

Mr.sc. Mladen Žunec
HERA
mzunec@hera.hr

Dr.sc. Lahorko Wagmann
HERA
lwagmann@hera.hr

Dr.sc. Srđan Žutobradić
HERA
szutobradic@hera.hr

Dr.sc. Sandra Hutter
HERA
shutter@hera.hr

SPREMNICI ELEKTRIČNE ENERGIJE I PLANIRANJE DISTRIBUCIJSKOG SUSTAVA

SAŽETAK

Spremnici električne energije će igrati ključnu ulogu u razvoju nisko-ugljičnog elektroenergetskog sustava. Očekivano povećanje proizvodnje iz varijabilnih obnovljivih izvora energije prisiljava ODS na dodatna ulaganja u kapacitet mreže. Zbog varijabilnosti proizvodnje iz sunca i vjetra značajan dio distribucijskog kapaciteta neće biti optimalno iskorišten, ulaganje u dodatne distribucijske kapacitete je sub-optimalno u smislu troškova i učinkovitosti. To treba promijeniti.

Spremnik energije pruža dodatni kapacitet za mrežu i omogućava pomicanje vršnog opterećenja. To omogućuje bolje (troškovno) i učinkovitije korištenje mreže, a ulaganja u širenje mreže mogu se izbjeći ili odgoditi.

Ključne riječi: Spremnik energije, fleksibilnost, spremnik električne energije, varijabilni obnovljivi izvor energije.

ENERGY STORAGE AND DISTRIBUTION SYSTEM PLANNING

SUMMARY

Electricity storage will play a key role in the development of low-carbon power systems. The expected increase in production from variable renewable energy sources forces ODS into additional investment in network capacity. Due to the variability of sun and wind production, a significant part of the distribution capacity will not be optimally used, the investment in additional distribution capacities is sub-optimal in terms of cost and efficiency. That needs to be changed

The energy storage provides additional network capacity and allows to shift the peak loads. This allows for better (cost-effective) and more efficient use of the network, and investments in network expansion can be avoided or delayed.

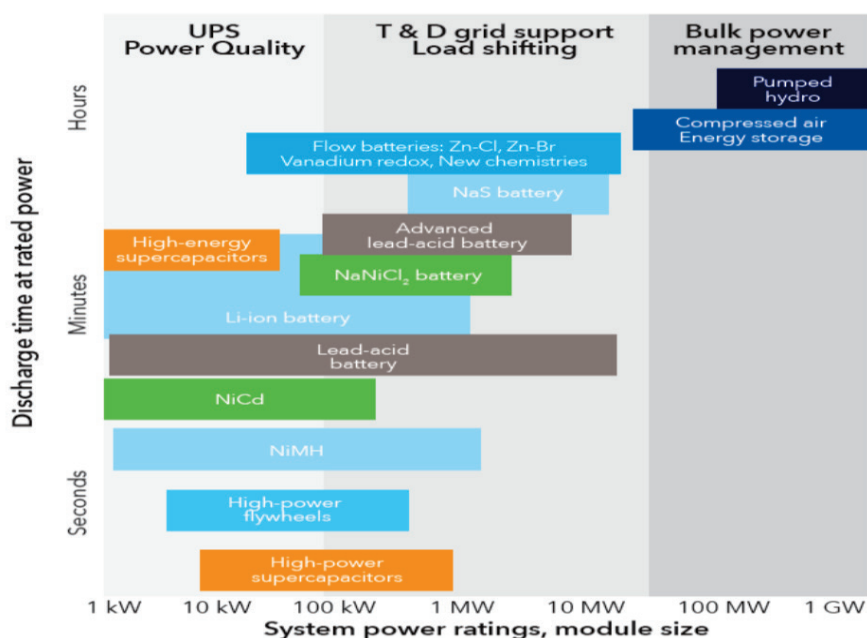
Key words: Energy storage, flexibility, electricity storage, variable renewable energy source.

