje obratovanja – varen obseg obratovanja
2. Raztapljanje bakra na anodi
3. a) Galvansko nanašanje litijeve prevleke med prekomernim polnjenjem
b) Galvansko nanašanje litijeve prevleke med polnjenjem pri nizki temperaturi
4. Možna okvara plasti trdnega elektrolitskega medija (Solid Electrolyte Interface - SEI) v grafitnih anodah, poveča se tlak plina, možen je počasen temperaturni pobeg
5. Povišanje temperature, izpust plina, taljenje ločevalne plasti (separatorja), požar itd.
6. Izpust plinov, taljenje ločevalne plasti (separatorja), požar itd.
7. Temperaturni pobeg, ogenj, iz oksidov se sprošča kisik, ki pospešuje gorenje

Slika 5: Varno delovno območje Li-ION baterij (VIR: IEC 62485-5:2020)

4.2.2 Požarna odpornost

Stene baterijskega prostora morajo biti izdelane s požarno odpornostjo enakega razreda kot se zahteva za stavbo, a ne manj kot (R)EI 30 in na notranji strani obloženi z negorljivimi materiali razreda najmanj A2-s1, d0 po SIST EN 13501-1. Če so stene ali stropi prebiti, je treba zagotoviti, da se požarna odpornost stene ohrani z ustreznimi ukrepi (npr. obrobe, izolacija sekcij). Požarna vrata morajo biti izdelana s požarno odpornostjo enakega razreda kot se zahteva za stavbo, a ne manj kot EI₂ 30-C. Za zunanje komponente te zahteve veljajo le, če obstaja nevarnost širjenja ognja na druge dele stavbe.

4.2.3 Kroženje zraka in mehansko prezračevanje

Baterijski prostori za stacionarne BHEE morajo imeti učinkovito prezračevanje navzven, odvisno od uporabljene tehnologije baterij. Sistem prezračevanja mora biti zgrajen iz negorljivih materialov. Priporočljivo je tudi, da se baterijski prostor namesti ob zunanjo steno in da se zagotovi možnost prezračevanja, ki lahko služi tudi kot razbremenilna površina v primeru emisij iz baterij ali eksplozije baterij. Odprtine za prezračevanje morajo biti nameščene tako, da preprečujejo vdor onesnaževalcev ali vlage (na primer prahu, dežja, snega) ter živali. Prav tako morajo biti odprtine usmerjene tako, da v primeru eksplozije ne ogrožajo drugih naprav, stavb ali mimoidočih oseb. Dovode za zajem zraka se mora načrtovati v zunanjih stenah, na oddaljenih mestih od ostalih izpušnih odprtin, ki bi lahko škodovala BHEE.

Sistemi za ogrevanje, prezračevanje in klimatizacijo (HVAC) se lahko uporabljajo v BHEE za nadzor temperature, vlažnosti in čistosti zraka. Prezračevanje tako postane pomemben del BHEE in v mnogih primerih jih je treba prilagoditi BHEE in veljavnim standardom. Prezračevanje je pomembno tudi za odvajanje plinov v primeru okvare (kot je temperaturni pobeg) ter za ohranjanje zraka v BHEE brez delcev, ki bi lahko vplivali na električne sisteme.

Prezračevanje mora delovati tako, da se temperaturo okolice BHEE vzdržuje znotraj delovnega območja litij-ionske baterije (optimalno temperaturno območje $\sim 15\text{--}35\text{ }^{\circ}\text{C}$), da se optimizira delovanje, omeji degradacija in prepreči poškodbe baterijskih celic ter podaljša življenjska doba sistema. Da bi preprečili nanos litijeve prevleke na površino in posledične notranje kratke stike, delovna temperatura ne sme biti pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Optimalna delovna temperatura je odvisna od baterijske celice, proizvajalec pa bo določil delovno temperaturo in kritične meje. Za zagotovitev, da sta prezračevanje in ogrevanje znotraj delovnega območja sistema, so lahko potrebna opozorila ali povratne informacije iz sistema BMS v krmilni sistem BHEE. Sistem prezračevanja se mora načrtovati tako, da v primeru okvare katerega koli dela sistema sproži alarm na stalno nadzorovano lokacijo ali določenemu operativnemu osebju. Krmilnike sistema za kroženje/prezračevanje se mora namestiti tako, da bodo delovali in lahko alarmirali stalno nadzorovano lokacijo ali določeno operativno osebje.

Namestite sistem za kroženje/prezračevanje tako, da bo odsesavanje potekalo na stropu ali blizu njega. Glede nameščanja opreme upoštevajte prisotnosti vnetljivih plinov, ki lahko tvorijo eksplozivne mešanice z zrakom. Za prezračevanje prostorov z BHEE zagotovite kroženje zraka z zmogljivostjo vsaj $0,3\text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$ talne površine.

4.2.4 Nadzor eksplozije

Če je v prostoru z BHEE dovolj baterij, da se lahko ustvari eksplozivna atmosfera, je obvezna namestitev sistemov za preprečevanje eksplozije ali deflagracijsko odzračevanje. Potencial za eksplozivno atmosfero ni odvisen samo od vrste uporabljenih baterijskih celic, temveč tudi od prostornine ohišja, zasnove prezračevalnega sistema in ukrepov za zaščito pred širjenjem toplote (tj. koliko celic lahko hkrati doživi temperaturni pobeg). Tudi majhen BHEE s kapaciteto 14 kWh lahko ustvari približno 8.400 l plina, kar lahko povzroči vnetljivo mešanico v prostoru 140 m^3 . To temelji na predpostavki sproščanja $0,6\text{ l}$ plina/Wh in predpostavki, da je celoten BHEE podvržen temperaturnemu pobegu brez prezračevanja, kar lahko povzroči eksplozivno atmosfero v prostoru velikosti približno $7 \times 8\text{ m}$ brez varnostne rezerve.

BHEE je mogoče namestiti zunaj, na dobro prezračenem in odprtem prostoru, da se omeji nevarnost eksplozije, vendar je vedno potrebno upoštevati zahteve proizvajalca, saj nekateri sistemi niso primerni za zunanjo namestitvev. Preprečevanje eksplozije lahko vključuje sisteme za preprečevanje eksplozij in/ali deflagracijsko odzračevanje.

4.2.5 Trdnost ohišja in deflagracijsko odzračevanje

Ohišje mora biti dovolj trdno, da prepreči rušitev med deflagracijo. Deflagracijsko odzračevanje omogoča varno izpušitev hitro raztezajočih se plinov iz ohišja, pri čemer se tlak omeji na vrednost, ki je manjša od trdnosti ohišja, z zadostno varnostno rezervo. Upoštevati je treba, da deflagracijsko odzračevanje ne preprečuje eksplozije, lahko pa omeji njene posledice.

Zahteve za deflagracijsko odzračevanje v zaprtem prostoru so odvisne od vnetljivosti plinov, velikosti in konfiguracije ohišja ter potencialnega tlaka. Odprtine za deflagracijo morajo biti usmerjene navzgor ali proti varni lokaciji, saj se ob sprostitvi plinov in plamenskih curkov lahko pojavijo nevarni tlak in toplota. Odprtine ne smejo biti usmerjene proti evakuacijskim potem, pešpoti ali območjem dostopa gasilcev. Pri zunanji namestitvi je potrebno zagotoviti tudi možnost vzdrževanja, npr. odstranjevanje snega in ledu iz odprtin.

4.2.6 Stopnje prezračevanja za preprečevanje nastanka eksplozivne atmosfere

Stopnja prezračevanja je odvisna od vrste celic, sestave plinov pri temperaturnem pobegu, stanja napolnjenosti (SOC), števila celic, ki doživljajo temperaturni pobeg, ter prostornine ohišja. Za preprečevanje eksplozivne atmosfere je treba vzdrževati koncentracijo gorljivih snovi pod 25 % LFL (Lower Flammable Limit) v skladu z NFPA 69. Če je nameščeno stalno spremljanje plinov, je dovoljena LFL pod 60 %.

Sistem prisilnega prezračevanja se lahko samodejno aktivira ob zaznavi plina, pri čemer mora biti zasnovan iz komponent, ki prenesejo visoke temperature in ne predstavljajo vira vžiga. Strategija prezračevanja mora vključevati dovod svežega zraka in odvod plinov, pri čemer je treba upoštevati, da lahko dovod zraka poveča hitrost širjenja ognja ali tveganje za eksplozijo.

Velikost ohišja in razpoložljiv prosti prostor določata število potrebnih izpušnih ventilatorjev in dovodnih odprtin. Smernice DNV za pomorske BHEE priporočajo najmanj 6 menjav zraka na uro; za kopenske sisteme DNV priporoča 0,34–0,54 m³/h/Wh. NFPA 855 zahteva prezračevanje vsaj 5 l/s/m², medtem ko FM 3-55 predpisuje vsaj 0,3 m³/min/m² talne površine.

Za preprečevanje eksplozivne atmosfere se priporoča namestitev detektorja CO, ki ob preseganju 10 % spodnje eksplozijske meje sproži alarm, izolira BHEE in vklopi zasilno izpušno prezračevanje. Zasilno prezračevanje mora povečati stopnjo prezračevanja na 0,75 m³/min/m² in usmerjati zrak neposredno na prosto, stran od dovodov zraka, vrat in drugih odprtin.

Pri visoki napolnjenosti celic (SOC) se lahko predpostavi, da posamezna celica med temperaturnim pobegom ustvari približno 0,5 l/Wh plina v prvih 30 sekundah. Za ohranitev koncentracije plinov pod LFL je potrebna stopnja prezračevanja 0,33 l/s/Wh, kar pa pri velikem številu celic vodi v zelo

visoke vrednosti. Dejanska maksimalna proizvodnja plinov je pogosto nižja, saj ni verjetno, da bodo vse celice hkrati doživele temperaturni pobeg. Stanje napolnjenosti in tip celice bistveno vplivata na sestavo in volumen plina, medtem ko prostornina ohišja vpliva na tveganje eksplozije. Popolna eliminacija tveganja eksplozije ali deflagracije z prezračevanjem je običajno tehnično zahtevna in draga.

4.2.7 Zgodnje posredovanje za preprečevanje temperaturnega pobega

Naprave za zgodnje odkrivanje

Zgodnje posredovanje je strategija za preprečevanje temperaturnega pobega celic z uporabo naprav za zgodnje odkrivanje in njihovo povezavo s sistemom za upravljanje baterij (BMS), da se BHEE električno izolira, če se zazna nevarno stanje. Trenutno sta na voljo dve glavni tehnologiji zgodnjega odkrivanja:

1. Spremljanje temperature celic
2. Zaznavanje izpušnih plinov

Pomembno je poudariti, da zgodnje posredovanje preprečuje temperaturni pobeg predvsem, če je vzrok električna zloraba. Temperaturni pobeg je lahko posledica tudi toplotne zlorabe (previsoke temperature ohišja) ali fizične poškodbe celic, ki ju električna izolacija ne bo preprečila.

4.2.8 Strategije zgodnjega posredovanja

Sistem za zgodnje posredovanje mora omogočiti samodejno električno izolacijo BHEE z uporabo enega od naslednjih pristopov:

- **Visoka temperatura celice:** Proizvajalec celice določi prag temperature, ki označuje stanje zlorabe pri 100 % napolnjenosti (SOC). Večino celic v modulu je potrebno nenehno spremljati.
- **Zaznavanje izpušnih plinov:** Namestite detektorje plina, ki lahko zaznajo hlapne organske spojine (HOS), povezane z zgodnjo fazo razgradnje celice pred temperaturnim pobegom.

Spremljanje temperature celic

Vsaka baterijska celica ima temperaturo, pri kateri je temperaturni pobeg nemogoče preprečiti. Nekateri proizvajalci nameščajo več senzorjev, ki spremljajo zunanjo temperaturo več celic. BMS je programiran tako, da samodejno izolira BHEE, če katera od celic preseže nastavljeno temperaturno mejo, ki je bistveno nižja od praga temperaturnega pobega.

Ključno je, da je večina celic v modulu opremljena s senzorji, saj lahko v nasprotnem primeru celica preide v temperaturni pobeg neopaženo in povzroči toplotno obremenitev sosednjih celic, preden BMS reagira.

Zaznavanje preko odduhov ventiliranih plinov

Detektorji hlapnih organskih spojin (HOS) zaznavajo razgradnjo elektrolita v zgodnji fazi odpovedi celice, preden ta preide v temperaturni pobeg. Oprema je lahko nameščena v posameznih omarah ali v prostoru/ohišju BHEE.

Vsaj en referenčni detektor je nameščen na odprtem območju, krmilnik pa primerja ravni HOS na BHEE z referenčno vrednostjo, da prepreči lažne sprožitve alarma.

Zaznavanje dima, ogljikovega monoksida, ogljikovega dioksida, plamena ali temperature v prostoru z BHEE

Detekcija dimnih plinov, ogljikovega monoksida (CO), ogljikovega dioksida (CO²), plamena ali temperature se ne šteje kot predčasno odkrivanje. Gre za zaznavo požara v pozni fazi ali že po temperaturnem pobegu, zato se ne priporoča kot samostojen sistem. Lahko pa deluje kot dopolnilo k avtomatskemu sistemu gašenja.

4.2.9 Oddaljeni nadzor/monitoring/spremljanje stanja

Zagotovite spletne sisteme za spremljanje stanja, ki bodo spremljali temperaturo prostora z baterijami in vsaj naslednje parametre na ravni baterijskega modula in/ali celice:

- napetost in tok polnjenja in praznjenja,
- temperaturo,
- notranjo ohmsko upornost (upornost),
- kapaciteto,
- stanje napolnjenosti (SOC - State of charge),
- stanje delovanja (SOH - State of health),
- dnevnik alarmov ali napak.

Sistemi za nadzor/spremljanje stanja BHEE naj vsebujejo naslednje funkcije:

- A. zmožnost prenosa podatkov na stalno nadzorovano lokacijo ali določenemu operativnemu osebju,
- B. zmožnost sprožitve alarmov, ko so zaznane nenavadne razmere,
- C. zmožnost analize spremljanih parametrov in ustvarjanja povzetka stanja baterije,
- D. varnost za preprečevanje nepooblaščenih sprememb mejnih vrednosti kritičnih parametrov, kot so napetost, temperatura in tok, ki so bistveni za vzdrževanje zanesljivega delovanja litij-ionske baterije,
- E. zmožnost samodiagnosticsiranja,
- F. zagotavljanje kibernetne varnosti.

4.2.10 Avtomatski sistemi gašenja

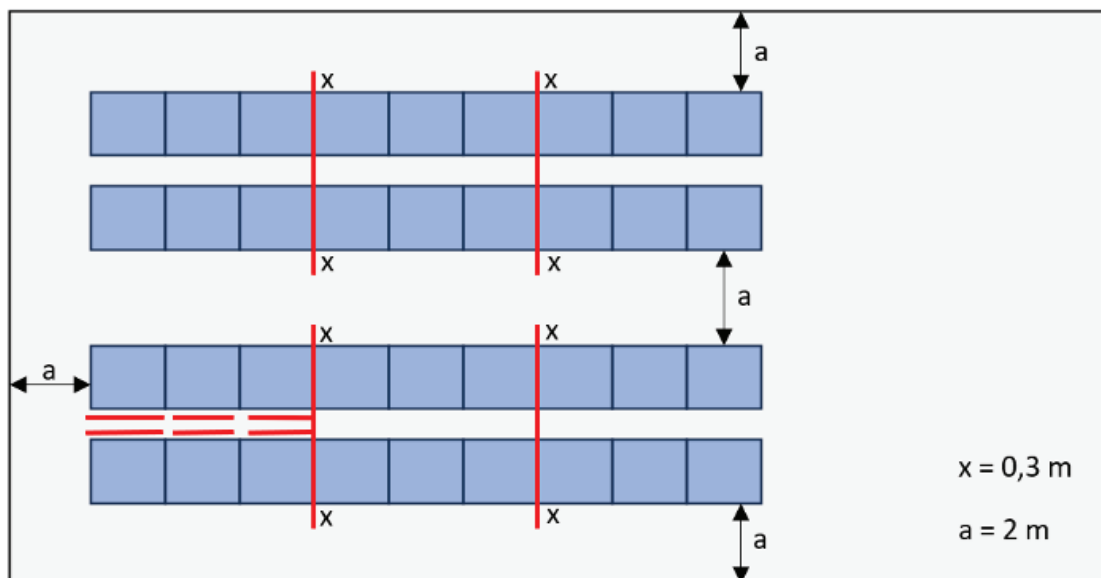
4.2.10.1 Sprinklerski sistem

Če koncept požarne varnosti predvideva nameščanje sprinklerskega sistema se ta za BHEE načrtuje kot HP3: 12,5 mm/min po površini prostora. Trajanje delovanja sprinklerskega sistema je treba oceniti kot 45 minut pomnoženo s številom sosednjih BHEE.

Pri zasnovi prostora je potrebno upoštevati možnost odvodnjavanja ali zajema požarne vode.

Če razpoložljiva oskrba z vodo ne omogoča daljšega trajanja delovanja sprinklerskega sistema, je potrebno namestiti negorljive in izolativne pregrade (EI 90):

- A. od tal do stropa med sosednjimi regali pravokotno na vrata ali odprtino omare, da preprečite širjenje ognja. Zagotovite, da pregrade segajo 0,3 m od sprednje strani omare. Določite vodoravno razdaljo med pregradami glede na to, koliko regalov je mogoče zaščititi z razpoložljivo oskrbo z vodo.
- B. na zadnji strani (brez prehoda) vsakega omare, da preprečite prenos toplote na sosednje omare v naslednji vrsti. Kjer zasnova omare vključuje požarno odporno zadnjo stran (EI 90 in brez prezračevalnih odprtin), dodatne pregrade niso potrebne.



Slika 6: Nameščanje negorljivih in izolativnih pregrad (EI 90) med sosednjimi regali ali na zadnji strani (rdeče črte).

4.2.10.2 Sistem s kondenziranim aerosolom

Sistemi s kondenziranimi aerosoli so zasnovani v skladu z mednarodnimi standardi in predpisi, vključno z:

- **EN 15276-1:2019 in EN 15276-2:2019** – Zahteve in preskusne metode za komponente in sisteme za gašenje s kondenziranimi aerosoli.
- **ISO 15779** – Zahteve in preskusne metode za sisteme za gašenje s kondenziranimi aerosoli.

4.2.10.3 Sistemi s plinskim gašenjem

Na splošno sistemi za plinsko gašenje niso priporočljivi za uporabo v BHEE iz naslednjih razlogov:

- A. učinkovitost glede na nevarnost: Sistem za plinsko gašenje lahko inertira ali prekine kemično reakcijo požara, vendar le za čas prisotnosti plina. Čas zadrževanja plina je običajno kratek - do deset minut, kar ni dovolj dolgo, da bi požar BHEE popolnoma pogasili ali preprečili širjenje temperaturnega pobega na sosednje module ali omare.
- B. hlajenje: Hlajenje okolice je ključni dejavnik za zaščito strukture ali okoliških prostorov. Sistemi za plinsko gašenje ne zagotavljajo hlajenja BHEE ali okoliških prostorov.
- C. omejena količina: Raziskave in testiranja so pokazale, da se lahko požari BHEE ponovno vnamejo več ur po tem, ko se domneva, da je bil začetni dogodek pogašen. Ker se plinski gasilni sistemi lahko izpraznijo le enkrat in se odplinijo, bi do nadaljnjega vžiga prišlo v nezaščitenem prostoru.

4.2.10.4 Gašenje z vodno raztopino vermikulita (AVD):

Za gašenje 250-500 Wh se potrebuje 6 litrov gasila AVD

Za gašenje 500-750 Wh se potrebuje 9 litrov gasila AVD

Za <25 kWh BHEE bi potreboval 1x prevozni gasilnik s 50 litri gasila AVD.

Za <110 kWh BHEE bi potreboval 2x prevozni gasilnik s 50 litri gasila AVD.

4.2.11 Zajem požarne vode

Za stacionarne BHEE z zmogljivostjo več kot 110 kW se mora zagotoviti naprave za zajem požarne vode.

Primer: Ob poškodbi oziroma požaru se iz celice Li-ION baterije sprosti 110 mg HF ter v vodi topne snovi:

12 g LiPF_6 na celico

4 g NaPO_4 na celico

55 g LiPO_4 na celico

2 g LiOH na celico

4.2.12 Dodatni požarno varnostni ukrepi

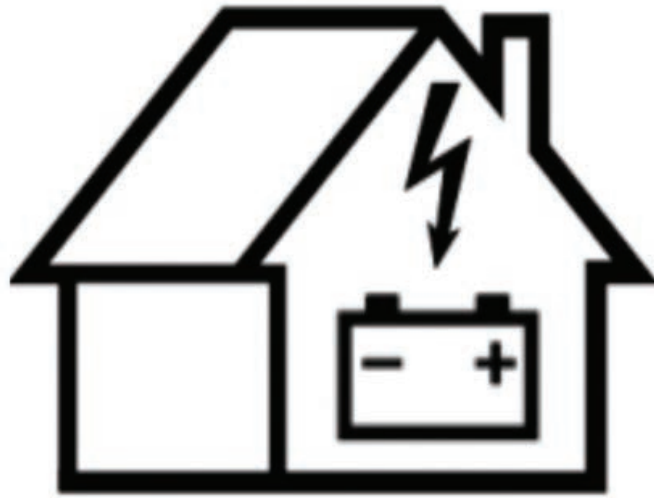
Za stacionarne BHEE z zmogljivostjo več kot 600 kWh so potrebni dodatni požarno varnostni ukrepi. Upoštevati je treba zlasti previdnostne ukrepe za gašenje požarov, kot so dostopne odprtine za gasilno vodo, odprtine za odvod dima in načrt za nujne primere za odpiranje in vstop v poškodovane sisteme.

4.2.13 Izolirani BHEE

Za izolirane rešitve BHEE – na primer v gorskih kočah – je poleg izpolnjevanja zgornjih zahtev priporočljivo redno periodično vzdrževanje sistema za upravljanje baterij.

4.2.14 Označevanje BHEE

BHEE mora biti označen na dostopu gasilcev v stavbo.



Slika 7: Primer oznake je na risbi povzeto po standardih ISO 7000 in IEC 60417



Slika 8: Primer oznake prostora, v katerem je nameščen BHEE



Slika 9: Primer oznake stavbe, v kateri je BHEE in na strehi fotonapetostni sistem

4.3. Okoljska vprašanja

Vpliv okvare baterije na okolje je odvisen od vrste baterije, zasnove in strukture. Upoštevati je potrebno, da delovanje sistema BESS, vključno z baterijami in pretočnimi baterijami, pod pogoji, ki jih dovoljujejo lokalna zakonodaja in predpisi, poteka brez kakršnega koli negativnega vpliva na okolje.

Napaka v sistemu BESS je smatrana kot izguba sposobnosti celice, pretočne celice, baterije ali pretočne baterije v podsistemu elektrokemičnega kopičenja, da deluje kot je zahtevano. Ta napaka povzroči napako podsistema kopičenja in posledično lahko povzroči tudi okvaro sistema BESS z morebitnimi okoljskimi težavami.

4.3.1 Klasifikacija tipov BHEE

Tipi BESS so v tabeli 1 razvrščeni v pet tipov v skladu z IEC 62933-5-2 glede na posebne značilnosti nameščenega elektrokemičnega sistema za shranjevanje, tj. nameščenega tipa baterije in njegovega elektrolita.

Oznaka tipa BHEE

Razlikovalne oblikovne značilnosti:

- C-A Celica z elektrolitom, ki ni topen v vodi (npr. Li-ionska)
- C-B Celica z elektrolitom, ki je topen v vodi (npr. Pb kislina, NiMH)
- C-C Celica s trdnim elektrolitom, ki deluje nad 250 °C ali opredeljena kot HT (visokotemperaturna) celica (npr. NaS, NaNiCl)
- C-D Celica z recirkulirajočim elektrolitom, ki je topen v vodi ali opredeljena kot pretočna celica (npr. V5+/V2+)
- C-Z Celica s katerimkoli drugim elektrokemičnim parom, elektrolitom in konceptom shranjevanja energije ali njihovimi kombinacijami (npr. Li kovina s trdnim elektrolitom, elektrokemični dvoslojni kondenzatorji)

Razvrstitev tipov baterij, ki se uporabljajo v BESS in so navedene v tabeli 1, se spreminja, saj napredek v tehnologiji baterij prinaša spremembe v elektrolitih in zasnovi celic.

4.3.2. Povzetek tipičnih lastnosti komercialnih BESS inštalacij

Podatki dajejo informativen pregled ključnih tipičnih lastnosti običajnih baterij, ki se uporabljajo v napravah BESS. Obstajajo tudi drugi elektrokemični sistemi ali različice zasnove, ki se lahko, manj pogosto, uporabljajo ali načrtujejo tudi v takšnih napravah.

Predstavljene vrednosti so namenjene temu, da načrtovalcem/projektantom in uporabnikom takšnih sistemov ponudijo povzetek in primerljiv pregled vidikov in značilnosti, ki so lahko pomembne pri pregledu ocene vplivov okvare elektrokemičnega sistema BHEE na okolje.

Ti podatki niso namenjeni nadomeščanju ustreznih tehničnih podatkov, ki jih bosta sistemski integrator in proizvajalec baterij baterijskega sistema uporabila v dejanski bateriji v konkretni napravi BHEE.

Predstavljeni podatki se lahko spremenijo, ko se razvija tehnologija baterij in spreminjajo standardi.

5. TEHNIČNA PRIPOROČILA ZA PROJEKTIRANJE BHEE

Tehnična navodila za projektiranje BHEE v katera so vključene možnosti omejevanja koničnih moči, premikanja porabe električne energije in možnosti optimizacije presežkov električne energije iz fotovoltaičnih elektrarn so prikazana v nadaljevanju poglavja 6.

Izbiro in namestitev BHEE je dopolnjena z najnovejšimi tehničnimi rešitvami iz standardov, zahtevami iz Pravilnika o zahtevah za nizkonapetostne električne inštalacije v stavbah, Tehnično smernico TSG-N-002:2021, Nizkonapetostne električne inštalacije ter standardi.

5.1. Postopek za postavitve in priključitev BHEE, projektna dokumentacija, priključne sheme

V nadaljevanju je prikazan postopek izgradnje BHEE za gradnjo katerih ni potrebno pridobiti gradbenega dovoljenja. V osnovi je potrebno upoštevati Gradbeni zakon (GZ-1) in Uredba o razvrščanju objektov glede na zahtevnost gradnje ter njeno priložo 1, Klasifikacija objektov in razvrstitve (enostavni, nezahtevni, zahtevni), CC-SI 23022 - Hranilniki električne energije. Upoštevati je potrebno tudi Uredbo o podrobnejših pravilih urejanja prostora za umeščanje fotonapetostnih naprav in sprejemnikov sončne energije (5. člen - 7 alineja).

V določenih primerih se lahko upošteva tudi Gradbeni zakon (GZ-1) 3. člen, 41. točka - vzdrževanje objekta so dela, namenjena ohranjanju uporabnosti in vrednosti objekta, izboljšave, ki upoštevajo napredek tehnike, in manjši inštalacijski preboji ter Uredbo o razvrščanju objektov: Priloga 2 – Vzdrževanje objekta tč.4 - Namestitev novih inštalacij in tehnoloških naprav, potrebnih za delovanje objekta - Med ta dela med drugim spadajo: namestitev novih naprav in z njimi povezanih napeljav za ogrevanje, hlajenje, prezračevanje, pripravo tople vode in razsvetlavo, tudi za izkoriščanje obnovljivih virov energije in hranilnike energije.

Pri priključevanju hranilnikov električne energije (HEE) je potrebno upoštevati točko III.3 Priključitev hranilnikov električne energije (HEE).

Ne glede na določila Uredbe komisije (EU) 2016/631 o vzpostavitvi kodeksa omrežja za zahteve za priključitev proizvajalcev električne energije na omrežje (RfG), kjer so HEE in PEV izvzeti iz obveznosti uporabe določil te uredbe, se za priključevanje in obratovanje HEE do izdaje posebnih navodil za priključevanje in obratovanje HEE uporabljajo vse določbe teh Navodil in uredbe RfG. HEE se tako glede na uporabljeno tehnologijo pri pretvorbi shranjene energije v električno energijo omrežne frekvence obravnava kot vsak drug EM (SPEM ali MPP).

V času, ko HEE ali PEV na svojih sponkah odjema delovno moč iz omrežja, se v tehničnem smislu obravnava kot porabnik električne energije. V tem času veljajo zanj enaka tehnična pravila in obveze kot za vse ostale porabniške naprave v omrežju uporabnika omrežja, vključno z dovoljenim odjemom jalove moči.

V času, ko HEE ali PEV na svojih sponkah proizvaja delovno moč (na svojih sponkah oddaja delovno moč v omrežje) se v tehničnem smislu obravnava kot proizvajalec električne energije (proizvodna naprava oziroma EM) in zanj veljajo vse tehnične določbe teh Navodil (vključno z načinom obratovanja, regulacijo jalove moči,...).

Postopek za postavitev in priključitev BHEE¹⁵ bi lahko opisali v naslednjih 10 korakih:

1. Izbira in namestitvev:
 - projekt DPP,
 - študije,
2. Velikost in namen uporabe:
 - razporejanje in upravljanje z viri energije in potrošniki
 - otočno delovanje
 - El potrošnika/proizvajalca
3. Projektna dokumentacija – tehnična navodila za projektiranje:
 - projekt za izvedbo (PZI),
 - požarna presoja,
 - projektu izvedenih del (PID)
 - požarni načrt...
4. Priklop in zagon
5. Pregled in preizkus
6. Dokazilo o zanesljivosti objekta (DZO + NOV)
7. Delovanje in monitoring
8. Vzdrževanje
9. Upravljanje delovanja
10. Optimizacija delovanja (presežki električne energije, EMS,...).

V nadaljevanju sledi obrazložitev posameznih točk ter povezava s standardi in ostalo zakonodajo.

Izbira in namestitvev

Namestitev nadtokovne zaščitne naprave je treba izvesti med hranilnikom in napravo za polnjenje hranilnika, čim bližje hranilniku, kot je mogoče. Pri izbiri nadtokovne zaščitne naprave je treba upoštevati, da gre pri omenjeni povezavi za DC-tok (48 V DC napetost).

V zvezi z razporeditvijo in prerezi vodnikov veljajo zahteve, kot so podane v SIST HD 60364-5-52 in tehnični smernici za nizkonapetostne inštalacije TSG-N-002, poglavje Zaščita pred preobremenitvijo vodnikov. Pri tem je treba upoštevati:

- namen hranilnika,
- tip hranilnika,
- najvišje tokove za polnjenje hranilnika,
- najvišje tokove, ko je hranilnik uporabljen kot vir.

¹⁵ postopek izgradnje HEE brez GD

Upoštevati je treba, da so različni tokovi na obeh straneh pretvornika, upoštevati je treba najvišje tokove, ki jih lahko dajo viri v času, ko dobavljajo energijo, in najvišje tokove glede na namen hranilnika in zgradbe uporabnikove električne inštalacije.

Primeri zanimivih tipov akumulatorjev za hranilnike električne energije:

- Li-ionski, NMC
- LiFePO₄, LFP
- Svinčeni
- NiMH in
- Železo-zrak.

Izbira, tudi drugih možnosti, je odvisna od dejansko predvidenega okolja, kjer bo hranilnik postavljen, ter cene kot tudi glede zahtev za vzdrževanje in popravila.

Namen uporabe BHEE

Pri določanju namena uporabe BHEE se vprašamo po namenu uporabe:

- razporejanje in upravljanje z viri energije in porabniki,
- otočno obratovanje lokalnega sistema,
- El odjemalca in/ali proizvajalca električne energije

Na primer: Brez BHEE lahko izkoristimo samo 30% lastne proizvedene energije, s sistemom hranilnikov pa lahko povečamo izkoristek na 70%. Glede na izvedbo hranilnika je možno izkoristek povečati tudi na več kot 70% »**proizvedi lokalno - porabi lokalno - istočasno**«.

To je eden izmed namenov uporabe hranilnika poleg ostalih, kot so čim ugodnejše razporejanje in upravljanje z viri energije in odjemalci zaradi uporabe razpršenih virov energije, otočno delovanje (zasilno napajanje - "backup") ter pri tem vključena električna inštalacija odjemalca/proizvajalca ("prosumer").

Nizkonapetostne električne inštalacije odjemalca/proizvajalca ("prosumer") so opisane v standardu SIST HD 60364-8-2:2019, ki določa dodatne zahteve, ukrepe in priporočila za načrtovanje, postavitve in preverjanje vseh vrst nizkonapetostnih električnih inštalacij v skladu s SIST HD 60364-1:2005, točka 11.

Vključuje tudi lokalno proizvodnjo in/ali shranjevanjem energije, da se zagotovi združljivost z obstoječimi in prihodnjimi načini dobave električne energije opremi, ki uporablja tok, ali javnemu omrežju s pomočjo lokalnih virov. Takšne električne inštalacije so označene kot električne inštalacije za potrošnike in proizvajalce (PEI).

Ta dokument določa tudi zahteve za pravilno vedenje in delovanje PEI-ov, da se učinkovito doseže trajnostno in varno delovanje teh inštalacij, ko so integrirane v pametna omrežja.

Posamezne splošne tipske sheme vezave hranilnikov v sistemu FE in konfiguraciji "prosumer" so prikazane v **PRILOGI 1**.

Odločitev o velikosti in kapaciteti hranilnika električne energije (v kWh) in njegov namen uporabe je neposredno vezan na:

- porabo električne energije (kWh) v objektu,
- analizo minimalno letnih podatkov o porabi in proizvodnji, še posebej če imamo lokalni vir (fotonapetostne naprave, vetrne turbine, generatorji,...) Podatki dostopni na portalu Moj elektro (<https://mojelektro.si/>),
- odločitev o načinu delovanja hranilnika električne energije (npr. ponoči zagotoviti električno energijo, ki je bila shranjena podnevi, ali maksimalna samooskrba 24/7,...),
- odločitev ali potrebujemo zasilno napajanje (backup) v režimu otočnega delovanja,
- določitev ustrezne priključne moči vezano na to koliko naprav želimo napajati istočasno in pri tem upoštevamo tudi lokalni vir (npr. moč razsmernika, moč BHEE).

velikost in namen uporabe - povezava s sončno elektrarno:

- porabo električne energije (kWh), kot od zmogljivosti sončne elektrarne,
- sistem sončna elektrarna + hranilnik električne energije je najbolj učinkovit (trenutno veljavna uredba o samooskrbi - ki ukinja koncept "netiranja" prevzetih in oddanih količin v omrežje,
- pri izbiri hranilnika električne energije morate zagotoviti, da je na voljo dovolj presežne sončne energije. Dimenzioniranje hranilnika je odvisno tako od porabe energije kot od zmogljivosti fotovoltaičnega sistema,
- pri obstoječih sončnih elektrarnah je potrebno preveriti, če je obstoječi inverter združljiv s hranilnikom električne energije.

Več natančnih navodil za dimenzioniranje BHEE je navedeno v poglavju 5.3. Dimenzioniranje parametrov BHEE in v prilogi 6 prikazan primer izračuna optimalne baterije za industrijski objekt s SE.

Projektna dokumentacija – tehnična navodila za projektiranje

Bistvena navodila za izdelavo projektne dokumentacije so Sistemska obratovalna navodila za distribucijski sistem električne energije (SONDSEE).

Bistvene zahteve so naslednje:

- vse naprave uporabnika morajo biti izdelane in označene v skladu z veljavnimi predpisi v Sloveniji in EU, predvsem pa s Pravilnikom o električni opremi, ki je namenjena za uporabo znotraj določenih napetostnih mej in Pravilnikom o elektromagnetni združljivosti.
- ELES v SONDSEE predpiše takšen sistem ozemljevanja in s tem nabor ukrepov za zaščito pred električnim udarom, ki ga tehnično omogoča omrežje. Izvedbo rešitev določi projektant.
- merilne naprave in njihove karakteristike se določijo skladno s Prilogo 2 - Tipizacija merilnih mest.

Sheme za priključitev uporabnikov sistema

Kombinirani sistemi operater (ELES) določa za potrebe priključevanja odjema končnih odjemalcev, proizvodnih naprav (tudi naprav za samooskrbo), hranilnikov električne energije, polnilnih mest za električna vozila in podobnih naprav uporabnikov sistema splošne tipske sheme PS1, PS2 in PS3.

Presoja vplivov motenj naprav v distribucijskem sistemu, 100. člen SONDSEE:

V 100. členu SONDSEE je navedeno, da mora uporabnik sistema pred priključitvijo nove naprave (npr. hranilnika električne energije) v obstoječe omrežje, za katerega je že bil izdan SZP, posredovati distribucijskemu operaterju zahtevane podatke za vsako posamezno napravo, če bo: priključil naprave kot porabnike z naznačenim tokom, večjim od 50 A fazno za nizkonapetostno omrežje in 20 A fazno za srednje napetostno omrežje,

in sicer dokument o opravljeni presoji vplivov naprav na omrežje, vključno s postopkom izračuna, če v presoji ni bil udeležen distribucijski operater.

Priključitev agregata na električno inštalacijo uporabnika sistema za njegove lastne potrebe, 54. člen SONDSEE.

Uporabnik sistema po priključitvi agregata prevzema odgovornost za varnost ljudi in živali in morebitno nastalo škodo ob nepravilni uporabi, ki bi nastala na njegovi električni inštalaciji, priključenih porabnikih ali proizvodih.

Na smiselno enak način se priključujejo tudi drugi viri napajanja za lastne potrebe.

Primeri za splošne tipske sheme PS.1, PS.2 in PS.3:

Splošna tipska shema PS.1

- a. za odjem končnega odjemalca
- b. za proizvodno napravo ali BHEE ali PEV ali podobnih naprav
- c. za kombinacijo predhodnih dveh namenov.

Splošna tipska shema PS.2, za registracijo podpor za proizvodne naprave, systemske storitve, in posebnih storitev.

Splošna tipska shema PS.3

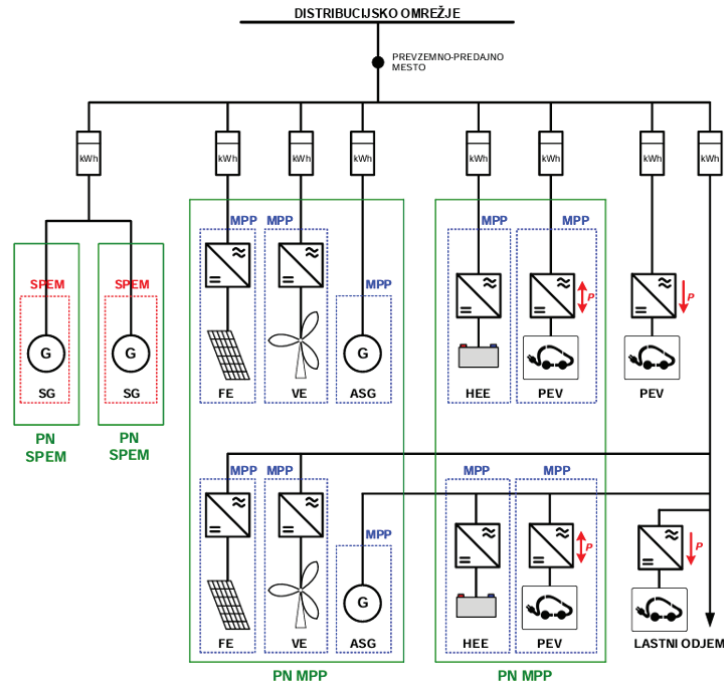
- a. za individualno samooskrbo
- b. za skupnostno samooskrbo

Posamezne splošne tipske sheme PS.1, PS.2 in PS.3 so prikazane v **PRILOGI 2**.

Za priključevanje in obratovanje proizvodnih naprav in hranilnikov priključenih v distribucijsko elektroenergetsko omrežje je potrebno upoštevati SONDSEE in PRILOGA 5.

Navodila podajajo tehnične pogoje in karakteristike, ki jih je treba upoštevati pri priključevanju in obratovanju proizvodnih naprav in hranilnikov električne energije, ki so priključeni v distribucijski elektroenergetski sistem (DEES) Slovenije.

Zahteve za posamezne vrste proizvodnih naprav glede na način njihovega obratovanja in njihove delovne moči iz Soglasja za priključitev (PN) so razvidne na naslednjem diapozitivu:



Slika 12: Splošni prikaz klasifikacije PN glede na tehnologijo proizvodne naprave,
Vir: SONDSEE in PRILOGA 5

Standard VDE-AR-E 2510-2 Stacionarni sistemi za shranjevanje električne energije, namenjeni za priključitev na nizkonapetostno omrežje prikazuje Pravila za priključitev na omrežje je treba upoštevati tako pri polnjenju kot tudi pri praznjenju akumulatorjev. Posamezni sistemski diagrami vezave sistema za shranjevanje energije v baterijah (BESS) v sistemih ozemljevanja TN-C, TN-C-S, TT, IT so prikazane v **PRILOGI 3**.

Vsi funkcionalni in varnostni elementi v PRILOGI 3 so prikazani kot primeri. Sistemski diagrami so izbor možnih konfiguracij sistema ozemljevanja.

Navodila za obratovanje in vzdrževanje (NOV)

- Z navodili za obratovanje in vzdrževanje se določijo:
- obvezni (minimalni) časovni razmiki in pogoji rednih pregledov ter roki in obseg občasnih pregledov,
- obseg vzdrževalnih del, s katerimi se zagotavlja, da bo objekt v času uporabe izpolnjeval bistvene zahteve; pri stavbah v etažni lasti je treba obseg vzdrževalnih del prikazati ločeno za posamezne dele stavbe in zunanje (skupne) površine,
- zahteve za organizacijske ukrepe z vidika požarne varnosti in
- druge zahteve (npr. obratovalni dnevnik), če so za obratovanje objekta določene.

5.2. Vodenje in kibernetska varnost BHEE

Za zagotavljanje varnega oddaljenega nadzora in upravljanja baterijskega hranilnika je nujna implementacija ustreznih ukrepov kibernetske varnosti, ki preprečujejo neavtoriziran dostop do podatkov in zmanjšujejo tveganje sprejema zlonamernih krmilnih ukazov. Izbor in implementacija varnostnih mehanizmov morata biti skladna z značilnostmi uporabljenih komunikacijskih protokolov, saj se raven zaščite in načini preverjanja pristnosti razlikujejo glede na protokol.

Izmenjava podatkov mora temeljiti na načelu celovite (end-to-end) varnosti, ki zagotavlja, da so podatki v celotni komunikacijski verigi (end-to-end) zaščiteni pred nepooblaščenim dostopom, spremembami ali prestrazanjem. To se doseže z uporabo kriptografskih mehanizmov za šifriranje prenosnih poti, overjanje komunikacijskih subjektov ter preverjanje celovitosti podatkov z uporabo kod za preverjanje pristnosti sporočil (MAC) ali digitalnih podpisov.