1. UVOD

Spremnici električne energije će igrati ključnu ulogu u omogućavanju EU da razvije nisko-uglićni elektroenergetski sustav. Spremnici električne energije mogu pružiti veću fleksibilnost sustava i energiju potrebnu za uravnoteženje sustava, pružajući rezervu koja je potrebna zbog nestalnosti obnovljivih izvora energije. Lokalno, skladišta električne energije mogu poboljšati upravljanje distribucijskom mrežom, smanjiti troškove i poboljšati učinkovitost. Na taj način se olakšava uvođenje obnovljivih izvora na tržište, ubrzava dekarbonizacija elektroenergetskog sustava, poboljšava sigurnost i učinkovitost prijenosa i distribucije električne energije (smanjenjem neplaniranih kružnih tokova, rješavanjem problema zagušenja mreže, stabilizacijom varijacija napona i frekvencije), stabiliziraju se tržište cijene električne energije, a također se osigurava i veća sigurnost opskrbe energijom. [1]

Koliko se stvari brzo razvijaju oko spremišta električne energije, najbolje govori činjenica kako ne postoji opće prihvaćena definicija „spremnika električne energije“, već samo prijedlog koji glasi: „Spremanje električne energije u elektroenergetskom sustavu znači odgađanje uporabe određene količine električne energije koja je nastala do trenutka njenog korištenja, bilo u obliku električne energije ili pretvoreno u drugi nositelj energije“. (engleski: „Energy storage in the electricity system means the deferring of an amount of the energy that was generated to the moment of use, either as final energy or converted into another energy carrier“).[2]

Spremanje električne energije će biti optimizirano na tri različita načina i za tri različita trajanja pražnjenja spremnika. Tri temeljne namjene spremnika električne energije su podrška veleprodajnom tržištu, sustav podrške operatoru sustava za uravnoteženje i "iza brojila". Tehnologije spremanja uključuju: kemijske baterije za spremanje solarne energije za potrošače, tehnologije velike snage za potporu operatoru sustava i pametan softver u baterijama kako bi se omogućilo optimalno korištenje baterija. Električna energija može biti spremljena na izravan način u supravodljivim svicima ili (super) kondenzatorima. Električna energija se za sada u praksi obično spema u ne-električnih obliku, kao što su elektrokemijski u baterijama, u energiji rotirajuće mase kod zamašnjaka, u hidro akumulacijama (pumpanjem vode), u plinovima pod pritiskom, ili u zagrijanim ili ohlađenim tvarima kao što su rastaljene soli i tekući dušik. Električna energija se može spremati i u obliku proizvodnje plina koji se može upotrijebiti za ponovnu proizvodnju električne energije (na vodik ili metan i natrag), a što je opcija za sezonsko spremanje.[3].



Source: B. Dunn, H. Kamath and J.-M. Tarascon (2011)

Slika 1.: Mogućnosti primjene raznih tehnologija za spremanje električne energije za razne namjene

Analiza preostalih opterećenja sustava otkriva potrebu za različitim trajanjem pražnjenja spremnika električne energije. Različite tehnologije spremanja električne energije optimizirat će se za različito trajanje pražnjenja i za različite snage pražnjenja spremnika.

Tehnologije s trajnim pražnjenjem od nekoliko sati, kao što su kemijske baterije mogu optimalno služiti za pomicanje vršnih opterećenja kod krajnjih kupaca električne energije. Tehnologije spremnika s velikom snagom i dugim razdobljima pražnjenja su najprikladnije za primjenu na razini cijelog sustava, kao što je prijenos opterećenja na vrijeme kada je proizvodnja dostatna, kao rezerva za pogreške kod planiranja proizvodnje iz obnovljivih izvora i usluge održavanja frekvencije za operatora prijenosnog sustava (TSO).

Obzirom na uvođenje novih tehnologija i novih načina korištenja postojećih, potrebna su i nova pravila i propisi za spremanje energije čiji će utjecaj biti značajan u budućnosti elektroenergetskog sustava.

Na globalnoj razini snažna implementacija tehnologija spremnika i dalje je usmjerena politikom, tehnološkim kretanjima i boljem uvažavanju vrijednosti spremanja sa strane regulatora. Litij-ionske baterije smještene su kao glavna nova tehnologija spremanja zbog smanjenja troškova i brzog povećanja proizvodnih kapaciteta.

S porastom proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora u velikom dijelu svijeta, upravljanje fleksibilnošću i razumijevanje potrebe za fleksibilnošću postaju kamen temeljac tržišta energije. Spremišta energije odigrala su mnogo veću ulogu u 2016. godini, nego u prijašnjim godinama, u pružanju usluga fleksibilnosti, s važnim implementacijama u kratkoročnom i dugoročnom razdoblju na balansiranje tržišta, osobito u Europi i SAD.