Protokol IEC 104 nima vgrajenih mehanizmov kibernetske varnosti, saj se promet SCADA tradicionalno prenaša nešifrirano znotraj zasebnih telekomunikacijskih omrežij. Vendar pa je v današnjem, hitro spreminjajočem se okolju kibernetskih groženj krepitev kibernetske varnosti informacijskih sistemov nujna. Standard IEC 62351 je posebej zasnovan za zaščito komunikacijskih protokolov v elektroenergetskih sistemih, vključno s protokolom IEC 60870-5-104. Standard IEC 62351-5 opredeljuje t. i. aplikacijski profil (A-profil) za varno komunikacijo ter določa sporočila, postopke in algoritme, potrebne za zaščito vseh protokolov, ki temeljijo na ali izhajajo iz IEC 60870-5, kot so sistemi za daljinsko vodenje in prenose podatkov (Telecontrol Equipment and Systems – Transmission Protocols). Poleg tega osnutek tehnične specifikacije IEC 62351-5-7 opisuje varnostne razširitve za protokola IEC 60870-5-101 in IEC 60870-5-104, ki uporabljajo širši standard IEC 62351. Uvedba standarda IEC 62351-5 povečuje varnost protokola IEC 104 z uporabo šifriranja sporočil, overjanja uporabnikov ter zagotavljanja celovitosti sporočil z uporabo kod za preverjanje pristnosti sporočil (MAC).

Pri izmenjavi podatkov z BHEE z uporabo protokola MQTT je treba uvesti dodatne varnostne mehanizme, zlasti če se podatki prenašajo prek javnega interneta. Odjemalci MQTT morajo biti pri posredniku (brokerju) overjeni z uporabo SSL certifikatov x509, ki v tem kontekstu zagotavljajo najvišjo raven varnosti. Dovoljenja za dostop do komunikacijskih kanalov na posredniku se upravljajo s seznamom za nadzor dostopa (ACL – Access Control List). Slednje zagotavlja, da ima overjeni odjemalec dostop do teme le, če je to izrecno dovoljeno. Za zaščito vsebine sporočil MQTT je treba uporabiti protokol TLS (Transport Layer Security), ki vzpostavi šifriran komunikacijski kanal za prenos MQTT sporočil. Po potrebi se lahko šifriranje izvede tudi na požarnem zidu, kar omogoča nešifrirane podatke znotraj posrednika.

Medtem ko se standard IEC 61850 osredotoča predvsem na funkcionalno komunikacijo in modeliranje podatkov, se njegova varnost bistveno izboljša z vključitvijo dopolnilnih standardov, zlasti standarda IEC 62351, ki obravnava kibernetsko varnost elektroenergetskih sistemov. Ker IEC 61850 za izmenjavo sporočil uporablja protokol MMS (Manufacturing Message Specification), je uporaba standarda IEC 62351-4 (Security for any profiles including MMS) posebej ustrezna. Z vključitvijo varnostnih mehanizmov, opredeljenih v IEC 62351-4, je komunikacija po standardu IEC 61850-90-2 bistveno okrepljena. Uporaba šifriranja TLS v kombinaciji z overjanjem na osnovi certifikatov x509 zagotavlja, da je komunikacija na širokem območju, ki temelji na MMS, varna, zanesljiva in odporna proti širokemu spektru kibernetskih groženj.

5.3. Dimenzioniranje parametrov BHEE

Pri načrtovanju optimalnih parametrov BHEE ne zadošča le izbira moči in kapacitete na podlagi ocen ali pravilnikov.

Priporočljiva je uporaba optimizacijskega postopka, ki izhaja iz realnih časovnih vrst moči na priključni točki (odjem, proizvodnja ali izravna energije) ter predvidene vloge BHEE v sistemu. Časovne vrste z 15-minutno resolucijo pomenijo, da imamo podatek o moči za vsakih 15 minut. To razkrije hitre spremembe v odjemu ali proizvodnji, ki bi jih povprečni podatki povsem zakrili. Za baterijo je to ključno, ker pokaže, kako hitro se mora odzivati, koliko moči mora nuditi v kratkih intervalih in kako pogosto bo izvajala cikle polnjenja ali praznjenja. Takšna resolucija omogoča natančno določitev potrebne moči, kapacitete in postavljanje strategije delovanja BHEE. Če bi imeli le grobe podatke o količinah energije, bi baterijo lahko pre ali pod dimenzionirali, ker ne bi videli dejanskih kratkotrajnih konic in padcev. Pri dimenzioniranju baterije se priporoča uporabljati simulacije, ki korak za korakom spremljajo njen odziv na dejanske 15-minutne vrednosti moči. Model mora v vsakem intervalu izračunati, ali se baterija polni, prazni, kako hitro to počne in koliko energije shrani ali odda od sebe. Tako vidimo, ali izbrana moč in kapaciteta zadoščata pri hitrih konicah ali nenadnih padcih moči. Če imamo namesto časovnih moči le grobe količine energije (npr. dnevne ali mesečne vsote), projektant ne more zaznati kratkotrajnih obremenitev, zato izračuna premajhno ali preveliko baterijo. Brez simulacijskih orodij, ki delajo s časovno resolucijo, projektant preprosto ne vidi realnih obratovalnih potreb in tvega napačno dimenzioniranje BHEE.

Postopek optimizacije se mora začeti z obdelavo merilnih podatkov in njihovo pretvorbo v enotno osnovo (tipično kW v 15-min intervalih), z jasno ločitvijo med pozitivnimi vrednostmi, ki predstavljajo potrebo po praznjenju (razbremenitev koničnih obremenitev, zmanjšanje odjema električne energije iz elektroenergetskega omrežja), in negativnimi vrednostmi kot priložnostjo za polnjenje (prevzem viškov električne energije). Na tej osnovi se z diskretno simulacijo za širok nabor kombinacij nazivne moči in kapacitete BHEE izračuna dejansko obnašanje hranilnika: v vsakem časovnem koraku se upoštevajo omejitve moči, energijske kapacitete, učinkovitosti polnjenja/praznjenja in začetnega stanja napolnjenosti, rezultat pa je časovna vrsta stanja napolnjenosti (SoC), energija, ki jo baterija dejansko shrani ali odda, ter neprocesirana angl. »unprocessed« energija, ki je zaradi omejitev sistema ne more procesirati tj. obdelati. Neprocesirana energija je del energije, ki bi jo baterija morala shraniti ali oddati, pa tega zaradi svojih omejitev moči in kapacitete ne zmore. To se zgodi, ko je baterija že polna in bi morala sprejeti več energije, ali pa je prazna in bi morala oddati več moči, kot je zmožna. V simulacijah to pomeni izgubljeno priložnost in sicer energija, ki se pojavi v sistemu, vendar je hranilnik ne more shraniti vase, ker mu zmanjka kapacitete, moči ali manevrskega prostora v določenem trenutku. Po tem definiramo lahko razpoložljivost BHEE. Razpoložljivost pomeni, kolikšen del časa je baterija dejansko na voljo za opravljanje svojih funkcionalnosti– torej v takem stanju napolnjenosti, da lahko še sprejme ali odda energijo.

Če je baterija pogosto povsem polna ali povsem prazna, je njena razpoložljivost nizka, ker se takrat ne more odzvati na potrebe sistema¹⁶. Če večino časa ostaja v srednjem območju SoC, kjer lahko deluje v obe smeri, je razpoložljivost visoka. Preprosto povedano razpoložljivost pove, koliko časa je baterija dejansko uporabna za svojo funkcijo. Če je baterija v trenutku potrebe tega sistema povsem polna ali prazna, ne more opraviti naloge, ki bi jo morala – zato rečemo, da je njena razpoložljivost nizka.

Na osnovi simulacij se morajo za vsako kombinacijo (moči/kapacitete) P/C izračunati ključni kazalniki: skupno procesirana energija BHEE, število ciklov polnjenja ali praznjenja (in cikli na dan/uro), statistika globine praznjenja (DoD), obremenitve z vidika C-rate ter delež časa, ki ga baterija »preživi« pri visokem ali nizkem SoC, skupaj z deležem mirovanja. Na podlagi teh rezultatov se v prostoru P/C identificira območje, kjer obdelana energija praktično doseže maksimum, pri čemer se znotraj tega nabora izbere kombinacija z najmanjšo relativno velikostjo sistema – tako imenovana "točka kolena", ki minimizira velikost BHEE ob skoraj maksimalni izkoriščenosti le-tega. Isto simulacijsko jedro se lahko nato uporabi za oceno obrabe in degradacije in sicer iz dejanske uporabe (število ciklov, DoD, C-rate, čas pri visokem SoC) se z uporabo determinističnega modela degradacije ocenjuje padec razpoložljive kapacitete v času, ločeno po časovnem staranju, ciklični degradaciji, dodatnem stresu zaradi visokih C-rate ter zaradi dolgotrajnega obratovanja pri visokem SoC, kar omogoča inženirju projektantu, da poveže obratovalne scenarije s pričakovano življenjsko dobo baterije. Če so na voljo napovedi, omrežnina ali scenariji tržnih cen električne energije (spot, terciarne rezerve ipd.), se na isto simulacijo nadgradi ekonomski model, ki energijske vrednosti vrednoti z upoštevanjem cen, s čimer se dobi slika neto prihodkov (prihodki od praznjenja, stroški polnjenja) in ključnimi ekonomskimi kazalniki (npr. prihodki na enoto investicije, na enoto obdelane energije ali na enoto degradacije). Dodatno se iz zgodovinsko simuliranih podatkov in dejanskega odziva BHEE statistično izluščijo praktična pravila vodenja (rule-based control): tipična SoC območja, znotraj katerih se baterija polni oziroma prazni, nastavljene vrednosti obremenitve, pri katerih je smiselno aktivirati hranilnik, ter časovno odvisni vzorci (ure dneva oziroma dnevi v tednu, ko prevladuje polnjenje, praznjenje ali mirovanje), ki jih je možno neposredno implementirati v krmilnik ali uporabiti kot osnovo za kasnejše napovedno (Model Predictive controlled) (MPC) vodenje.

Optimizacijski postopek za dimenzioniranje velikosti BHEE je v praksi nujen element projektiranja in načrtovanja obratovanja BHEE: omogoča dimenzioniranje velikosti moči in kapacitete na podlagi dejanskega profila, kvantificira kompromis med investicijo, izkoristkom in degradacijo kapacitete ter zagotavlja, da se baterija uporablja predvsem ko ustvarja največjo sistemsko korist, ob hkratnem nadzoru preiskovalnih parametrov moči, kapacitete, učinkovitost polnjenja/praznjenja, začetno stanje SoC, ki odločilno vplivajo na njeno življenjsko dobo.

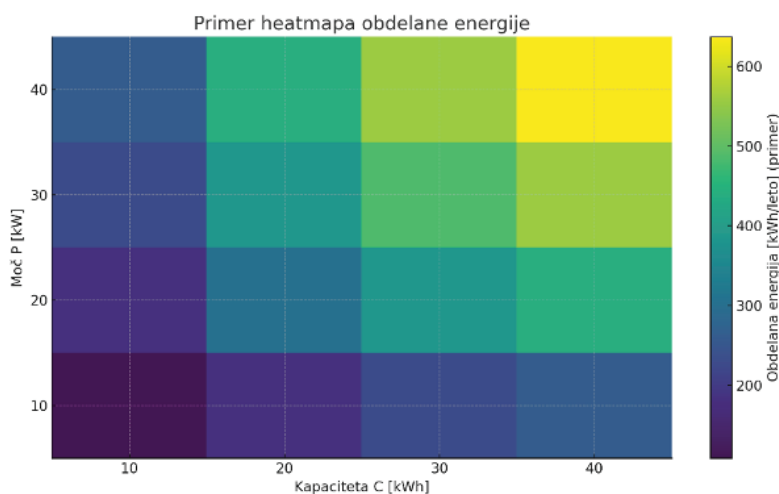
¹⁶ Sistem je okolje, v katerega je baterija vključena in mu služi. To je lahko odjemalec z lastno proizvodnjo, stavba, industrijski proces, elektroenergetsko omrežje ali katera koli kombinacija teh elementov. Sistem določa potrebe po energiji in moči: kdaj je treba energijo sprejeti, kdaj oddati, kako hitro se mora baterija odzvati in kako velike konice se pojavljajo.

5.3.1 Optimizacija parametrov moči in kapacitete BHEE

Dimenzioniranje BHEE predstavlja večkriterijsko optimizacijsko nalogo, kjer iščemo optimalno kombinacijo moči (P) in kapacitete (C), ki maksimizira koristi celovitega sistema (na objektu inštalacije) ob omejeni investiciji. Osnovna metoda za določitev optimalnih parametrov je »2D sweep¹⁷« analiza, pri kateri sistematično simuliramo delovanje BHEE za vse možne kombinacije moči in kapacitete v definirani mreži (npr. $P = 1\text{--}25\text{ kW}$ v korakih $0,5\text{ kW}$ in $C = 1\text{--}200\text{ kWh}$ v korakih 1 kWh), za vsako točko pa izračunamo ključne metrike:

- skupno obdelano energijo [kWh],
- število polnih ekvivalentnih ciklov,
- skupno trajanje delovanja pri nazivni moči [ure] in
- stroškovni koristi.

Optimizacijski cilj je običajno maksimizacija obdelane energije pri omejeni velikosti BHEE ali maksimizacija stroškovnega prihranka pri fiksnem proračunu, pri čemer moramo upoštevati, da se stroški BHEE povečujejo linearno s P in C (investicija $\approx k_1 \cdot P + k_2 \cdot C$), medtem ko se koristi povečujejo nelinearno in pri določeni velikosti dosežejo nasičenje.

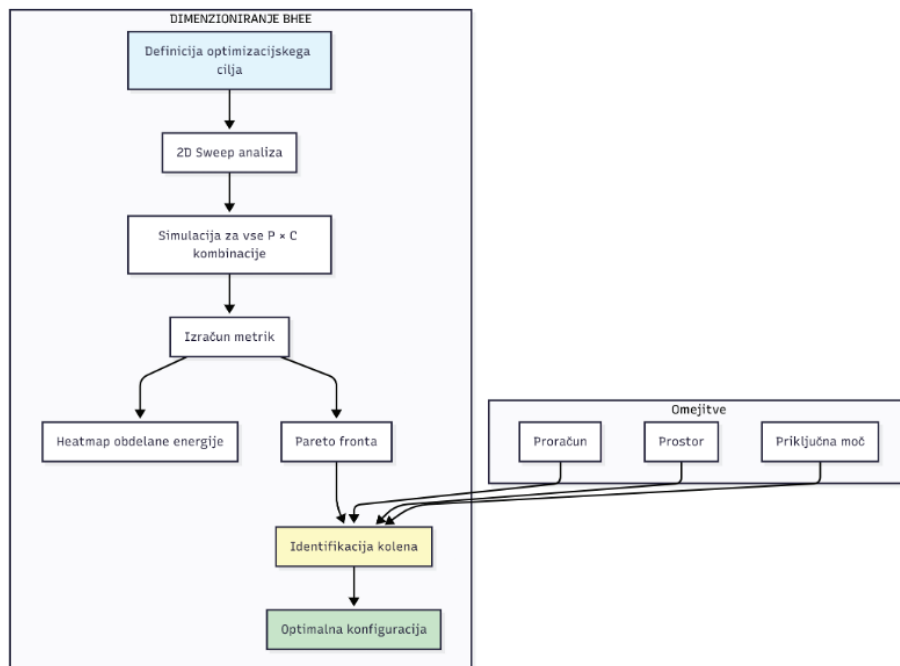


Slika 13: Obdelana energija BHEE glede na moč in kapaciteto (heatmap)

Slika 13 prikazuje t.i. »heatmap« primer, kjer so na x-osi kapacitete baterije, na y-osi moči, barve pa predstavljajo količino obdelane energije. Temnejše in bolj intenzivne barve označujejo večjo učinkovitost izbrane kombinacije P–C. Vidno je, da se obdelana energija povečuje z močjo in kapaciteto, vendar se pri večjih vrednostih rast postopno ustavi, kar kaže na točko nasičenja. Tak prikaz omogoča hiter pregled, katera konfiguracija je smiselna in kje povečanje baterije ne prinese večjih koristi.

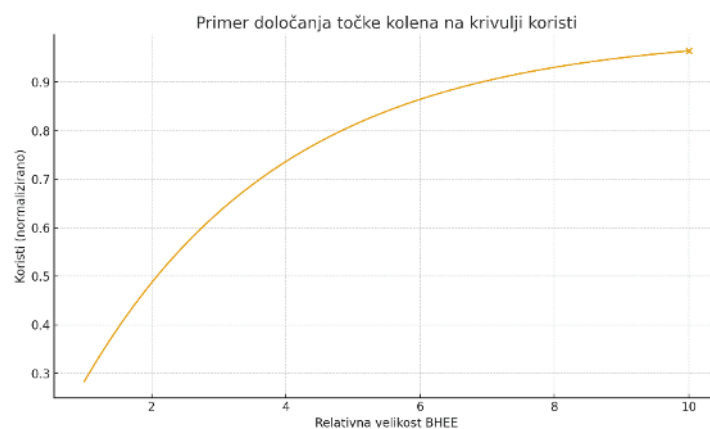
¹⁷ »2D sweep« pomeni sistematično prečesavanje dveh parametrov po celotni ravnini možnih vrednosti. V praksi to pomeni, da izbereš razpon moči baterije in razpon kapacitet; nato pa za vsako kombinacijo teh dveh vrednosti izvedeš simulacijo. Dobimo mrežo rezultatov čez celoten 2-D prostor (moč–kapaciteta), kar omogoča primerjavo delovanja baterije pri vseh možnih konfiguracijah in izbiro optimalne.

Na sliki 14 je prikazan kritičen koncept pri izbiri optimalne konfiguracije je t.i. »koleno« (angl. knee point) – točka na »Pareto fronti« s katero se preiskujejo vse možne kombinacije, kjer se krivulja koristi/stroškov začne izravnovati, kar pomeni, da nadaljnje povečanje velikosti BHEE zahteva nesorazmerno večjo investicijo za relativno majhen prirast koristi.



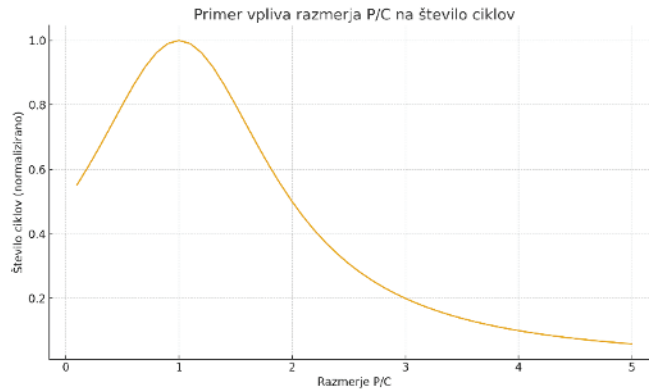
Slika 14: Dimenzioniranje BHEE

Koleno identificiramo z analizo specifične obdelane energije (obdelana energija na enoto kapacitete [kWh/kWh] ali na enoto investicije [kWh/€]), pri čemer iščemo točko z maksimalnim gradientom zmanjšanja specifične koristi. Poleg t.i. heatmapa obdelane energije je koristno pripraviti tudi graf razmerja $P/C \rightarrow$ število ciklov, ki pojasni, zakaj določene kombinacije niso optimalne: prevelika moč glede na kapaciteto (visoko P/C) vodi do majhnega števila ciklov, ker se baterija hitro izprazni.



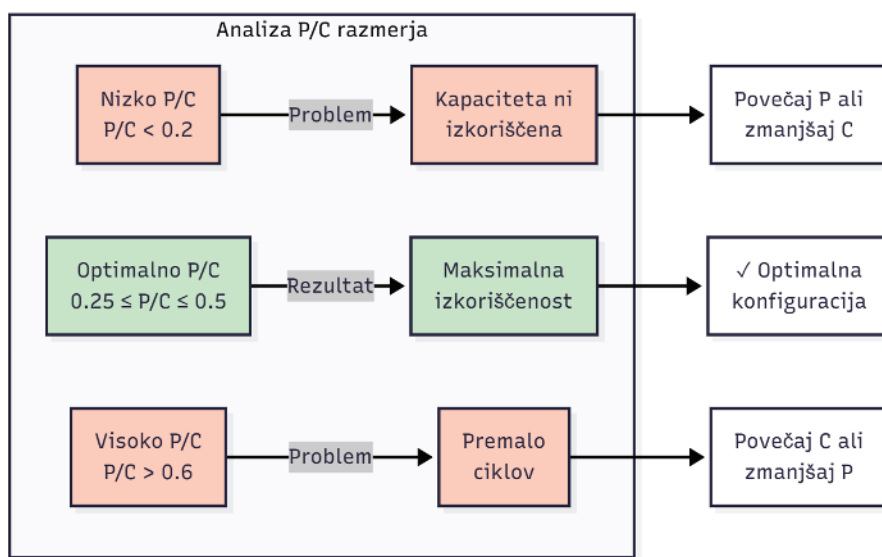
Slika 15: Krivulja koristi z označeno točko kolena

Slika 15 prikazuje, kako se koristi povečujejo z velikostjo BHEE, vendar se rast pri večjih velikostih izravna. Označena točka predstavlja približno »koleno«, kjer se začne pojavljati nesorazmerje med dodatno investicijo in dodatno koristjo.



Slika 16: Vpliv razmerja P/C na število ciklov

Slika 16 prikazuje, da ekstremno visoko razmerje P/C vodi do hitrega praznjenja in majhnega števila ciklov, medtem ko prenizko P/C pomeni slabo izkoriščanje kapacitete. Optimalno območje je nekje vmes, kar lepo pokaže oblika krivulje. Premajhna moč glede na kapaciteto (nizko P/C) pa pomeni, da kapaciteta baterije ni dobro izkoriščena, ker pretok energije ne zadostuje za polno polnjenje/praznjenje v razpoložljivem času.