Dok su ukupni dodatni kapaciteti izuzimajući spremnike energije u reverzibilnim hidro-elektranama rasli za preko 500 MW u 2016. godini, najavljeno je gotovo 1GW novih kapaciteta u drugoj polovici 2016. godine. Velika većina tih kapaciteta za spremanje su litij-ionske baterije. Ostale baterije iznosile su oko 5% dodatka kapaciteta, a sve ostale tehnologije spremanja procjenjuje se s preostalih 5%.

U ovom radu ćemo se baviti spremnicima energije na distribucijskoj razini. Spremnike energije u prijenosnoj mreži i za potrebe tržišta ćemo obraditi samo informativno.

2. SPREMNICI ELEKTRIČNE ENERGIJE U PRIJENOSNOJ MREŽI

2.1. Općenito

Spremnici električne energije postaju ključni za ravnotežu ponude i potražnje. Vrhovi i dna u potražnji mogu se često predvidjeti i zadovoljiti povećanjem ili smanjenjem proizvodnje u prilično kratkom vremenu. U sustavu s niskim udjelom ugljika, nestabilna proizvodnja iz obnovljivih izvora energije (OIE) otežava kontrolu nad promjenama u proizvodnji, a povećanje potražnje ne mora nužno odgovarati porastu proizvodnje u OIE. Potrebne su veće razine spremanja električne energije za fleksibilnost i stabilnost mreže, a koje se mogu nositi s rastućom uporabom nestabilnih obnovljivih izvora kao što su vjetro-elektrane i solarne elektrane. Nisko ugljični elektroenergetski sustav koji je ključni cilj energetske politike EU, zahtijeva napredne mreže i napredne spremnike električne energije.

Application in power system Functionality of storage	Transmission grid-central storage (national and European level)	Distribution grid storage (city level)	End-user Storage (household level)
Balancing demand and supply	Seasonal / weekly fluctuations Large geographical unbalances Strong variability of wind and solar (electricity and gas storage need to be integrated)	Daily / hourly variations Peak shaving (electricity and heat/cold storage need to be integrated)	Daily variations (electricity and heat/cold storage need to be integrated)
Grid management	Voltage and frequency regulation Complement to classic power plants for peak generation Participate in balancing markets Cross-border trading	Voltage and frequency regulation Substitute existing ancillary services (at lower CO ₂) Participate in balancing markets	Aggregation of small storage systems providing grid services
Energy Efficiency	Better efficiency of the global mix, with time-shift of off-peak into peak energy	Demand side management Interactions grid-end user	Local production and consumption Behaviour change Increase value of PV and local wind Efficient buildings Integration with district heating /cooling and CHP

Slika 2: Spremnici električne energije servisiraju više potreba u EES-u

Iz prethodne slike je jasno da su tri glavne funkcije spremnika u prijenosnom sustavu uravnoteživanje ponude i potražnje, pomoć pri upravljanju mrežom i povećavanje energetske efikasnosti kroz pretvaranje jeftinije energije proizvedene u doba niskih opterećenja u skupu vršnu energiju.

Pri razmatranju uloge spremnika električne energije u prijenosnoj mreži, kao temeljni princip, moramo imati na umu kako je jedna od glavnih uloga za operatora prijenosnog sustava (TSO) da bude neutralan. U kontekstu tog procjenjujemo potencijal spremanja električne energije kao alat za pružanje potrebne fleksibilnosti elektroenergetskom sustavu.[4]

2.2. Uravnoteživanje ponude i potražnje

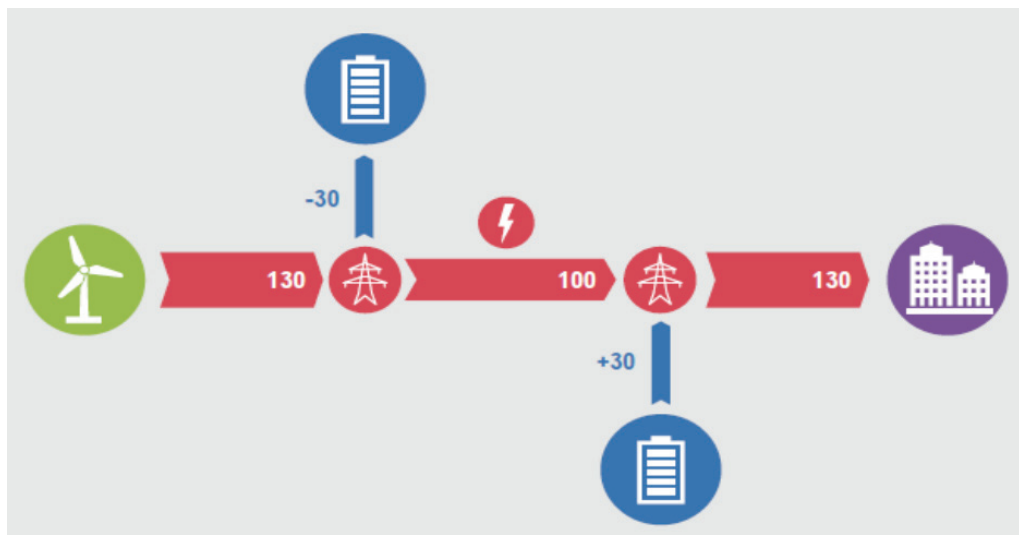
Prva namjena spremnika električne energije bi bila pomoć pri integraciji nestalnih obnovljivih izvora energije u elektroenergetski sustav. Spremnici bi mogli poboljšati učinkovitost tržišta i olakšati integraciju obnovljivih izvora energije (OIE) upravljajući njihovom varijabilnošću ne samo na dnevnoj bazi, već i na više sezonskih osnova. Postoji, međutim, sumnja da ulaganja na ovoj osnovi postaju sve teža u okruženju s više nesigurnosti u planiranju, s teškoćama u dobivanju dozvola i u velikoj volatilnosti u veleprodajnim cijenama električne energije.

2.3. Pomoć pri upravljanju mrežom

Druga potencijalna namjena spremnika je u pružanju usluga sustavu i pružanje pomoćnih usluga sustavu. Integracija varijabilnih OIE i sigurnost opskrbe je izazov za TSO. Vrlo malo je vjerojatno da uređaji za servisiranje sustava namijenjeni sustavu koji se temelji na konvencionalnim proizvodnjama električne energije odgovara potrebama sustava koji se temelji na visokoučinkovitoj obnovljivoj proizvodnji. TSO bi stoga trebao olakšati uspostavu tržišta pomoćnih i sustavnih usluga postavljanjem jasnih tehničkih i tržišnih zahtjeva za novi i postojeći sustav u svrhu tržišne nabavke tih usluga

2.4. Efikasniji razvoj prijenosne mreže

Treća potencijalna namjena spremnika je omogućavanje efikasnijeg razvoja prijenosne mreže. Integracija OIE zahtijeva znatnu dodatnu fleksibilnost i povećani kapacitet prijenosnog sustava. S daljnjim tehnološkim razvojem, spremnici imaju značajke koje u posebnim okolnostima mogu omogućiti učinkovitiji razvoj, primjerice u slučaju s isprekidanim zagušenjima mogli bi poslužiti kao dopuna linije. Ako spremnik električne energije ima pozitivna tehnička svojstva i pozitivnu analizu troškova, TSO bi morao biti u mogućnosti upravljati tim objektom za ovu svrhu.



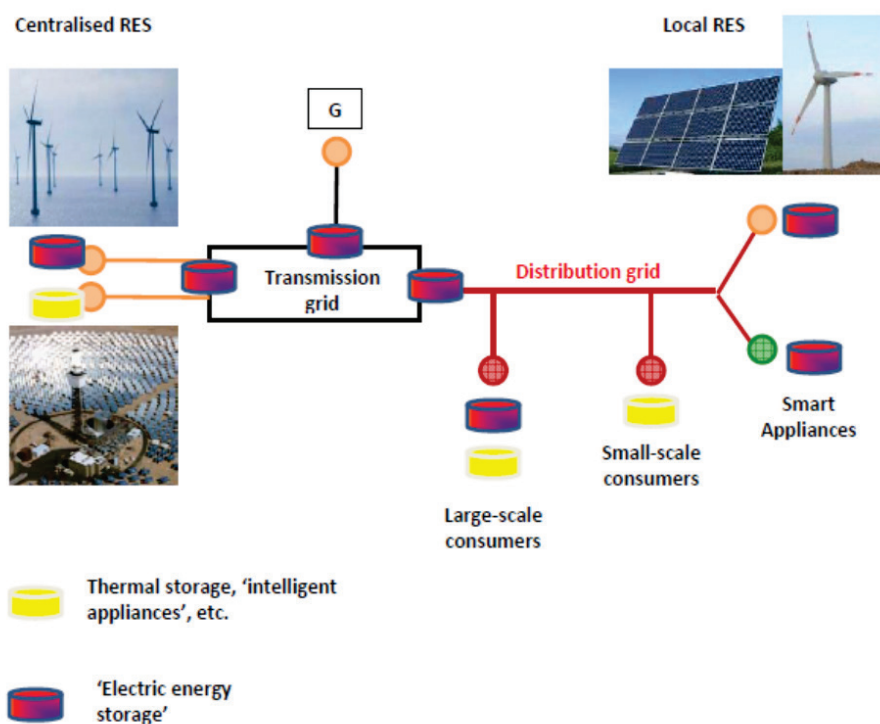
Slika 3. Pojednostavljeni prikaz mogućnosti upravljanja zagušenjima u mreži pomoću spremnika[4]