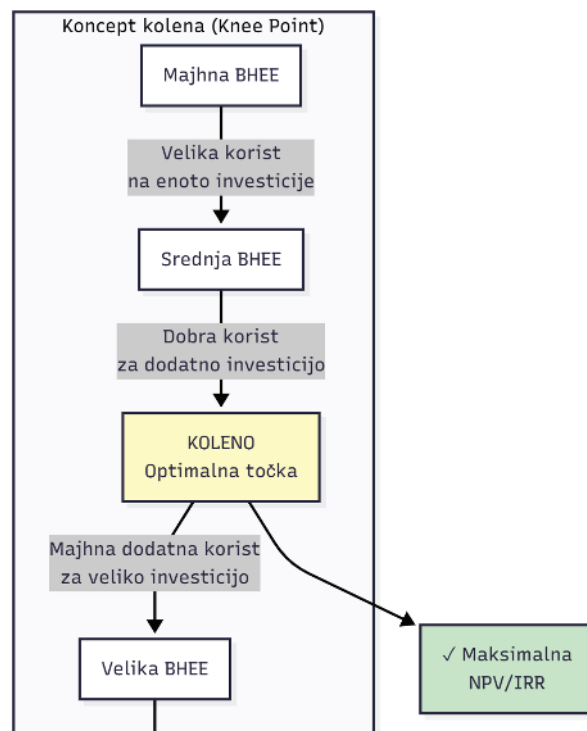


Slika 17: Analiza P/C razmerja

Slika 17 prikazuje shemo analize razmerja P/C in posledice različnih območij: pri prenizkem razmerju je kapaciteta baterije neizkoriščena, pri previsokem je premalo ciklov, optimalno območje pa zagotavlja najboljšo izkoriščenost. Prikazani so tudi ustrezni korektivni ukrepi. Optimalno razmerje P/C je običajno v območju 0,25-0,5 (C-Rate 0,25-0,5, torej 2-4 ure trajanja pri nazivni moči), kjer dosežemo najboljše razmerje med izkoriščenostjo kapacitete in fleksibilnostjo moči.

Praktična vrednost takšne analize je v tem, da inženirju projektantu v eni sliki razkrije, zakaj ni smiselno še dodatno večati kapacitete ali moči kjer se po določeni točki dodatna investicija prinese le marginalno povečanje obdelane energije, kar pomeni slabo ekonomsko upravičenost, obenem pa prikazuje tveganje predimenzionirane ali poddimenzioniranega sistema, kjer bodisi investiramo preveč za majhen prirast koristi bodisi izgubimo priložnost za večji prihranek z nekoliko večjo investicijo. V prvem primeru je težava neučinkovita poraba kapitala, v drugem pa neizkoriščen potencial, ker premajhna kapaciteta omeji količino energije, ki bi jo sistem lahko ekonomsko obdelal.

Končna izbira optimalne konfiguracije temelji na ekonomski analizi, kjer primerjamo neto sedanjo vrednost (NPV) ali interno stopnjo donosnosti (IRR) za različne točke na Pareto fronti, pri čemer upoštevamo investicijske stroške (CAPEX), operativne stroške (OPEX), pričakovano življenjsko dobo BHEE, stroške energije, možnosti prihodkov iz npr. sistemskih storitev in diskontno stopnjo.



Slika 18: Koncept optimalne točke »koleno«

Slika 18 prikazuje koncept optimalne investicijske točke »koleno«, ki opisuje razmerje med obsegom investicije v BHEE in doseženimi ekonomskimi koristmi. V začetni fazi, pri majhni in srednji BHEE, dodatne investicije prinašajo visoke mejne koristi, kar pomeni učinkovito rabo kapitala. Z naraščanjem investicije se mejni donosi postopno zmanjšujejo, dokler ni dosežena optimalna točka »koleno«, kjer je razmerje med dodatnimi stroški in dodatnimi koristmi še ekonomsko upravičeno ter sovпада z maksimalnimi vrednostmi kazalnikov NPV in IRR. Po preseganju te točke nadaljnje povečevanje investicije vodi v nesorazmerno visoke stroške ob minimalnem prirastu koristi, kar pomeni prehod v območje ekonomske neučinkovitosti.

5.3.2 Obratovanje in pravila vodenja ob presežkih EE

V tem poglavju obravnavamo obratovanje BHEE ter pravila vodenja, ki določajo, kdaj in kako se baterija polni, prazni ali miruje. Osredotočili se bomo na osnovne režime delovanja, omejitve ter pragovna (rule-based) pravila vodenja.

5.3.2.1 Osnovni režimi obratovanja

Baterijski sistemi delujejo v treh osnovnih režimih:

- **Polnjenje** (Charging): Baterija odjema električno energijo iz omrežja ali obnovljivih virov. To se zgodi, ko je na voljo presežek energije ali ko so cene elektrike nizke.
- **Praznjenje** (Discharging): Baterija oddaja shranjeno energijo v omrežje, na primer med vrhovi obremenitve ali ko so cene elektrike visoke.
-
- **Mirovanje** (Idle): Baterija ne polni in ne prazni; je v stanju pripravljenosti. To se uporablja, ko ni potrebe po aktivnem delovanju, da se izogne nepotrebnim degradacijam.

Režimi obratovanja so omejeni z naslednjimi parametri, ki zagotavljajo varno in učinkovito delovanje:

1. SoC_min in SoC_max: Minimalni in maksimalni nivo napolnjenosti (State of Charge - SoC), izražen v odstotkih. Tipično SoC_min = 10–20 % (da se izogne globokemu praznjenju, ki pospeši degradacijo), SoC_max = 90–100 % (da se izogne prenapolnjenosti).
2. P_max_charge/discharge: Maksimalna moč polnjenja ali praznjenja, izražena v MW. To omejuje hitrost pretoka energije in preprečuje pregrevanje.
3. C-rate: Hitrost polnjenja/praznjenja glede na kapaciteto baterije. Na primer, 1C pomeni, da se baterija popolnoma napolni ali izprazni v 1 uri. Omejitve C-rate (npr. max 2C) ščitijo pred prehitrim delovanjem, ki lahko povzroči degradacijo.

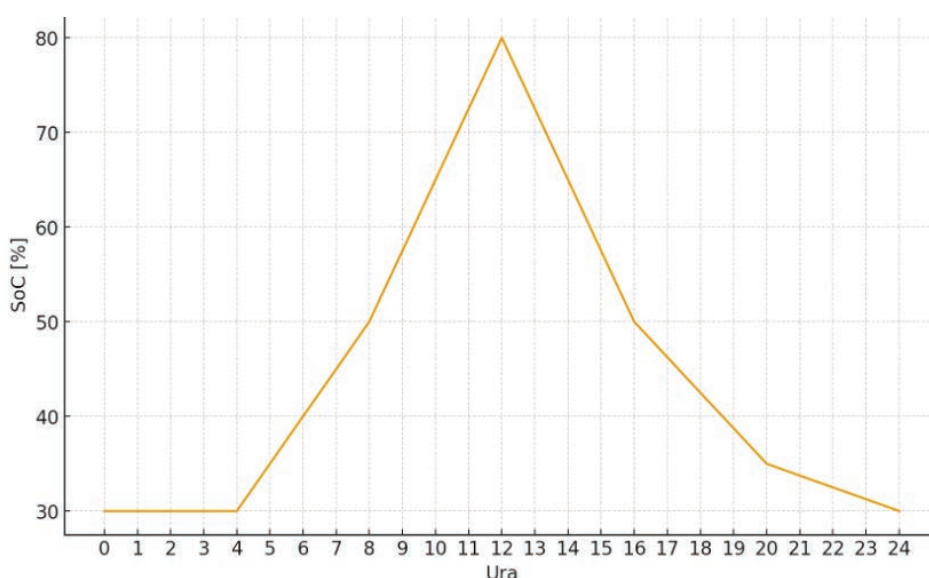
Ti parametri so ključni za podaljšanje življenjske dobe baterije in optimizacijo stroškov.

Fotovoltaične elektrarne pogosto proizvajajo presežke energije, zlasti v času največjega sočnega obsevanja, vendar je povpraševanje po energiji nižje. Ti presežki lahko vodijo do »curtailment« – namernega omejevanja proizvodnje, da se izognemo preobremenitvi omrežja ali lokalnim previsokim napetostim. Baterije igrajo ključno vlogo pri izogibanju temu, saj shranjujejo presežno energijo in jo kasneje oddajajo, ko je potreba (povpraševanje) po energiji višje (npr. zvečer). To ne samo zmanjša izgube, ampak tudi poveča dobičkonosnost baterijskega sistema in prispeva k stabilnosti lokalnega elektroenergetskega omrežja.

Presežki sončne energije nastanejo, ko proizvodnja sončnih panelov presega trenutno porabo. Brez shranjevanja se ta energija izgubi ali omeji (curtailment).

Optimizirano vodenje uporablja napovedi vremena in porabe za napoved presežkov. Integracija z rule-based vodenjem: Razširitev pragovnih pravil – npr. "če je sončna proizvodnja > poraba in SoC < X % $\rightarrow$ polni iz sončnih virov".

Prednosti: Zmanjšanje omejevanja (angl. curtailmenta) za 50–90 % (odvisno od regije), podaljšanje življenjske dobe baterij z omejevanjem globokih ciklov in izboljšanje samozadostnosti (npr. v mikro omrežjih). EU aktivno spodbuja integracijo FE in baterijskih hranilnikov prek reform trga, odprave regulatornih ovir in nacionalnih subvencij, kar omogoča učinkovito izrabo presežkov ter zmanjšanje omejevanja. Napredni algoritmi (MPC/ML) so ekonomsko smiselni, ker lahko izkoriščajo spremenljive cene in trge sistemskih storitev, kar dodatno izboljša donosnost SE+BHEE projektov.



Slika 19: Tipičen potek stanja napolnjenosti baterije (SoC) ob izrabi presežkov

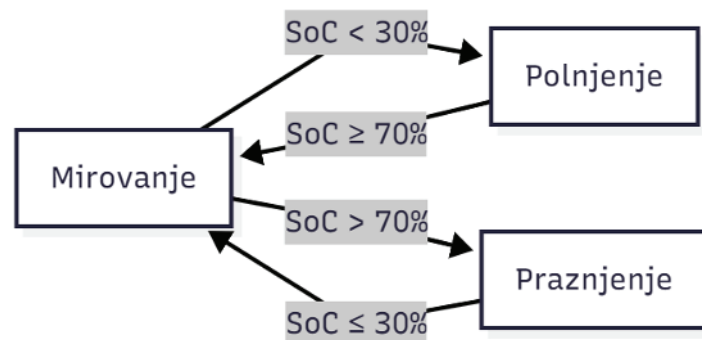
Slika 19 prikazuje spremembe stanja napolnjenosti baterije (SoC) v odstotkih (%) na tipičen sončen dan, kjer je polnjenje baterije neposredno vezano na presežke sončne energije, praznjenje pa na obdobja primanjkljaja (ko poraba presega lokalno proizvodnjo). SoC se spreminja čez sončen dan v hibridnem sistemu s sončno elektrarno: ob 00:00 je SoC na 30 % (po nočnem mirovanju), ostane nespremenjen do 04:00, nato med 08:00 in 12:00 hitro naraste do 80 % zaradi intenzivnega polnjenja iz sončnih presežkov (vrh proizvodnje opoldne), od 16:00 do 20:00 postopoma pade na 40 % med praznjenjem v obdobju večernih primanjkljajev, ko poraba presega proizvodnjo, in se do 23:00 stabilizira na 30 % – ta asimetrični cikel v operativnem oknu 30–80 % izkorišča dnevne presežke sončne energije za shranjevanje, jih pretvori v večerno razpoložljivo moč, zmanjša morebitno omejevanje (curtailment), podaljša življenjsko dobo baterije in zagotavlja stabilnost omrežja z maksimalno izrabo obnovljivih virov.

5.3.2.2 Pragovno vodenje BHEE

Pragovno vodenje BHEE je enostavna, pravilno temelječa strategija, ki temelji na »if-then« pogojih. Ne zahteva kompleksnih optimizacijskih algoritmov, ampak uporablja vnaprej določene pragove za odločanje o režimu delovanja. Primeri pravil:

1. Če je $\text{SoC} < X \%$ (npr. 30 %) in cena elektrike nizka ali obremenitev omrežja nizka $\rightarrow$ preklopi v polnjenje. To izkorišča ugodne pogoje za shranjevanje energije.
2. Če je $\text{SoC} > Y \%$ (npr. 70 %) in cena elektrike visoka ali obremenitev omrežja visoka $\rightarrow$ preklopi v praznjenje. To omogoča prodajo shranjene energije po višji ceni ali podporo omrežju med vrhovi.
3. Če ni izpolnjen noben pogoj $\rightarrow$ ostani v mirovanju. To minimizira nepotrebne cikle polnjenja/praznjenja.

Dodatno se uporabljajo operativna okna SoC, na primer omejitev delovanja med 20–80 %. To pomeni, da se baterija ne izprazni pod 20 % ali napolni nad 80 %, kar omejuje degradacijo (npr. zmanjša stres na celice litij-ionskih baterij). Takšna okna podaljšajo življenjsko dobo baterije za 20–50 %, odvisno od tehnologije.



Slika 20: Razni pogoji polnjenja/praznjenja baterije v odvisnosti od SoC vrednosti

Slika 20 prikazuje tri osnovna stanja baterijskega sistema: polnjenje, praznjenje in mirovanje. Preklop v polnjenje se izvede, ko SoC pade pod $X \%$ (npr. 30 %) in je cena ali omrežna obremenitev nizka, medtem ko se preklop v praznjenje izvede, ko SoC preseže $Y \%$ (npr. 70 %) in so cene ali obremenitve visoke; v vseh drugih primerih sistem ostane v mirovanju, da se izogne nepotrebni cikli. Logika deluje znotraj operativnega okna SoC (npr. 20–80 %), ki preprečuje pregloboko praznjenje ali prenapolnjenost ter s tem zmanjša degradacijo baterije in podaljša njeno življenjsko dobo.

6. PREGLED IN PREIZKUŠANJE

Iz funkcionalnih in varnostnih razlogov je potrebno redno preverjati baterijo in njeno obratovalno okolje. V skladu z zahtevami proizvajalca in tehnologije izdelave baterije, mora pregled vključevati preverjanja:

- ukrepov zaščite pred električnim udarom (glej tč. 4.1.6),
- zaščite pred nevarnostmi (glej tč. 4.1.9),
- identifikacij, opozoril, navodil za uporabo (glej tč. 4.1.10),
- nastavitve napetosti baterije na polnilniku,
- temperature baterije,
- „drsečega toka“ (float current),
- napetosti posameznih celic ali monoblokov,
- gostote elektrolita (če je ustrezno) in nivoja elektrolita
- čistoče in morebitnega puščanja elektrolita,
- zategnjenosti oz. momenta zatega povezav celic in kablov (če je zahtevano),
- pretoka zraka za prezračevanje.

Pri litij-ionskih baterijah je obvezno redno pregledovanje:

- puščanja elektrolita,
- poškodovane izolacije,
- mehanskih poškodb ohišja,
- napihnjenosti ohišja baterije (kritično stanje). V takšnem primeru je potrebno baterijo takoj izločiti iz delovanja, ne glede na to ali proizvajalec za takšne primere navede posebna navodila ali ne.

Minimalno, kolikor je glede na dostopnost opreme in priključkov na hranilniku izvedljivo, naslednje meritve:

- izenačitve potencialov s 4 žično metodo med izpostavljenimi prevodnimi deli hranilnika in ozemljilom oz. z ozemljilom povezanim priključkom BHEE,
- izolacijke upornosti pod napetostjo skladno z zahtevami podanimi v točki 5. in po metodi UN Regulation No. 100*. Pred izvedbo kakršnihkoli preskusov je treba preveriti, da ni prisotna nevarna napetost med baterijo in ohišjem ali nosilnim okvirjem. Baterija mora biti izolirana od zunanjega tokokroga, preden se izvede meritev upornosti izolacije proti zemlji (isolation-to-ground test).
- uhajavih tokov s superponiranim tokom 128 Hz na enosmerni inštalaciji med BHEE in razsmernikom, z namenom preverjanja napaka v izolaciji,
- superponiraniranega izmeničnega toka – “ripple current”, ki ga lahko povzročata na baterijo priključen polnilnik in breme.

Merilne metode so podrobneje opisane v poglavju 12 v Tehnični smernici za nizkonapetostne inštalacije TSG-N-002:2026. Pregled in preizkušanje se izvaja v skladu s standardom SIST EN 62446:2016.

Če se izvaja preizkus kapacitete, se uporabijo preskusne metode po IEC standardih glede na tehnologijo baterije:

- svinčeno-kislinska baterija, odprta izvedba: IEC 60896-11, točki 11 in 13;
- svinčeno-kislinska baterija, ventilno regulirana: IEC 60896-21, točka 6.11;
- NiCd baterija, odprta izvedba: IEC 60623, točka 4.2;
- NiCd baterija, delna rekombinacija: IEC 62259, točka 7
- NiCd baterija, zaprta izvedba: IEC 60622, točka 4.2.4
- Litij-ionske baterije : IEC 62620:2014, točka 6.3

Koristne informacije za nadzor svinčeno kislinskih baterij so podane tudi v IEC/TR 62060.

* UN Regulation No. 100 - Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to specific requirements for the electric power train (Revision 2, including Amendments 1–3).

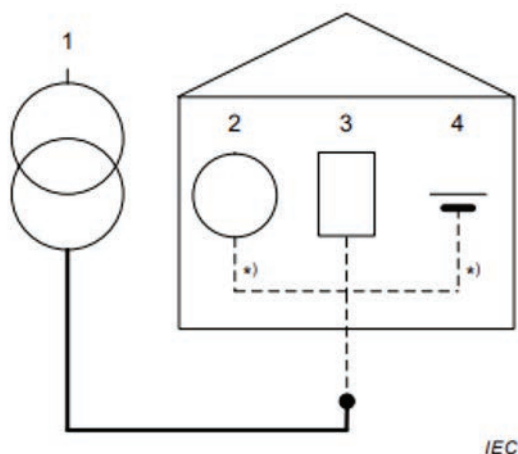
Preverjanja se smiselno izvajajo pred prevzemom BHEE v obratovanje in periodično v rokih, ki so zahtevani za preverjanje električne inštalacije na katero je BHEE priključen.

7. PRILOGE

PRILOGA 1: Posamezne splošne tipske sheme vezave hranilnikov v sistemu FE in konfiguraciji "prosumer"

Koncepti vezave hranilnikov električne energije

(vir: SIST HD 60364-8-82 in PRIROČNIK PREGLED ZAKONODAJE, STANDARDOV IN IZRAZOSLOVJA S PODROČJA FOTONAPETOSTNIH SISTEMOV, 2. izdaja, IZS, december 2022)



Legenda (vir: SIST HD 60364-8-82):

1 – javno elektroenergetsko omrežje (Public network),

2 – proizvodni viri (Power supplies),

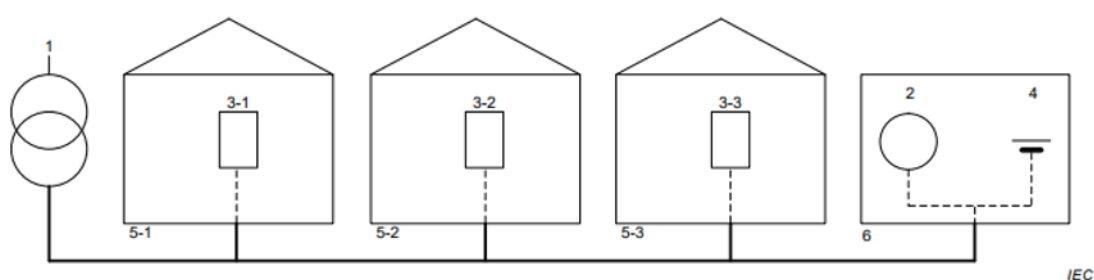
3 – bremena (potrošniki, odjemalci) (Loads),

4 – hranilniki električne energije (Storage units),

*) Opcija (vsaj eden mora biti prisoten) (Optional (at least, one of them shall be present)).

Slika 1: Koncept vezave hranilnikov električne energije v sistem FE

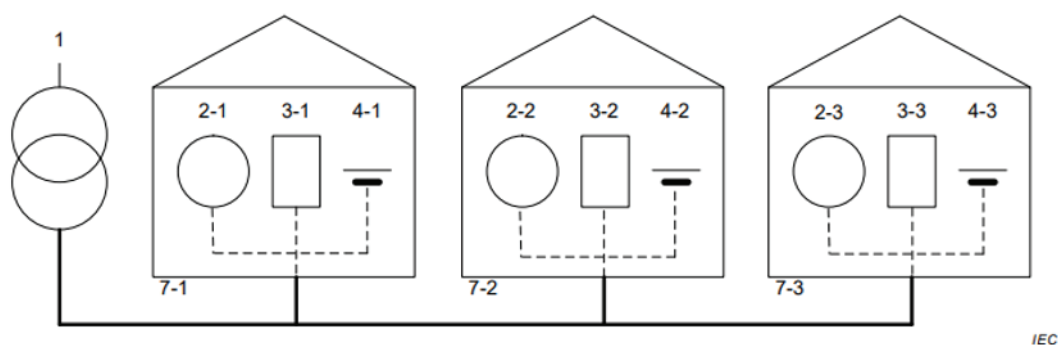
Koncept vezav FE v konfiguraciji »prosumer«



Legenda:

- 1 – javno elektroenergetsko omrežje (Public network),
- 2 – proizvajalci (Power supplies),
- 3-1 – breme 1 (Loads 1),
- 3-2 – breme 2 (Loads 2),
- 3-3 – breme 3 (Loads 3),
- 4 – hranilnik (Storage units),
- 5-1 – odjemalec 1 (Consumer 1),
- 5-2 – odjemalec 2 (Consumer 2),
- 5-3 – odjemalec 3 (Consumer 3),
- 6 – proizvodne enote (Producer).