3. SPREMNICI ELEKTRIČNE ENERGIJE U DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI

3.1. Općenito

Vrlo je bitno da su distributivni operatori sustava (dalje: ODS) odgovorni za troškovno učinkovitu distribuciju energije, te da mogu odabrati najbolju dostupnu opciju kako bi se osigurala pouzdana i pristupačna distribucija energije u svakom trenutku. Proizvodnja električne energije iz varijabilnih obnovljivih izvora energije, kao što su solarne elektrane i vjetar, nastavit će rasti u budućnosti. Veliki dio ovih promjenjivih obnovljivih izvora energije biti će priključen na distribucijsku mrežu. U nekim područjima, povećanje lokalne proizvodnje iz obnovljivih izvora energije može premašiti rast dodatno instaliranih kapaciteta mreže zbog razlika u vremenu izgradnje. Povećanje vrlo varijabilnih i koncentriranih opterećenja se očekuje uglavnom tijekom vršnih sati u urbanim područjima visoke gustoće (elektromobilnost i elektrifikacija ostalih oblika potrošnje energije kroz npr. ugradnju toplinskih pumpi). To će biti veliki izazov za energetske sustav, izazvat će probleme s regulacijom napona, vršnog opterećenja i zagušenja i suočiti ODS sa znatnim investicijskim izazovima za povećanje kapaciteta mreže.[5]

Osnovne dužnosti ODS-a bile su i ostat će: održavanje sigurnog i pouzdanog rada distribucijskog sustava, planiranje i razvoj distribucijske mreže, upravljanje podacima korisnika mreže te nabava električne energije za pokriće gubitaka električne energije u distribucijskoj mreži. U budućnosti će ODS omogućavati dodatne pogodnosti krajnjim kupcima i energetske sektoru uopće. Liberalizacija maloprodajnog tržišta električne energije, upravljanje potrošnjom, nove tehnologije, distribuirana proizvodnja te sustav naprednog mjerenja i napredne mreže razlozi su zbog kojih se mijenja uloga ODS-a. ODS postaje sve značajniji čimbenik zajedničkog tržišta električne energije. Stoga je potrebno redefinirati njegovu buduću ulogu i zadatke. Općenito gledajući, do sada je ODS uglavnom imao pasivnu ulogu, komunicirajući samo s opskrbljivačima električnom energijom, korisnicima mreže i operatorom prijenosnog sustava. U novije vrijeme, ODS dobiva ulogu u osiguravanju sigurnosti opskrbe električnom energijom i ulogu nepristranog oslonca tržišta (engl. neutral market facilitator)[6].

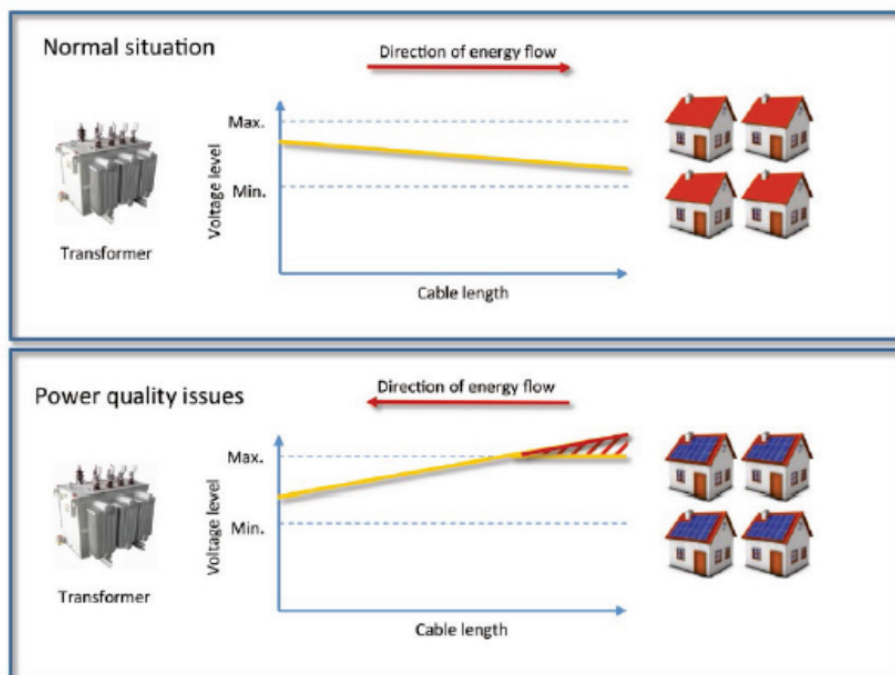


Slika 4. U nisko-ugljičnoj budućnosti, spremnici energije su potrebni svugdje u mreži [2]

Kao što vidimo iz prikaza na slici 4., spremnici energije će biti potrebni na svim razinama mreže, a i kod krajnjih kupaca. Uloga spremnika u distribucijskoj mreži može se svesti na uravnoteživanje dnevne i satne potrošnje energije s proizvodnjom poduprtom spremnicima. Nadalje, spremnici se mogu koristiti za smanjenje vršnih opterećenja distribucijske mreže ili pojedinih krajnjih kupaca. Tu se postavlja i pitanje je li ODS korisnik mreže OPS-a (ako je, onda ima ekonomske motive za smanjenje vršnog opterećenja koje se primjenjuje za naplatu mrežarine, a ako nije, nema tih poticaja).

3.2. Upravljanje naponskim prilikama

U upravljanju mrežom, spremnici mogu pomoći kod upravljanja naponskim prilikama, što je prikazano na sljedećoj slici.



Slika 5. Mogućnost primjene spremnika za potrebe regulacije napona [5]

Normalna situacija (slika 5): U 'normalnoj' situacija, bez decentralizirane generacije na razini krajnjih korisnika, razina napona će se smanjivati s udaljenosti od transformatora, zbog gubitaka u vodovima.

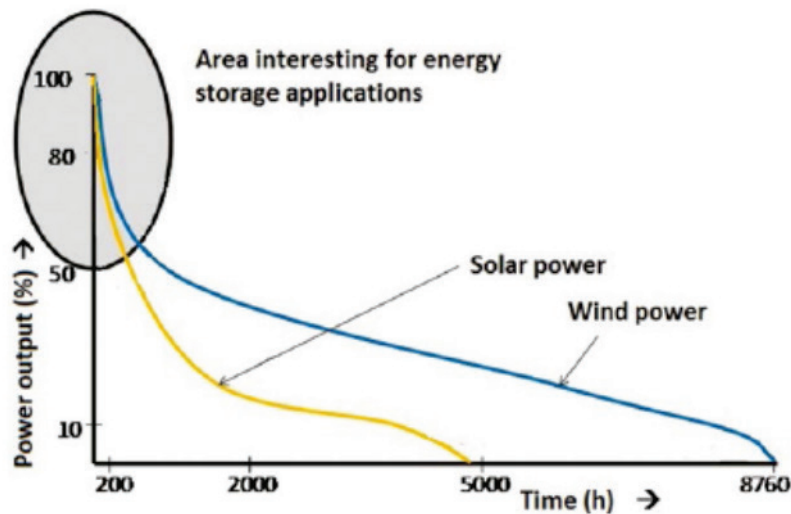
Problemi kvalitete električne energije (slika 5): S puno decentralizirane generacije koja nije (potpuno) potrošena na strani krajnjeg korisnika, smjer struje će se preokrenuti i čak može prelaziti na višu naponsku razinu mreže. To može uzrokovati lokalno viši napon - čak i previsoke napone koji mogu uzrokovati i isključivanje decentralizirane generacije s mreže. Lokalna pohrana energije (crveno prugasto područje na slici 5) u ovom slučaju radi kao dodatno opterećenje i može se koristiti za snižavanje razine napona pa se tako smanjuju problemi s kvalitetom napona.