Slika 2: Primer kolektivnega PEI, ki uporablja energetska infrastrukturo

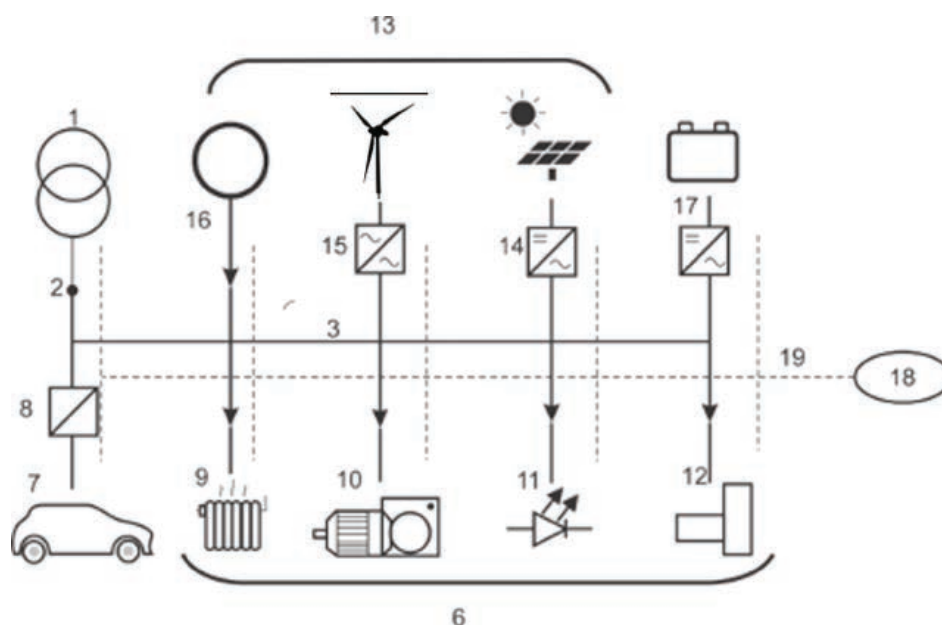


Legenda:

- 1 – javno omrežje (Public network),
- 2-1 – proizvajalec 1 (Power supply 1),
- 2-2 – proizvajalec 2 (Power supply 2),
- 2-3 – proizvajalec 3 (Power supply 3),
- 3-1 – breme 1 (Load 1),
- 3-2 – breme 2 (Load 2),
- 3-3 – breme 3 (Load 3),
- 4-1 – hranilnik električne energije 1 (Storage unit 1),
- 4-2 – hranilnik električne energije 2 (Storage unit 2),
- 4-3 – hranilnik električne energije 3 (Storage unit 3),
- 7-1 – prosumer 1 (Prosumer 1),
- 7-2 – prosumer 2 (Prosumer 2),
- 7-3 – prosumer 3 (Prosumer 3).

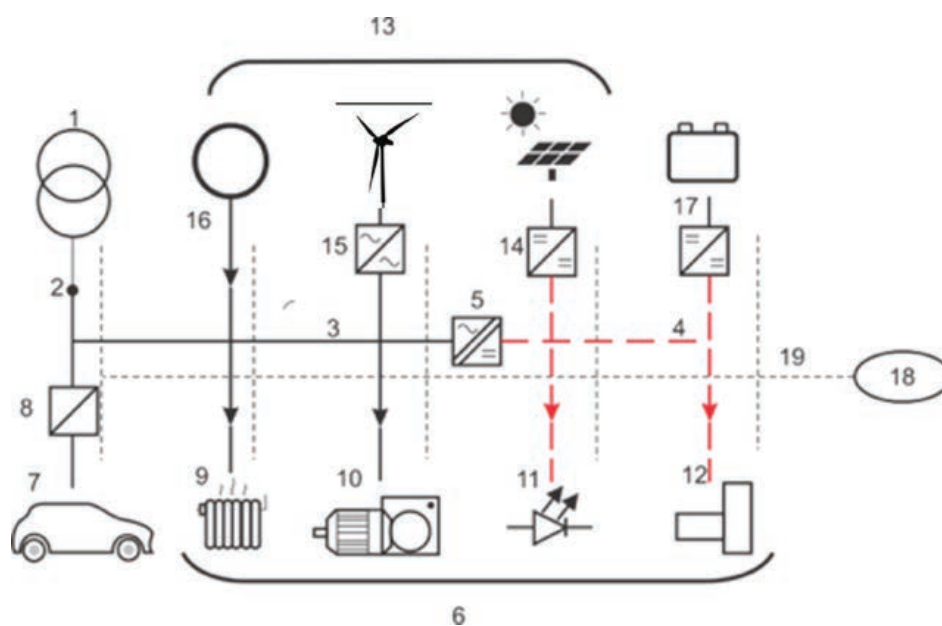
Slika 3: Primer - več prosumerjev si s pomočjo elektroenergetske infrastrukture deli individualne proizvodne enote in hranilnike električne energije (vir SIST HD 60364-8-82)

Potrošnik/proizvajalec (PEI) z izmenično nizkonapetostno inštalacijo



Slika 4: Primer vezave električne inštalacije potrošnika/proizvajalca (PEI) z izmenično nizkonapetostno inštalacijo

Potrošnik/proizvajalec (PEI) z izmenično in enosmerno nizkonapetostno inštalacijo



Slika 5: Primer vezave električne inštalacije potrošnika/proizvajalca (PEI) z izmenično in enosmerno nizkonapetostno inštalacijo

Legenda:

- 1 Distribucijsko omrežje
- 2 Priklopna točka
- 3 Nizkonapetostna inštalacija z izmenično napetostjo
- 4 Nizkonapetostna inštalacija z enosmerno napetostjo
- 5 Dvosmerni pretvornik AC/DC
- 6 Porabniki električne energije
- 7 Električno vozilo
- 8 Postaja za polnjenje električnih vozil
- 9 Grelci
- 10 Motorji
- 11 Svetila
- 12 Hišne aparati in elektronske naprave
- 13 Viri električne energije
- 14 Fotonapetostna elektrarna
- 15 Vetrna elektrarna
- 16 Drugi viri električne energije
- 17 Sistem za hranjenje električne energije
- 18 Sistem za upravljanje z električno energijo
- 19 Signali za upravljanje

PRILOGA 2: Posamezne splošne tipske sheme PS.1, PS.2 in PS.3 iz Priloge 5 SONDSEE¹⁸

Tipska shema PS1:

Splošna tipska shema PS.1B se za proizvodne naprave uporablja v naslednjih primerih:

- ko je ob postavitvi proizvodne naprave prisoten lasten odjem ali če ni prisoten,
- ko sta lastnik proizvodne naprave in lastnik lastnega odjema ista pravna ali fizična oseba,
- ko lastnik proizvodne naprave ne bo zaprosil za podporo proizvedeni električni energiji oziroma se strinja, da je osnova za določitev podpore izmerjena energija na števcu P2 oddana v javno omrežje,
- ko se lastnik proizvodne naprave strinja, da bo prejemal potrdilo o izvoru za energijo na osnovi količin električne energije izmerjenih na števcu P2, ki je bila oddana v javno omrežje.

Splošna tipska shema PS.1C se za HEE in polnilna mesta EV uporablja v naslednjih primerih:

- ko je ob postavitvi HEE ali polnilnega mesta EV prisoten lasten odjem ali če ni prisoten,
- ko sta lastnik HEE ali polnilnega mesta EV in lastnik lastnega odjema ista pravna ali fizična oseba,
- ko bo storitve HEE ali polnilnega mesta EV koristil samo lastnik lastnega odjema,
- ko lastnik polnilnega mesta EV ne bo želel izbrati drugega dobavitelja kot ga ima izbranega za lastni odjem.

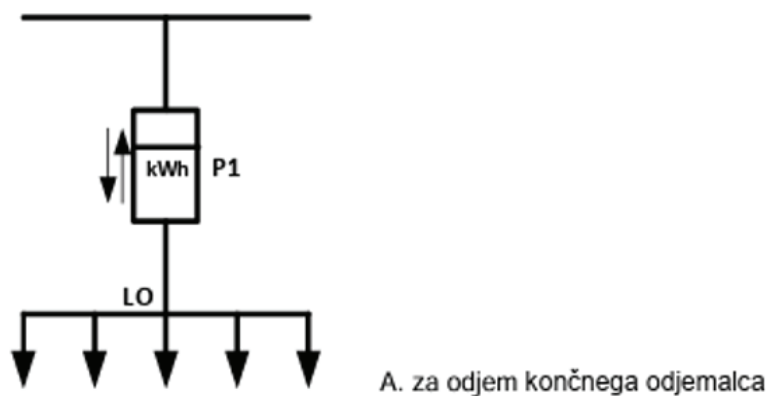
Navidezna priključna moč odjema ali oddaje (vsota vseh priključenih proizvodnih naprav, HEE ali polnilnih mest EV) ne sme presegati prenosne zmogljivosti priključka na javno omrežje.

Če bodo/so skladno s Prilogo 2 Tipizacija merilnih mest predpisane direktne meritve za merjenje prežete ali oddane električne energije v primeru priključitve za lastni odjem končnega odjemalca (namen C), je navidezna priključna moč oddaje omejena na 80 % navidezne priključne moči odjema na merilnem mestu s števcem P2.

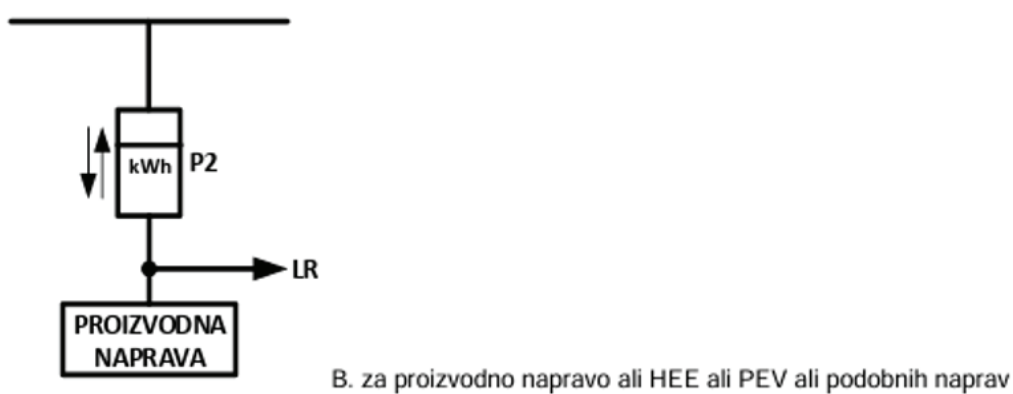
Če so skladno s Prilogo 2 Tipizacija merilnih mest predpisane polindirektne ali indirektne meritve za lastni odjem končnega odjemalca (namen C), navidezna priključna moč oddaje ne sme presegati 80 % navidezne priključne moči odjema na merilnem mestu s števcem P2.

Vključitev proizvodne naprave, HEE, PEV ali druge podobne naprave v omrežje uporabnika sistema za števcem P1 ali P2 se izvede skladno z veljavnimi predpisi, ki določajo tehnične in ostale pogoje za priključitev in obratovanje v omrežju uporabnika sistema.

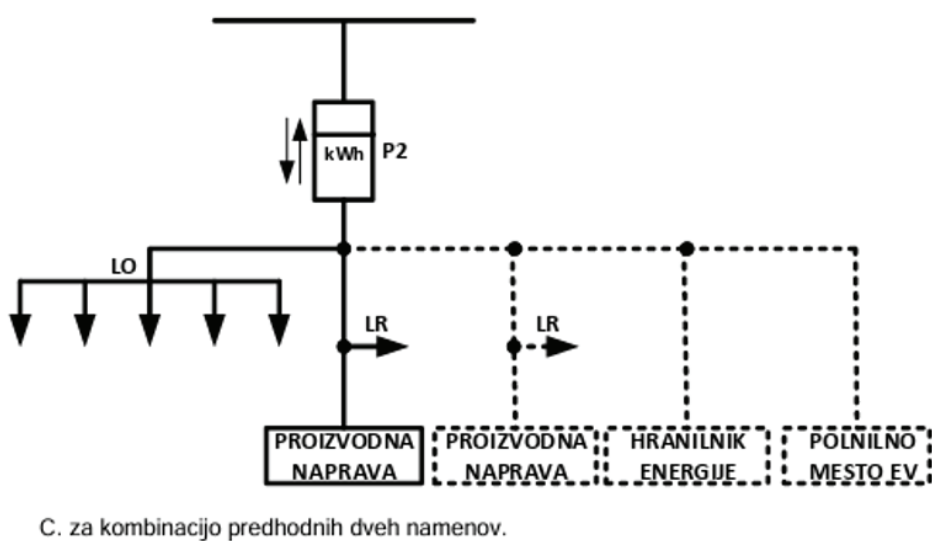
¹⁸ *Sistemska obratovalna navodila za distribucijski sistem električne energije (SONDSEE), Uradni list RS, št. 77/24*



Slika 1: Splošna tipška shema PS.1A za odjem končnega odjemalca



Slika 2: Splošna tipška shema PS.1B za proizvodno napravo ali HEE ali PEV ali podobnih naprav



Slika 3: Splošna tipška shema PS.1C za kombinacijo predhodnih dveh namenov

Tipska shema PS2:

Splošna tipska shema PS.2 za priključitev je namenjena za registracijo podpor za proizvodne naprave, sistemskih storitev, ki jih uporabniki distribucijskega sistema nudijo distribucijskemu operaterju, in posebnih storitev, ki jih uporabniki distribucijskega sistema nudijo sistemskemu operaterju, agregatorju, dobavitelju in drugim tretjim osebam.

Splošna tipska shema PS.2 se za proizvodne naprave uporablja v naslednjih primerih:

- ko je ob postavitvi proizvodne naprave prisoten lasten odjem,
- ko sta lastnik proizvodne naprave in lastnik lastnega odjema različni pravni ali/in fizični osebi, pri čemer mora lastnik lastnega odjema biti tudi lastnik merilnega mesta P3,
- ko bo lastnik proizvodne naprave zaprosil za podporo proizvedeni električni energiji oziroma se ne strinja, da je osnova za določitev podpore izmerjena energija na števcu P3 oddana v javno omrežje,
- ko se lastnik proizvodne naprave ne strinja, da bo prejemal potrdilo o izvoru za energijo na osnovi količin električne energije izmerjenih na števcu P3, ki je bila oddana v javno omrežje.

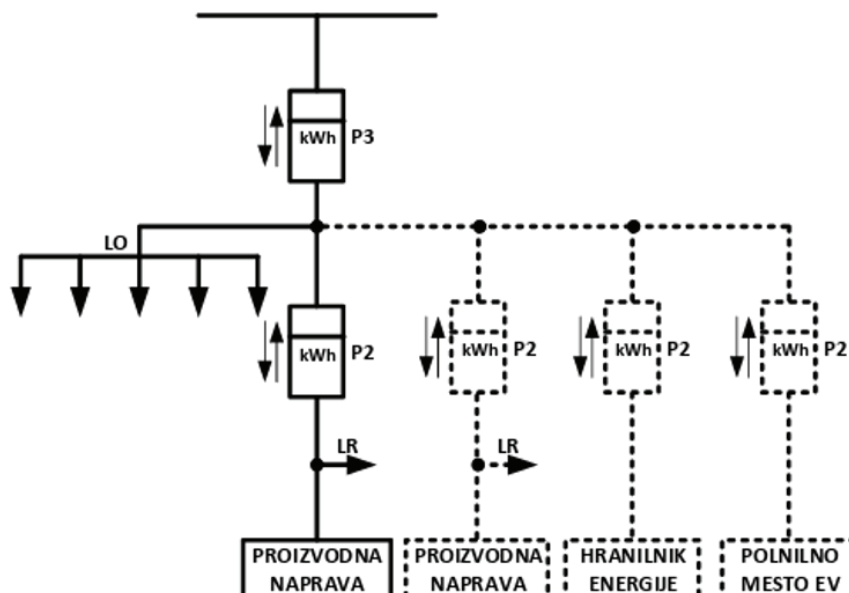
Splošna tipska shema PS.2 se za HEE in polnilna mesta EV uporablja v naslednjih primerih:

- ko je ob postavitvi HEE ali polnilnega mesta EV prisoten lasten odjem,
- ko sta lastnik HEE ali polnilnega mesta EV in lastnik lastnega odjema različni pravni ali/in fizični osebi, pri čemer mora lastnik lastnega odjema biti tudi lastnik merilnega mesta P3,
- ko bo lastnik HEE ali polnilnega mesta EV storitve le-teh nudil tudi tretjim osebam,
- ko bo lastnik polnilnega mesta EV želel izbrati drugega dobavitelja kot je izbran na merilnem mestu P3.

Skupna navidezna priključna moč odjema na števcu P3 ali oddaje na vseh števcih P2 ne sme presegati prenosne zmogljivosti priključka na javno omrežje in mora izpolnjevati enega izmed naslednjih pogojev:

- če bodo/so skladno s Prilogo 2 Tipizacija merilnih mest predpisane direktne meritve za merjenje prejete ali oddane električne energije v primeru lastnega odjema končnega odjemalca na števcu P3, je navidezna priključna moč oddaje električne energije v distribucijsko omrežje na števcu P3 omejena na 80 % navidezne priključne moči odjema na merilnem mestu s števcem P3;
- če so skladno s Prilogo 2 Tipizacija merilnih mest predpisane polindirektne ali indirektne za merjenje prejete ali oddane električne energije za lastni odjem končnega odjemalca na števcu P3, dovoljena navidezna priključna moč oddaje električne energije v distribucijsko omrežje na števcu P3 ne sme presegati 80 % navidezne priključne moči odjema na merilnem mestu s števcem P3.

Vključitev proizvodne naprave, HEE, PEV ali druge podobne naprave v omrežje uporabnika sistema za števcem P3 se izvede skladno z veljavnimi predpisi, ki določajo tehnične in ostale pogoje za priključitev in obratovanje v omrežju uporabnika sistema.



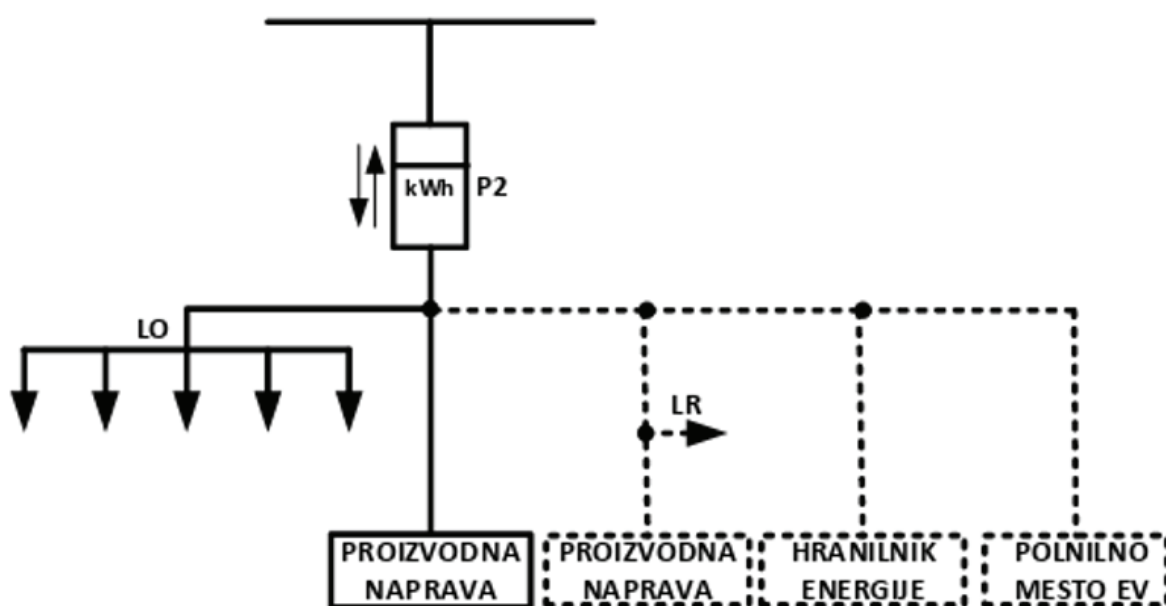
Slika 4: Splošna tipska shema PS.

Tipska shema PS3:

Splošna tipska shema PS.3A je namenjena za priključevanje individualne samooskrbe.

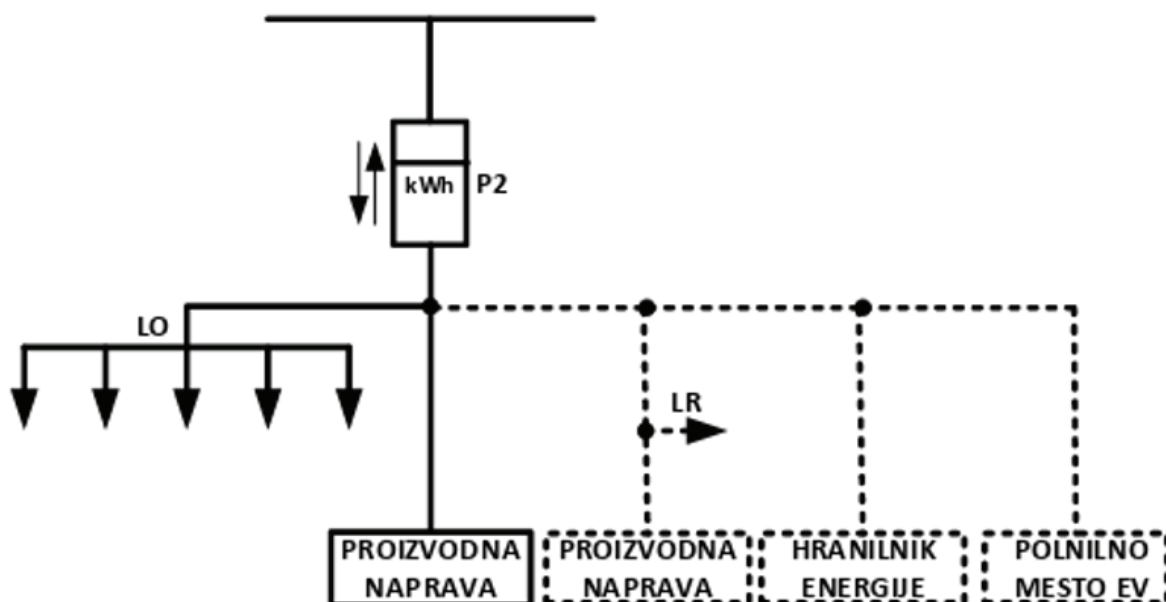
Splošna tipska shema PS.3B je namenjena za priključevanje skupnostne samooskrbe, energetske skupnosti državljanov in skupnosti na področju obnovljivih virov.

Pogoj za uporabo splošne tipske sheme PS.3A za individualno samooskrbo je, da navidezna priključna moč oddaje (vsota vseh priključenih proizvodnih naprav, HEE ali polnilnih mest EV) ne sme biti večja od 80 % priključne moči odjema na merilnem mestu, skladno s predpisi, ki urejajo samooskrbo.



A. za individualno samooskrbo

Slika 5: Splošna tipska shema PS3.A za individualno samooskrbo



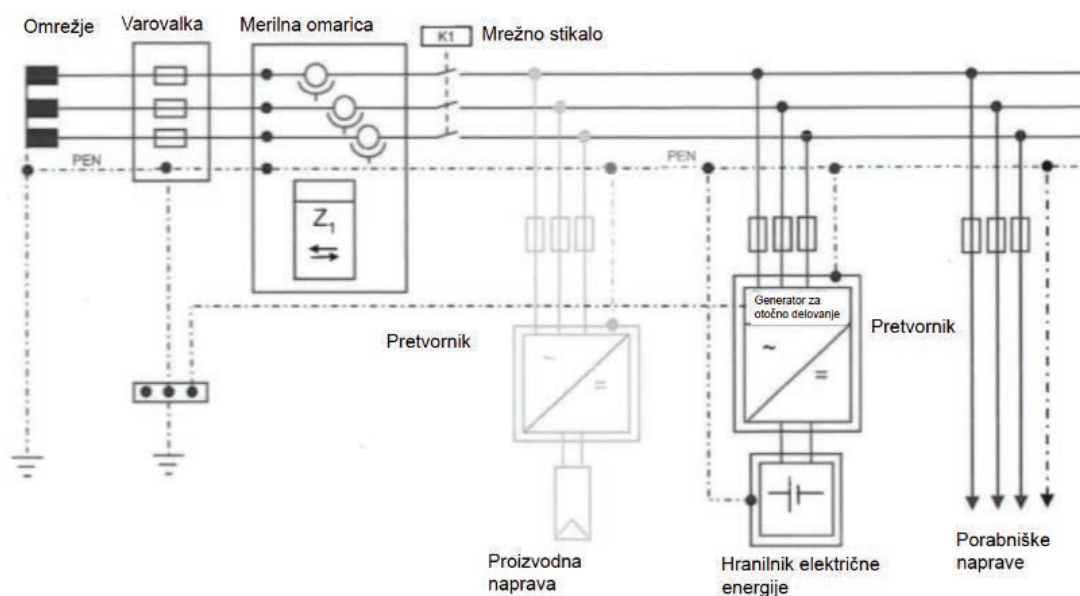
A. za individualno samooskrbo

Slika 6: Splošna tipska shema PS3.B za skupnostno samooskrbo z najmanj eno proizvodno napravo in najmanj 2 končnima odjemalcema

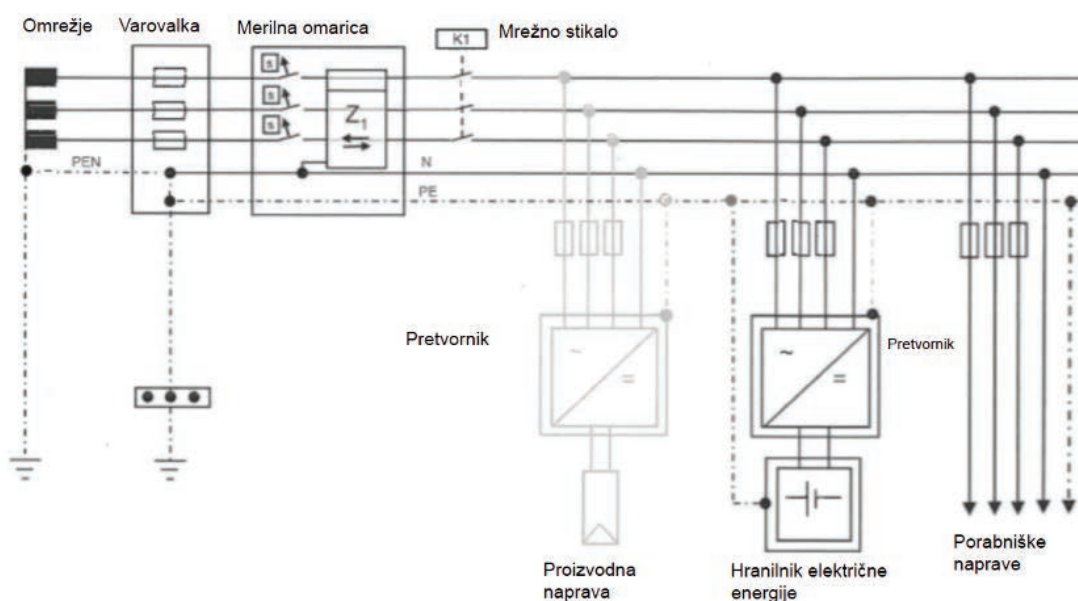
PRILOGA 3: Posamezni sistemski diagrami vezave sistema BHEE v sistemih ozemljevanja TN-C, TN-C-S, TT, IT

Posamezni sistemski diagrami vezave v sistemih ozemljevanja TN-C, TN-C-S, IT so prikazane v PRILOGI 3.

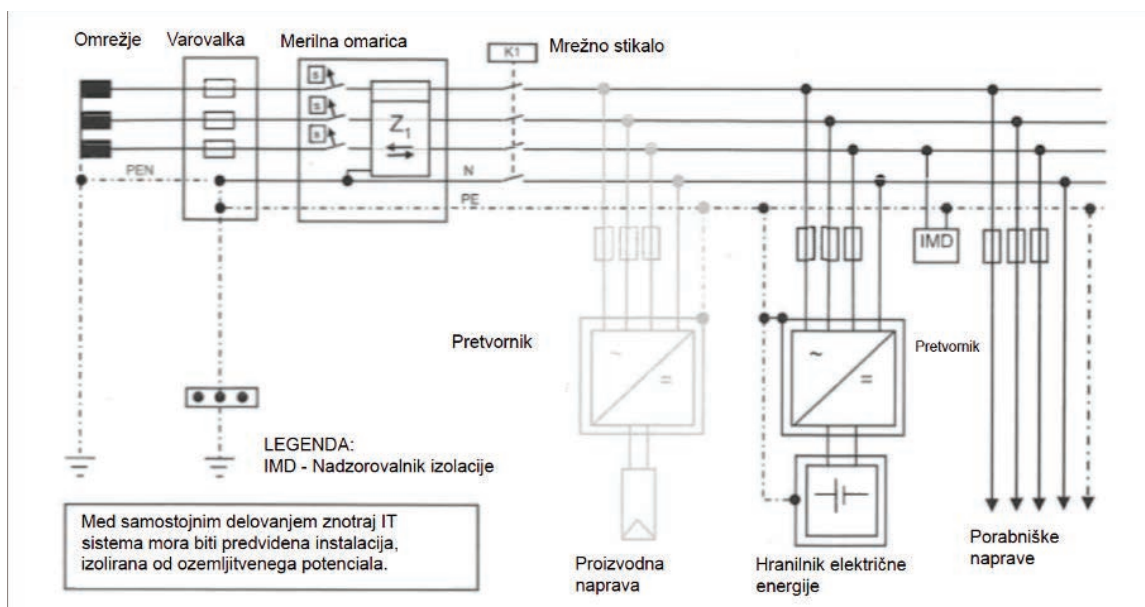
V skladu s 133. členom SONDSEE so določeno pogoji za otočno obratovanje elektroenergijskega modula oziroma proizvodne naprave. Distribucijski operater lahko dovoli otočno obratovanje elektroenergijskemu modulu oziroma proizvodni napravi v primerih, ko izpolnjuje pogoje, ki so določeni za tak način obratovanja, in so za to izdelana posebna navodila za obratovanje.



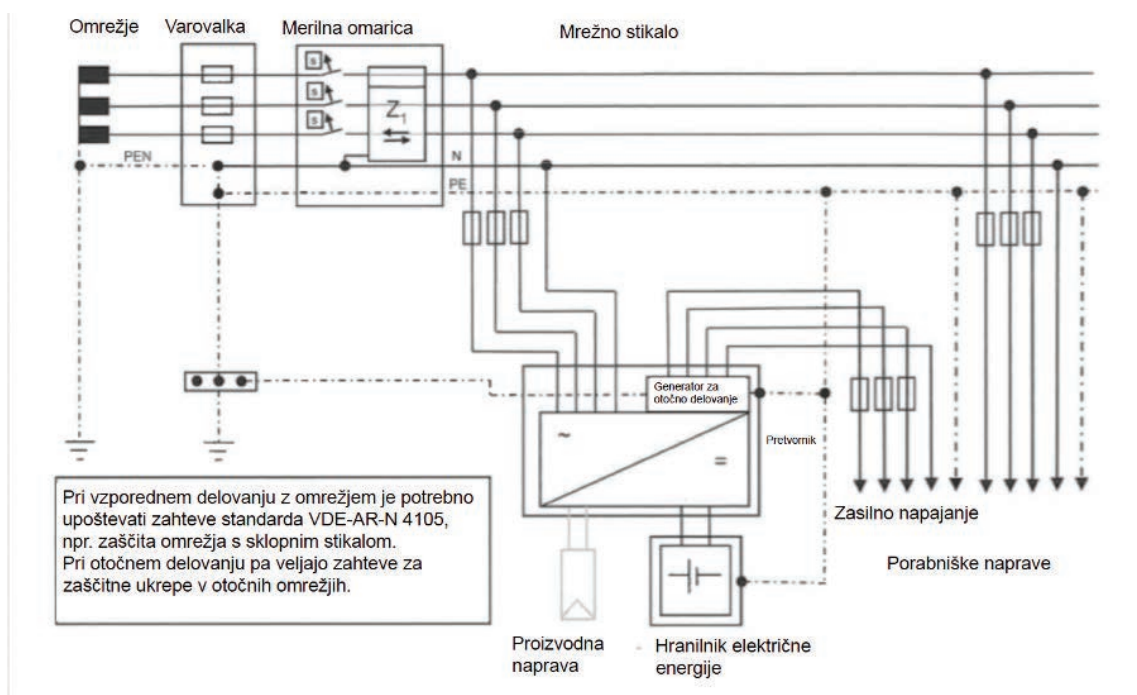
Slika 1 - diagram B.1 - Vzporedno delovanje BHEE v sistemu TN-C in otočno delovanje BHEE v sistemu TN-C



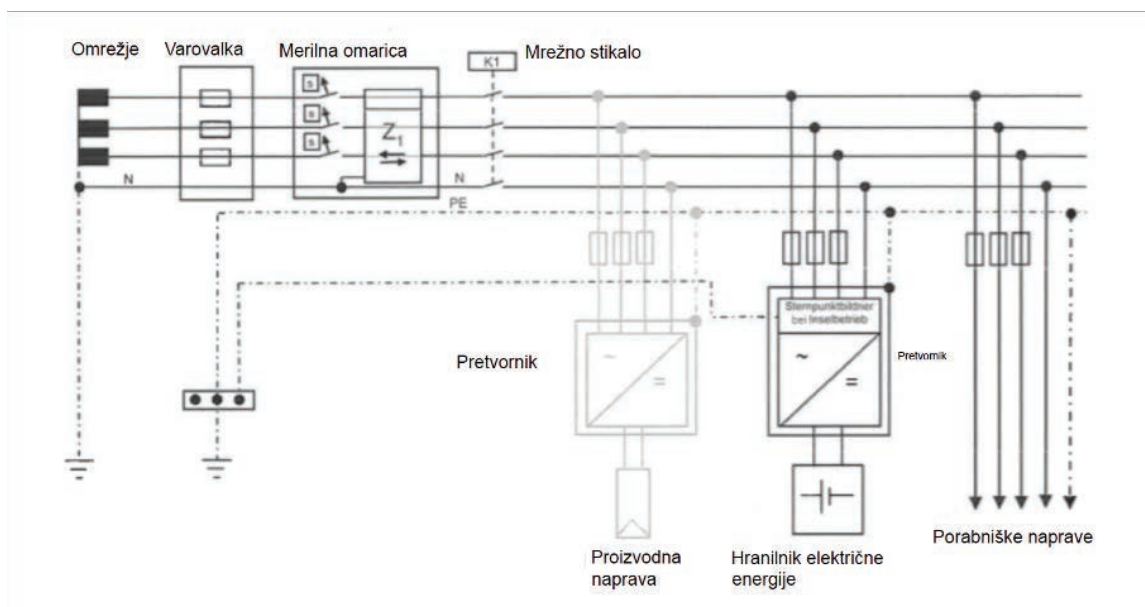
Slika 2 - diagram B.2 - Vzporedno delovanje BESS v omrežju v sistemu TN-C-S in otočno delovanje BHEE v sistemu TN-S



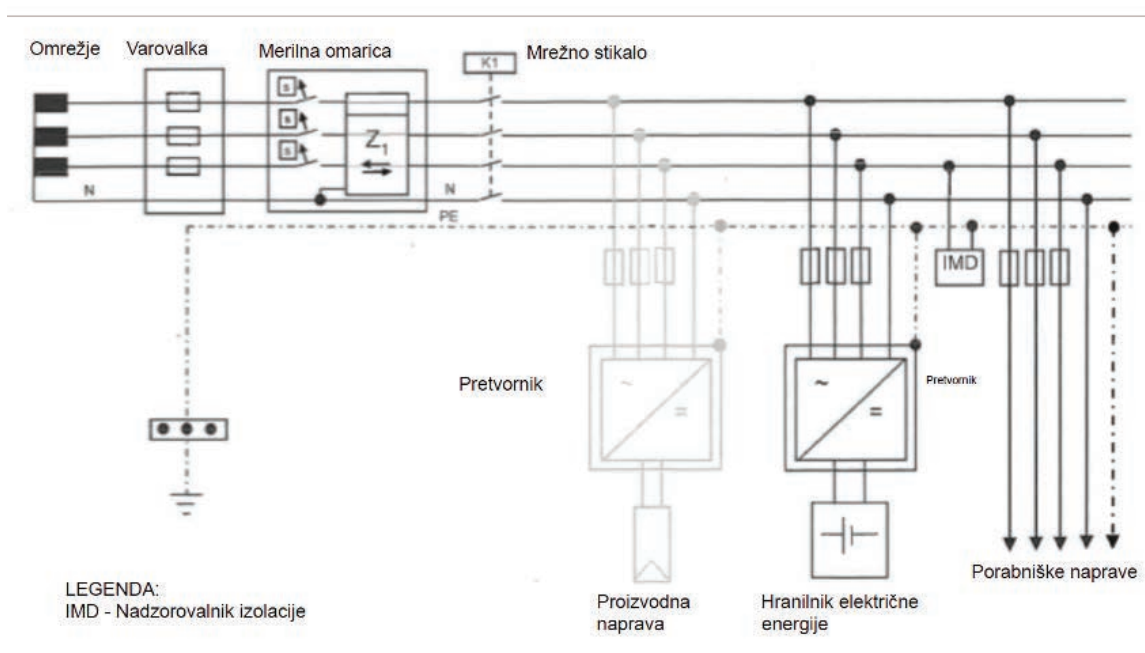
Slika 3 - diagram B.4 - Vzporedno delovanje BHEE z omrežjem v sistemu TN-C-S in otočno delovanje BHEE v IT sistemu



Slika 4 - diagram B.6 - Vzporedno z omrežjem delovanje BHEE v sistemu TN-C-S in otočno delovanje BHEE tudi v sistemu TN-C-S z ločitvijo dovoljenih porabnikov zasilnega napajanja prek razsmernika.

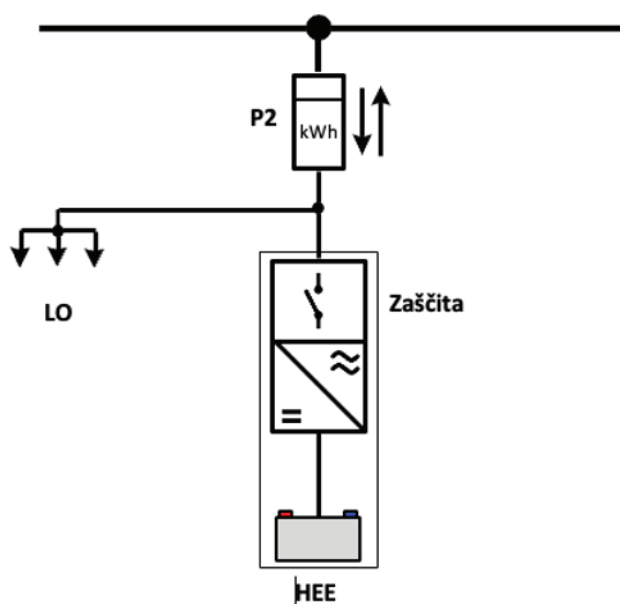


Slika 5 - diagram B.7 - Vzporedno delovanje BHEE v omrežju v sistemu TT in otočno delovanje BHEE v sistemu TN-S

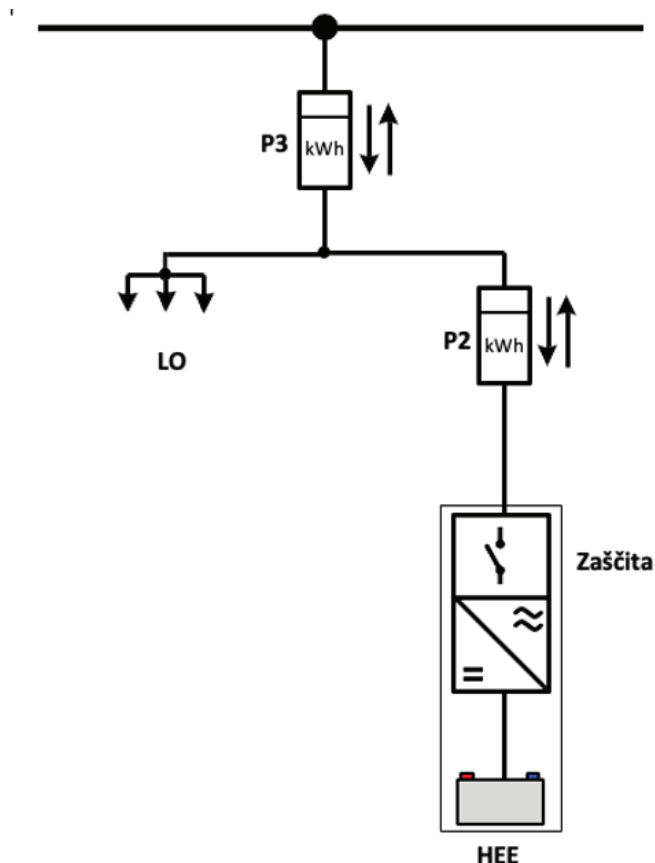


Slika 6 - Diagram B.8 - Vzporedno delovanje BHEE v omrežju v IT sistemu in samostojno delovanje BESS, ki je še vedno v IT sistem

PRILOGA 4: Tipična shema BHEE priklopljenega na NN omrežje



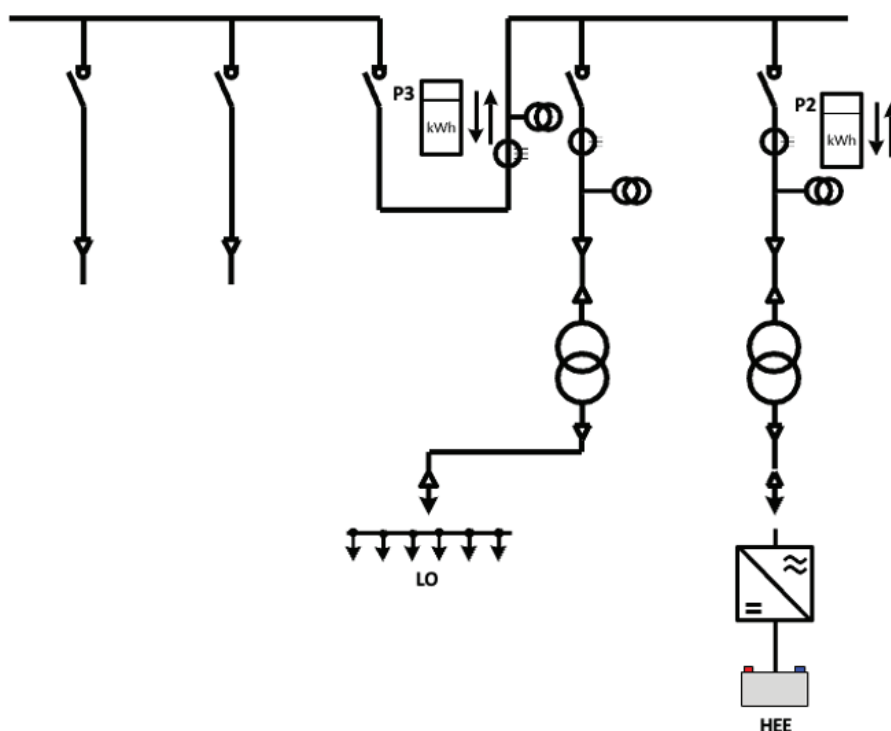
Slika 1: BHEE za zmanjševanje priključne moči odjema ali zmanjšanje stroškov električne energije priključen v interno NN omrežje - shema PS.1c



Slika 2: BHEE za sistemske storitve priključen v interno NN omrežje - shema PS.2

PRILOGA 5: Tipična shema BHEE priklopljenega na SN omrežje

BHEE za sistemske storitve priključen v interno SN omrežje - shema PS.2



Slika 1: BHEE za zmanjševanje priključne moči odjema ali zmanjšanje stroškov električne energije priključen v interno NN omrežje - shema PS.1c

PRILOGA 6: Primer izračuna optimalne baterije za industrijski objekt s SE

Določitve optimalnih parametrov BHEE vzorčno izvajamo na primeru industrijskega objekta z odjemno priključno močjo 1 MW in lastno fotovoltaično elektrarno moči 800 kWp priključeno po shemi PX.2.