Spremnik energije mogu se koristiti za rješavanje ovih kratkoročnih pitanja upravljanja sustavom i tako povećati sigurnost i kvalitetu opskrbe. To može pomoći privremeno, sve do strukturnih rješenja poput pojačanje mreže na tom mjestu ili na strukturnoj osnovi promjenom pristupa.

3.3. Dugoročna uporaba spremnika u distribuciji

ODS, kao regulirani subjekt, je pod strogom kontrolom regulatora, te treba obavljati svoje poslovanje troškovno učinkovito. Varijabilna proizvodnja iz obnovljivih izvora energije, kao što su solarne elektrane i vjetro-elektrane, rijetko proizvodi sa svojim punim kapacitetom, kako je prikazano na slici 6.

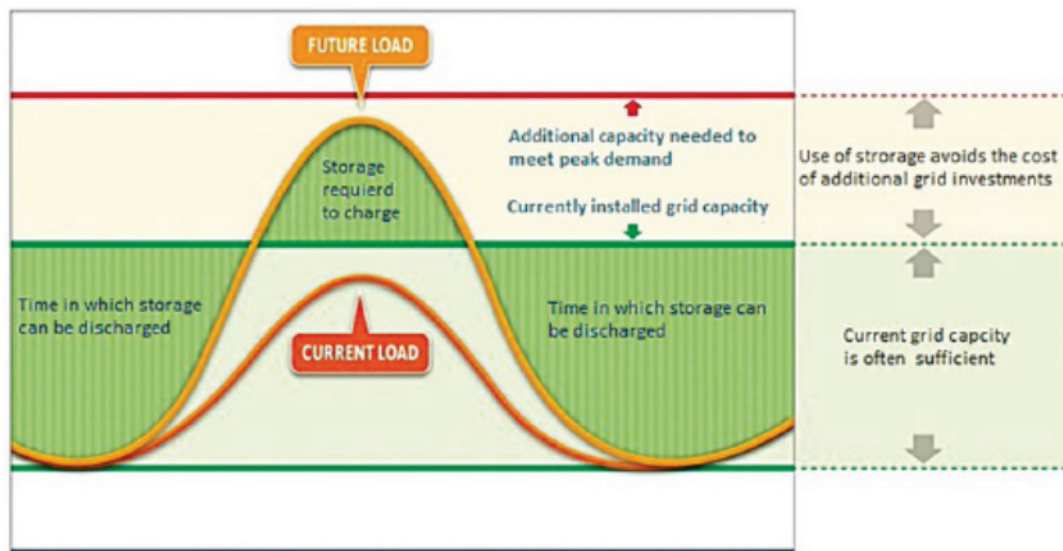
Očekivano povećanje proizvodnje iz varijabilnih obnovljivih izvora energije prisiljava ODS na dodatna ulaganja u kapacitet mreže. To je trenutno slučaj u većini država članica EU i jedina opcija za ODS. To zahtijeva dodatna ulaganja u mrežu, kako bi se omogućila evakuacije energije kada obnovljivi proizvodni kapaciteti rade s punom snagom. Budući da u ovom slučaju zbog varijabilnosti proizvodnje iz sunca i vjetra značajan dio distribucijskog kapaciteta neće biti optimalno iskorišten, ulaganje u dodatne distribucijske kapacitete je sub-optimalno u smislu troškova i učinkovitosti.



(Source: DNV GL)

Slika 6. Tipične krivulje proizvodnje za solarne elektrane i vjetro-elektrane [5]

Spremnik energije pruža dodatni kapacitet za mrežu i omogućava pomicanje vršnog opterećenja. Vršno opterećenje je pomaknuto iz vremena u kojem nema kapaciteta u distribucijskoj mreži do vremena kada postoji dovoljan raspoloživ distribucijski kapacitet. To omogućuje bolje (troškovno) i učinkovitije korištenje mreže, a ulaganja u širenje mreže mogu se izbjeći ili odgoditi. Slika 7. prikazuje učinak pomicanja opterećenja kroz pohranu kao naprednu (smart) mrežnu operaciju.