Vhodni parametri vzorčnega primera:

1. Odjem električne energije iz distribucijskega omrežja
 - Priključna moč: 1 MW
 - Letna poraba el. en.: 5066 MWh
 - Odjem električne energije: 6556 ur (74,8%)
2. Proizvodnja električne energije iz SE
 - Inštalirana moč: 800 kWp
 - Letna proizvodnja el. en.: 823,75 MWh
 - Oddaja električne energije: 2138 ur (24,4%)

Postopek določitve parametrov obravnava celoten potek dimenzioniranja velikosti BHEE:

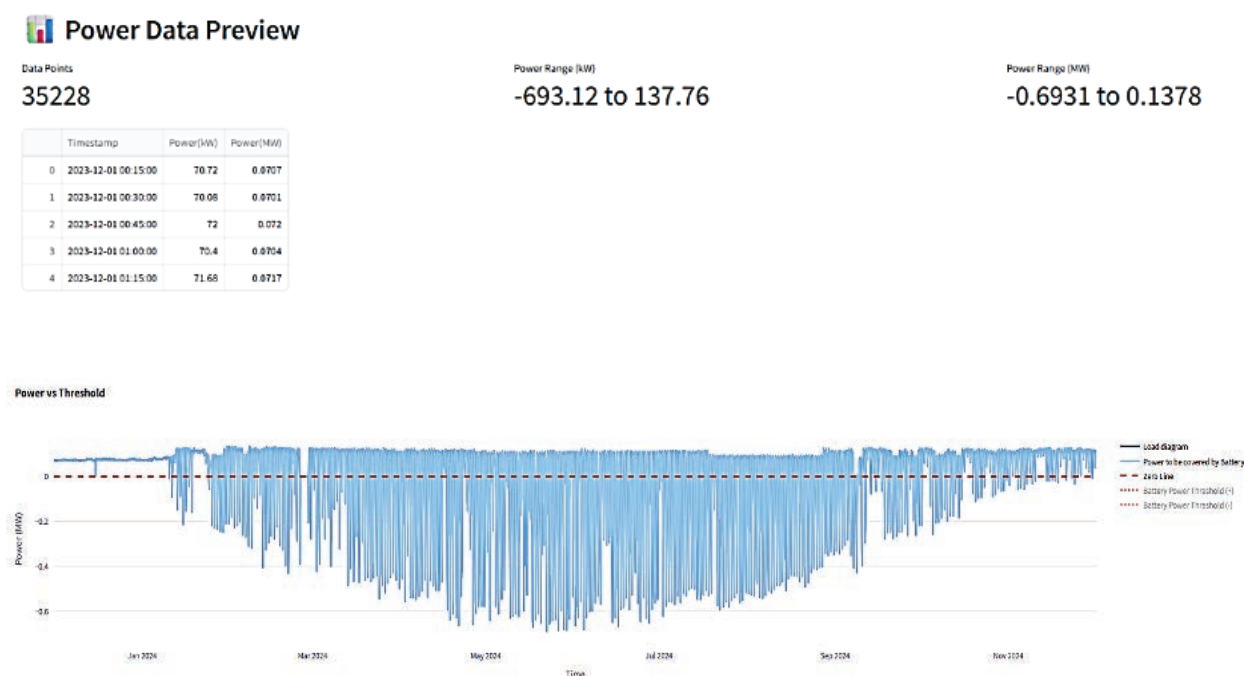
1. pregleda kakovosti 15min merilnih podatkov moči,
2. iskanja optimalne kombinacije moči ter kapacitete,
3. simulacije delovanja s profili SoC, odzivi baterije v smereh polnjenja in praznjenja in ocena opravljenih ciklov,
4. pregled obratovalnih statistik iz postopka optimizacije in oceno degradacije baterije na osnovi predpostavke iz vhodnih merilnih podatkov moči.

Podatkovni set v tem primeru vsebuje približno 35.000 meritev 15-min merilnih podatkov moči. Priporočamo zajem več kot leto meritev na 15min resoluciji, kar kaže na daljše opazovano obdobje obratovanja in omogoča zanesljivejšo podatkovno obdelavo. Omogoča, da zajamemo sezone in obdobja v letu ko je visoka proizvodnja iz FE, ter obdobja z nizko proizvodnjo. V vhodnem profilu 15-min merilnih podatkov moči, so jasno razvidni izraziti negativni in pozitivni vrhovi moči, ki nakazujejo širok razpon obremenitvenih ciklov in s tem pomemben potencial za ciklično obremenjevanje baterije. Takšen nabor podatkov predstavlja temeljno osnovo za nadaljnje modeliranje BHEE, dimenzioniranje moči in kapacitete ter oceno obratovalnih in degradacijskih vplivov. Dolgoročne vplive degradacije lahko ocenjujemo na podlagi simulacije obratovanja ob predpostavki, da bosta režim delovanja in angažma baterije ostala enaka kot v analiziranem obdobju. Npr. če v opazovanem obdobju, iz analize obratovanja v simulaciji, ocenimo da je število ciklov cca 350-400, v 10 letnem obdobju je to do 3500-4000 ciklov.

Z vhodnimi 15 min merilnimi podatki moči se omogoči optimizacijskemu algoritmu pravilno odločanje o tem, ali mora baterija pomagati pokriti porabo ali absorbirati viške proizvodnje.

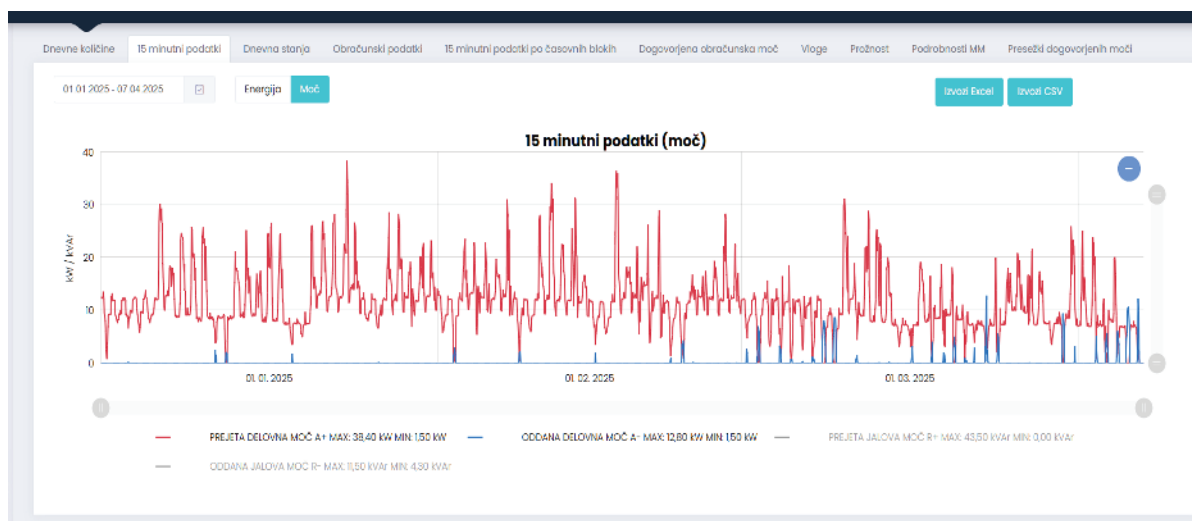
Analiza merilnih podatkov

Analiza 15-minutnih merilnih podatkov moči predstavlja izhodišče za dimenzioniranje in optimalno določitev potrebne velikosti BHEE. Na podlagi neto razlike med porabo in proizvodnjo, ki že izraža zahteve po polnjenju ali praznjenju, določimo potrebo po praznjenju pri pozitivnih vrednostih ter potrebo po polnjenju pri negativnih vrednostih. Tako na primer, kot razvidno na spodnji sliki, če v določenem 15-minutnem intervalu poraba znaša 520 kW, proizvodnja pa 600 kW, je neto razlika -80 kW. To pomeni potrebo po polnjenju baterije v višini 80 kW. Če je v naslednjem intervalu poraba 500 kW, proizvodnja pa 250 kW, je neto razlika 250 kW, kar pomeni potrebo po praznjenju baterije z močjo 250 kW. V nadaljevanju, če ima baterija zadosten razpoložljiv »prostor« v stanju napolnjenosti (SoC) oziroma dovolj preostale kapacitete, lahko shranjuje ali oddaja zahtevano moč. To je izhodišče za preverjanje optimalne velikosti in pogledati simulacijo obratovanja z izbranimi parametri moči/kapacitete odziv baterije na zahtevane potrebe po oddajanju ali shranjevanju moči.



Slika 1: Vizualizacija 15min števnih merilnih podatkov moči

Slika 1 prikazuje časovni potek števnih merilnih podatkov moči. Na prvem delu slike zgoraj je povzetek podatkovnega nabora z 35.228 meritvami, razponom moči od približno -693 kW do 138 kW (oz. -0,693 do 0,138 MW) ter primerom časovno označenih meritev. Na spodnjem delu pa je vizualizacija letnega poteka moči skozi čas. Razvidna je izrazita proizvodnja moči v sredini leta (presežkov moči oddane v omrežju), medtem ko se proti koncu leta vrednosti postopno približujejo ničli. Negativne vrednosti moči ponazarjajo presežke moči, ki se oddajajo v omrežje, medtem ko pozitivne vrednosti predstavljajo primanjkljaje, ko se moč črpa iz omrežja za pokrivanje porabe. Negativne vrednosti na grafu hkrati prikazujejo razpoložljive presežke energije, ki jih je mogoče shraniti v BHEE, ter njihovo poznejšo uporabo za pokrivanje porabe v obdobjih povečane potrebe po energiji. Na ta način hranilnik omogoča časovni zamik med proizvodnjo in porabo ter zmanjšuje odvisnost od neposrednega odjema električne energije iz omrežja, kar prispeva k učinkovitejšemu upravljanju energije in večji izkoriščenosti lokalnih virov.



Slika 2: Vhodni podatki iz portala <http://mojelektro.si>

Slika 2 prikazuje okno na portalu mojelektro.si, ki omogoča izvoz 15-min števnih merilnih podatkov moči, potrebnih za analize dimenzioniranja in določanje velikosti BHEE.

Za dimenzioniranje BHEE so ključni 15min merilni podatki moči, ker natančno pokažejo, kdaj in v kolikšni meri nastajajo presežki ali primanjkljaji energije, kar je bistveno za določitev potrebne moči in kapacitete.

Energijski podatki ki so izhodišče za dimenzioniranje velikosti BHEE, so preveč grobi v oceni in zaradi povprečenja skrijejo kratkotrajne obremenitve, ki dejansko določajo velikost baterije in njeno obratovanje. Natančen časovni profil moči omogoča projektantu realno oceno dinamike sistema in prepreči poddimenzioniranje ali neustrezno načrtovanje velikosti.

Optimizacija razmerja moč/kapaciteta baterijskega hranilnika

Cilj je kvantifikacija, koliko energije BHEE lahko procesira glede na dan profil moči in podan nabor tehničnih parametrov (moč, kapaciteta, izkoristek, začetni SoC). Ključni izhod postopka optimizacije je procesirana energija, ki predstavlja uspešno shranjeno in oddano energijo, ter neprocesirana energija, ki predstavlja energijo, ki zaradi omejitev kapacitete ali moči ni mogla biti shranjena ali oddana.

Izvajanje optimizacije pomeni izvesti simulacijsko parametrično analizo. To pomeni vrednotenje različnih kombinacij moči (P) in kapacitete (C) ter identifikacijo točke upogiba-točka upogiba predstavlja minimalno kombinacijo moči in kapacitete, ki še vedno omogoča pokrivanje potreb po moči v obeh smereh iz vhodnega profila 15min merilnih podatkov moči. Po tej točki nadaljnje povečanje moči ali kapacitete ne prinaša več bistvenih izboljšav glede obsega potreb po zahtevani moči v pozitivni ali negativni smeri, ki jih lahko baterija pokrije z oddajanjem ali shranjevanjem energije.

Optimalna rešitev razmerja moči/kapaciteta baterije

V tem primeru, izbrani optimizacijski postopek išče optimalno razmerje, tako da identificira točke upogiba, kjer se krivulja izkoristka začne izravnovati, kar pomeni, da nadaljnje povečanje kapacitete ne vodi do bistvenega povečanja procesirane energije. Matematično optimizacijski ta točka predstavlja kompromis med učinkovitostjo in velikostjo baterijskega sistema.

V prikazanem primeru so določeni optimalni parametri BHEE:

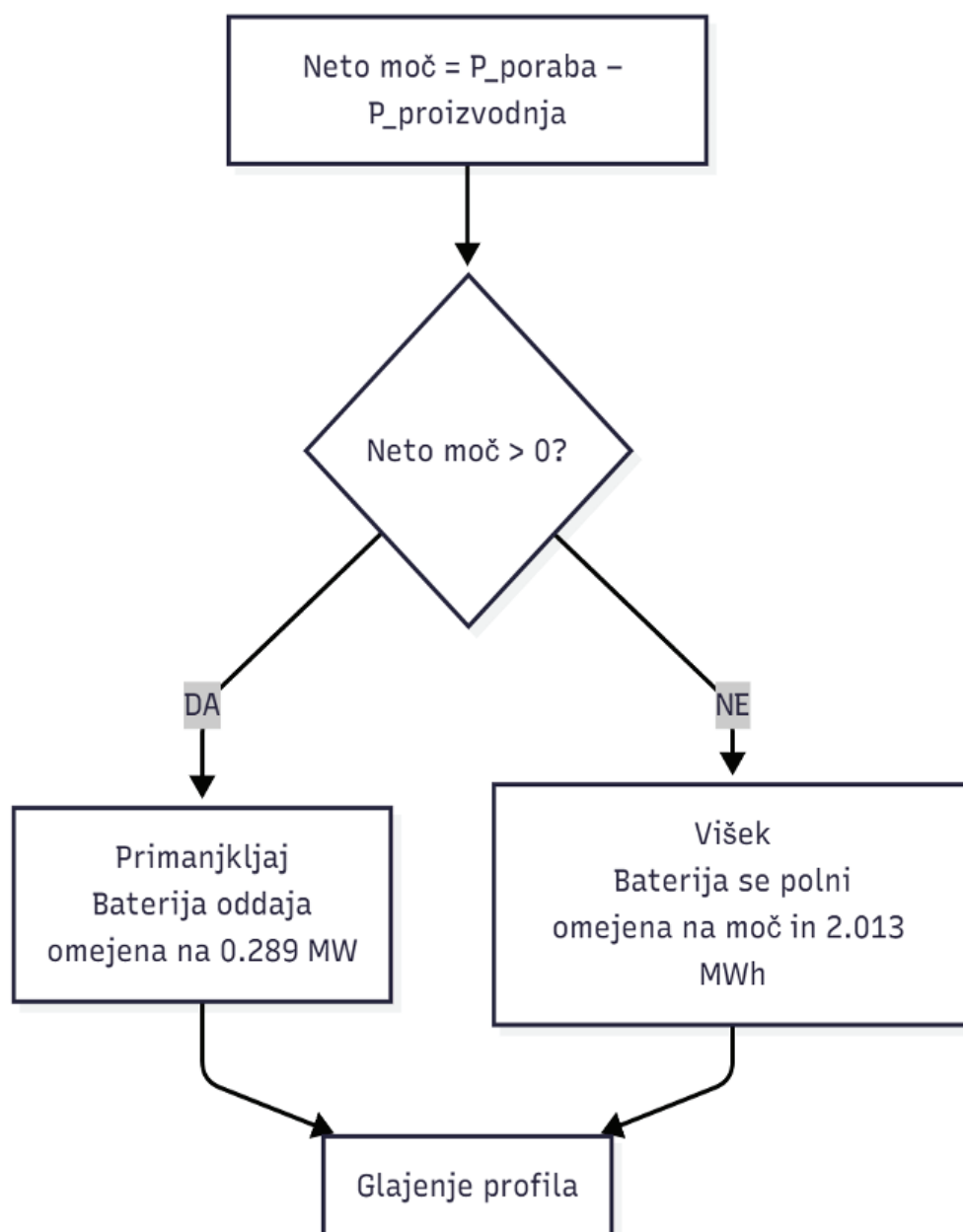
- Moč baterije: 289 kW
- Kapaciteta baterije: 2013 kWh
- Skupna procesirana energija baterije: 555,73 MWh
- Število ciklov: 273

Optimalna točka predstavlja najbolj primerno tehnično ravnotežje med velikostjo sistema in njegovo izkoriščenostjo.

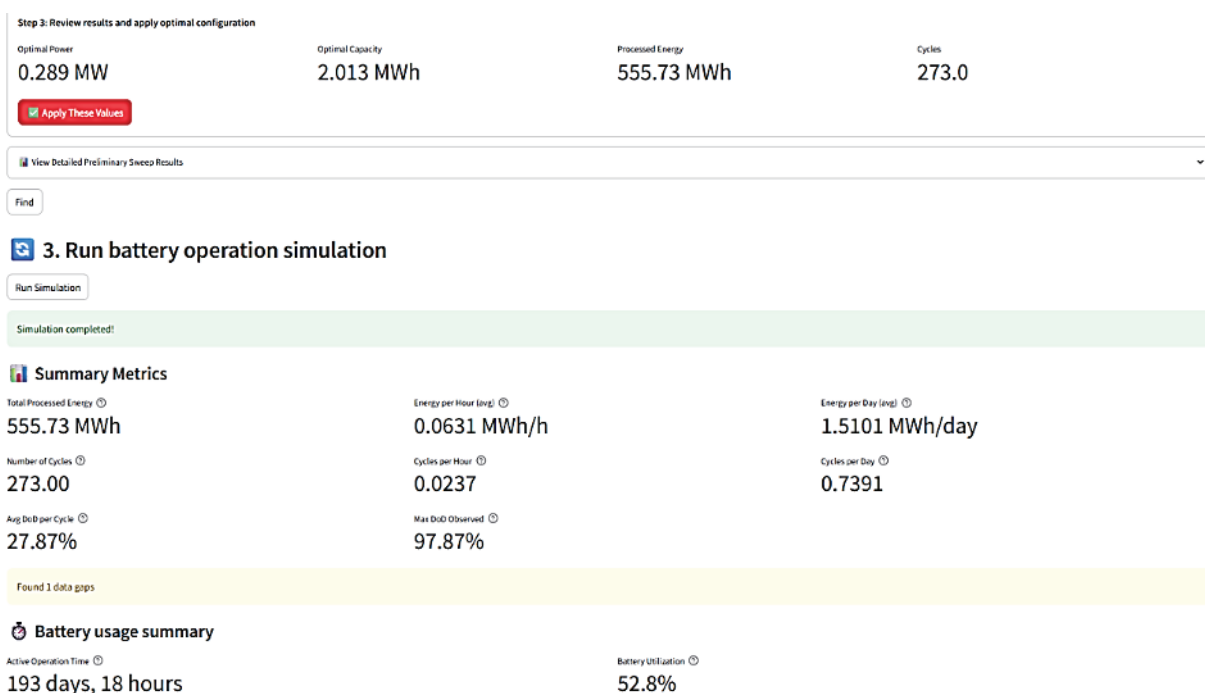
Optimalni rezultati (289 kW moč, 2,013 MWh kapaciteta, 556 MWh pretoka energije, 273 ciklov) so neposredno povezani z dejanskim profilom neto moči sistema, ki je definiran kot $P_{\text{neto}} = P_{\text{poraba}} - P_{\text{proizvodnja}}$. Ko je ta vrednost negativna, ima objekt višek (proizvodnja > poraba); ko je pozitivna, ima objekt primanjkljaj (poraba > proizvodnja). Baterija je optimizirana tako, da ravno prav učinkovito gladi to neto moč: ob primanjkljaju takoj odda energijo, ob višku se takoj polni, vse dokler ne doseže omejitve svoje moči ali kapacitete. Namen tega preprostega optimizacijskega pravila je zmanjšati energijo, ki jo sistem ne more pokriti ob primanjkljaju, ter energijo, ki je ne more izkoristiti ob višku—vse v okviru dejanskih omejitev moči, kapacitete in dovoljenega območja napolnjenosti. Baterijski hranilnik je optimalno dimenzioniran tako, da iz obstoječe 0,8-MW SE in porabniškega profila iztisne skoraj celoten tehnično razpoložljiv energijski potencial, ne da bi vlagal v preveliko moč ali preveliko kapaciteto, ki bi zaradi omejitve vira (PV) ali porabe ostala neuporabljena. Rezultati (289 kW in ~2 MWh) kažejo, da sistem zajame ključna nihanja neto moči, ne da bi bil predimenzioniran.

Ko je neto moč pozitivna (poraba večja od proizvodnje), baterija oddaja energijo do svoje največje moči 0,289 MW. Ko je neto moč negativna (proizvodnja večja od porabe), se baterija polni, dokler ne doseže svoje energijske kapacitete 2,013 MWh ali omejitve moči. Tak režim omogoča, da hranilnik učinkovito izravnava nihanja med porabo in proizvodnjo, pri čemer je dimenzioniran ravno toliko, da dejansko izkoristi razpoložljivi energijski profil brez neizkoriščenega potenciala.

Drugi vidik, ki ga mora zajeti optimizacija in simulacija obratovanja, je ocena razpoložljivosti BHEE. Razpoložljivost pomeni, da baterija lahko izvede zahtevano polnjenje ali praznjenje; kadar pa je povsem napolnjena ali izpraznjena, tega ne more, kar omeji njeno dejansko uporabnost v obratovanju.



Slika 3: Delovanje baterijskega hranilnika glede na neto moč ($P_{\text{poraba}} - P_{\text{proizvodnja}}$)



Slika 4: Parametri optimalne velikosti hranilnika

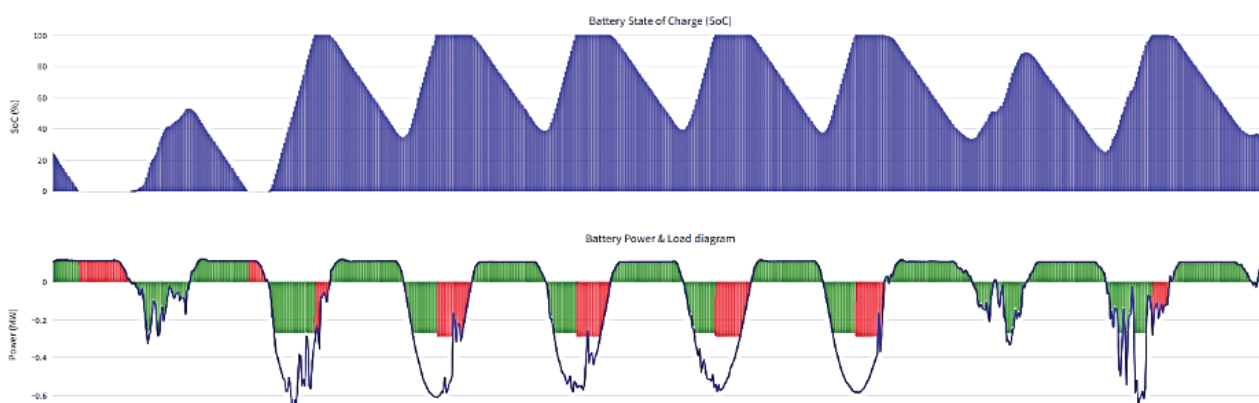
Slika 4 prikazuje rezultate optimizacije in simulacije obratovanja BHEE v okviru analiziranega primera. V prvem delu so podani optimalni parametri hranilnika, in sicer nazivna moč 0,289 MW ter energijska kapaciteta 2,013 MWh, na podlagi katerih je bila izvedena simulacija obratovanja BHEE. Skupna količina obdelane energije v obravnavanem obdobju znaša 555,73 MWh, pri čemer je hranilnik dosegel 273 ciklov. Povprečna dnevna BHEE procesirana energija znaša 1,5101 MWh, povprečno število ciklov na dan pa 0,7391, kar kaže na zmerno, vendar kontinuirano izrabo hranilnika. Povprečna globina praznjenja na cikel znaša 27,87 %, medtem ko je bila največja opažena globina praznjenja 97,87 %, kar odraža občasne intenzivnejše obratovalne režime. Iz povzetka uporabe na Sliki 4 je razvidno, da je bil BHEE aktiven skupno 193 dni in 18 ur, njegova povprečna izkoriščenost pa je znašala 52,8 %.

Za izbrani primer s 15 min vhodnimi merilnimi podatki dobimo optimalno rešitev glede na parametre za katero izvajamo obratovalno simulacijo:

Battery Performance



Povečano:



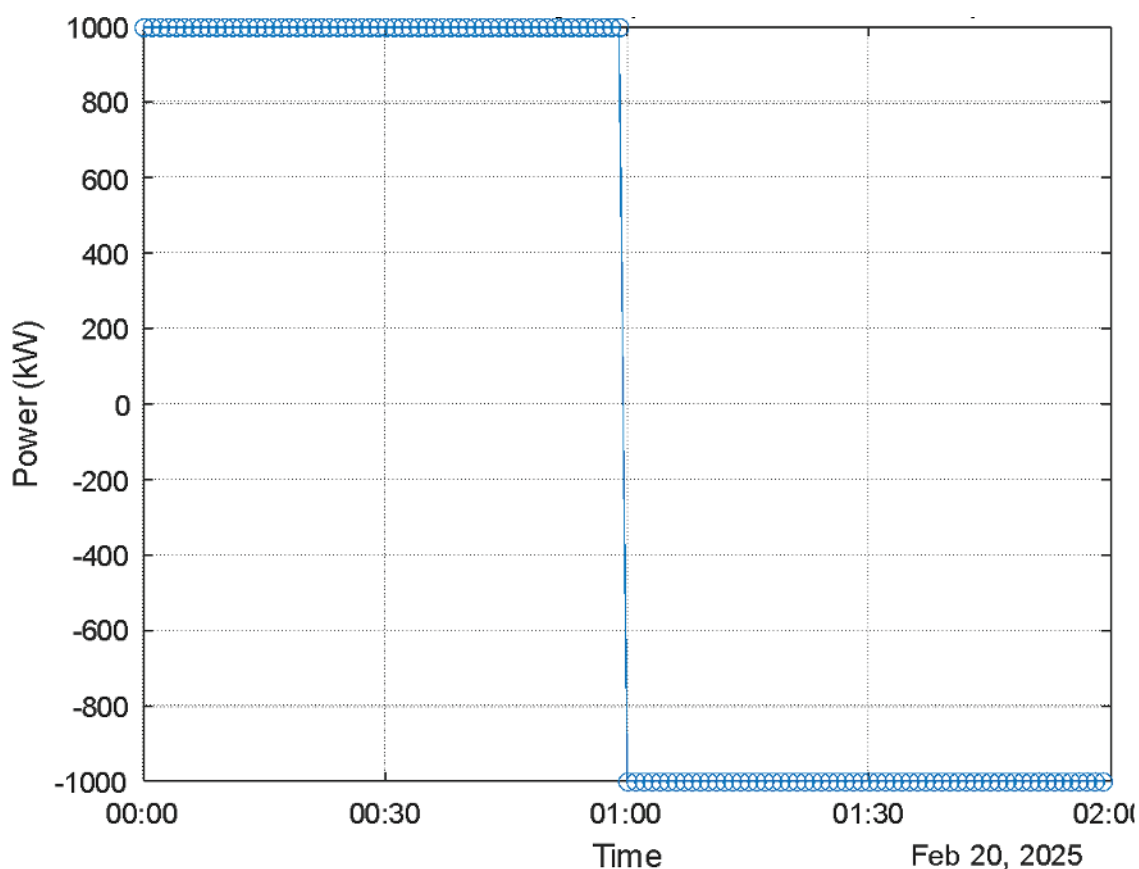
Slika 5: Simulacija potek delovanja BHEE skozi opazovano časovno obdobje

Slika 5 prikazuje tipičen potek delovanja BHEE skozi čas. Zgornji graf prikazuje stanje napolnjenosti SoC, kjer se vidijo cikli polnjenja in praznjenja – dvig modrega polja pomeni polnjenje do višjih vrednosti SoC, medtem ko padci kažejo praznjenje proti nižjim ravnam. V zgornjem diagramu je prikazan SoC baterije, ki se ciklično spreminja glede na faze polnjenja in praznjenja: naraščajoči deli krivulje predstavljajo polnjenje baterije, padajoči deli pa njeno praznjenje. Razvidno je, da baterija deluje znotraj vnaprej določenih mej napolnjenosti, kar preprečuje globoko praznjenje in polnjenje ter s tem podaljšuje življenjsko dobo sistema. Spodnji diagram prikazuje moč baterije v povezavi z obremenitvijo, kjer pozitivne vrednosti pomenijo praznjenje za pokrivanje porabe ali razbremenitev, negativne vrednosti pa polnjenje baterije (prevzem iz FE vira). Barvna razlika dodatno poudarja obdobja polnjenja in praznjenja ter omogoča jasno razločevanje obratovalnih režimov. Skupaj oba prikaza nazorno ilustrirata usklajeno delovanje baterijskega hranilnika, katerega namen je uravnavanje obremenitev, optimizacija rabe energije in izboljšanje tehnične učinkovitosti sistema.

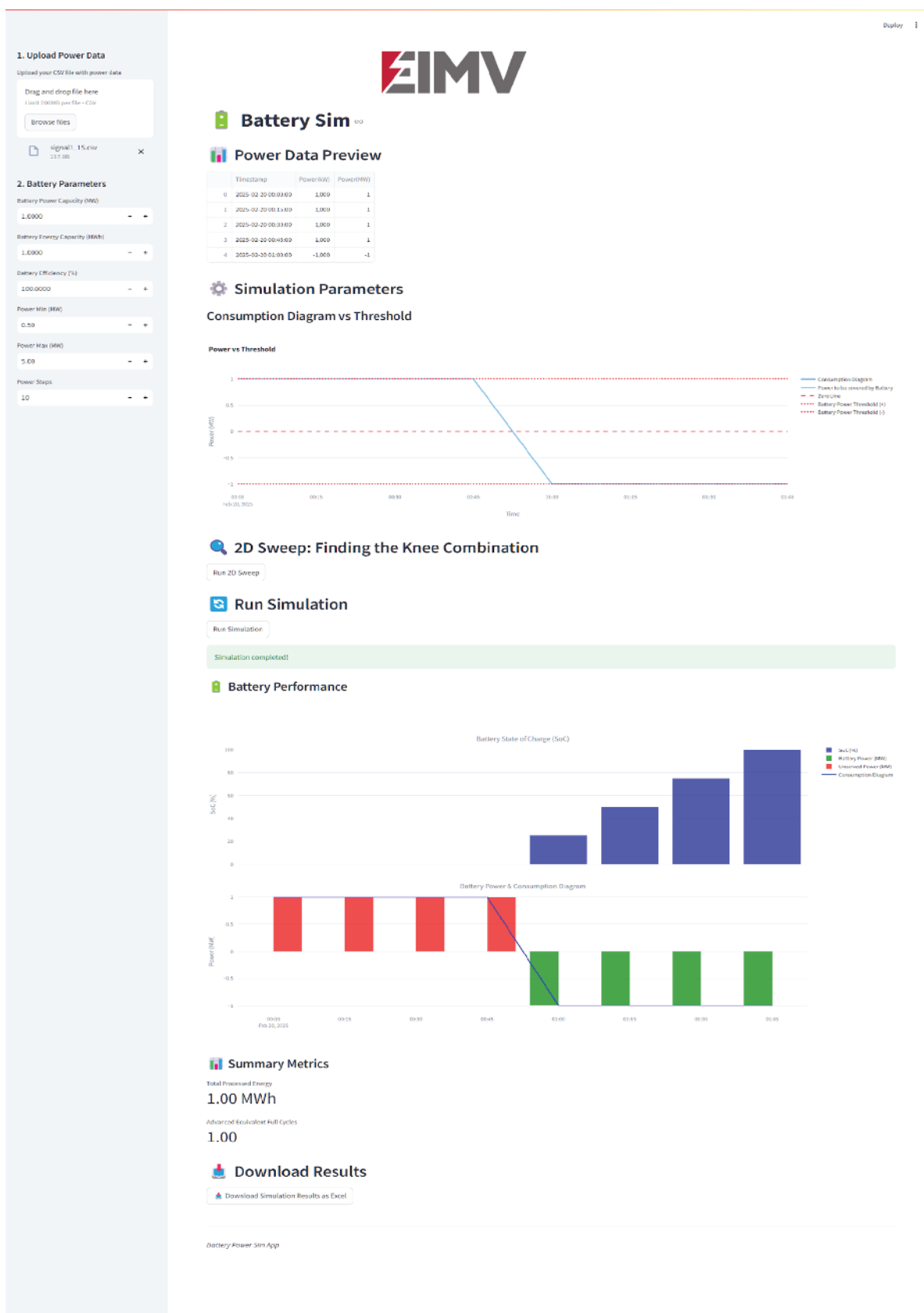
Skupaj na Sliki 5 grafa prikazujeta, kako se baterija odziva ob zahtevah po shranjevanju ali oddajanju moči - shranjuje energijo, ko je višek moči (negativna vrednost), ter oddaja energijo, ko je potreba po pokrivanju porabe (pozitivna vrednost).

Optimizacijsko orodje naj pokaže, da je odziv baterije ob optimalni določitvi velikosti skladen s pričakovanim obnašanjem, to je: da se pri pozitivnih vrednostih moči ustrezno polni, pri negativnih vrednostih prazni in pri tem ves čas upošteva omejitve svojega trenutnega stanja napolnjenosti (SoC), tako da ne preseže zgornjih ali spodnjih meja razpoložljive kapacitete.

Na Sliki 6 je prikazan osnovni primer simulacije baterijskega sistema velikosti 1 MW / 1 MWh, kjer se vidi pričakovan odziv hranilnika pri enostavnem obremenitvenem profilu iz zgornje slike. Primer na Sliki 6 jasno ponazarja pričakovano vedenje baterije: kadar je vrednost moči pozitivna, se mora baterija polniti; kadar je negativna, se mora prazniti. Hkrati mora ves čas upoštevati svoje trenutno stanje napolnjenosti (SoC), kar pomeni, da se ne sme polniti preko 100 % in ne sme prazniti pod 0 %. Zato je optimalni odziv baterije vedno kombinacija trenutne potrebe sistema (pozitivni ali negativni tok) in razpoložljive kapacitete, ki določa, ali lahko baterija zahtevano moč sploh odda ali sprejme. V tem primeru, začetno stanje baterije SoC je nič, zato je baterija neodzivna oz. ne pokriva potrebe po moči kadar so vrednosti pozitivne, saj je prazna in ne more oddati moči.



Slika 6: Vhodni profil za testiranje odzivnosti BHEE



Slika 7: Etalonski odziv BHEE

Slika 7 potrjuje predvideno obnašanje: rdeči stolpci predstavljajo neprocesirana moč (SoC je nič) zaradi nerazpoložljive energije (začetno stanje prazna baterija), medtem ko zeleni stolpci prikazujejo obdobja, ko vrednosti moči presežejo ničelni prag in baterija prevzame razliko (negativna moč). V predstavljenem BHEE primeru, je sistem idealiziran in brez izgub ob procesu polnjenja in praznjenja (100%), je odziv gladek, linearen in povsem skladen s pričakovanji za baterijo 1 MW / 1 MWh. Na sliki v povzetku se pojavi vrednost 1 MWh obdelane energije in 1 ekvivalenten cikel, kar se ujema s celotnim polnjenjem čez simulirano časovno okno. Celotna spodnja slika tako prikazuje natančno pričakovani odziv baterijskega sistema. Ko ni moči v hranilniku na voljo, se baterija ne odziva. Ko je na voljo polnilna moč oz. negativne vrednosti, se baterija začne polniti, se SoC premika v pozitivni smeri, tako procesira 1 MW v 1 uri (1MWh).

Zaključek

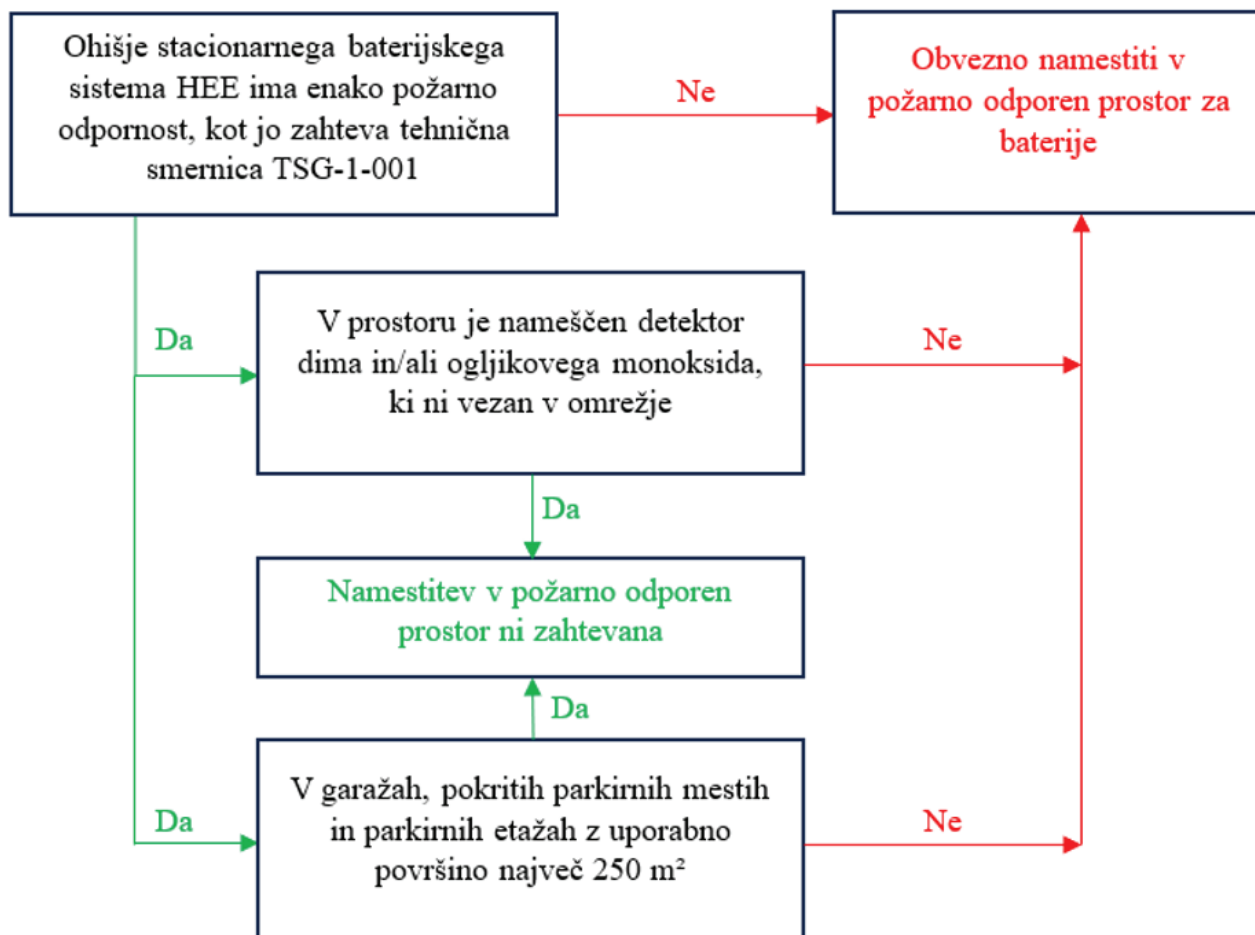
Na podlagi 15-min merilnih podatkov moči objekta in izvedenega optimizacijskega postopka je bila določena optimalna velikost baterijskega hranilnika, ki predstavlja tehnično najbolj uravnoteženo rešitev med močjo, kapaciteto in dejansko izkoriščenostjo sistema. Optimizacija je preiskala celoten prostor možnih kombinacij moči in kapacitete ter na osnovi realnih obratovalnih podatkov določila točko upogiba, pri kateri nadaljnje povečanje hranilnika ne prinese več omembe vrednega dodatnega procesiranja energije.

Za obravnavani objekt (1 MW odjema in 0,8 MW SE) je optimalna velikost hranilnika 289 kW moči in 2,013 MWh kapacitete, s približno 556 MWh letno procesirane energije in približno 270–300 cikli/leto. Ta konfiguracija pokrije skoraj celoten realni energijski potencial, ki ga ustvarja dinamika neto moči med porabo in proizvodnjo, pri tem pa ostane znotraj tehnično postavljenih meja.

Glavno priporočilo iz tega primera je, da mora biti dimenzioniranje BHEE vedno izvedeno na podlagi optimizacijskega postopka, ki temelji na realnih meritvah. Tak pristop omogoča zanesljivo določitev ustreznega razmerja P–C in prepreči poddimenzioniranje ali predimenzioniranje baterijskega sistema. Pri načrtovanju umeščanja v objekt je zato smiselno upoštevati baterijski hranilnik velikosti okoli 300 kW / 2,0 MWh, saj ta predstavlja optimalno tehnično rešitev za obstoječi obratovalni profil in omogoča nadaljnjo ekonomsko presojo investicije na realnih vhidih.

PRILOGA 7: Odločitveni diagram nameščanja več BHEE z vidika požarne varnosti

V primeru nameščanja več BHEE, ki imajo zmogljivost do 5 kWh ter do skupne zmogljivosti 25 kWh v stavbo je lahko v pomoč odločitveni diagram:



V primeru nameščanja več BHEE, ki imajo zmogljivost do 25 kWh ter do skupne zmogljivosti 110 kWh v stavbo je lahko v pomoč odločitveni diagram:

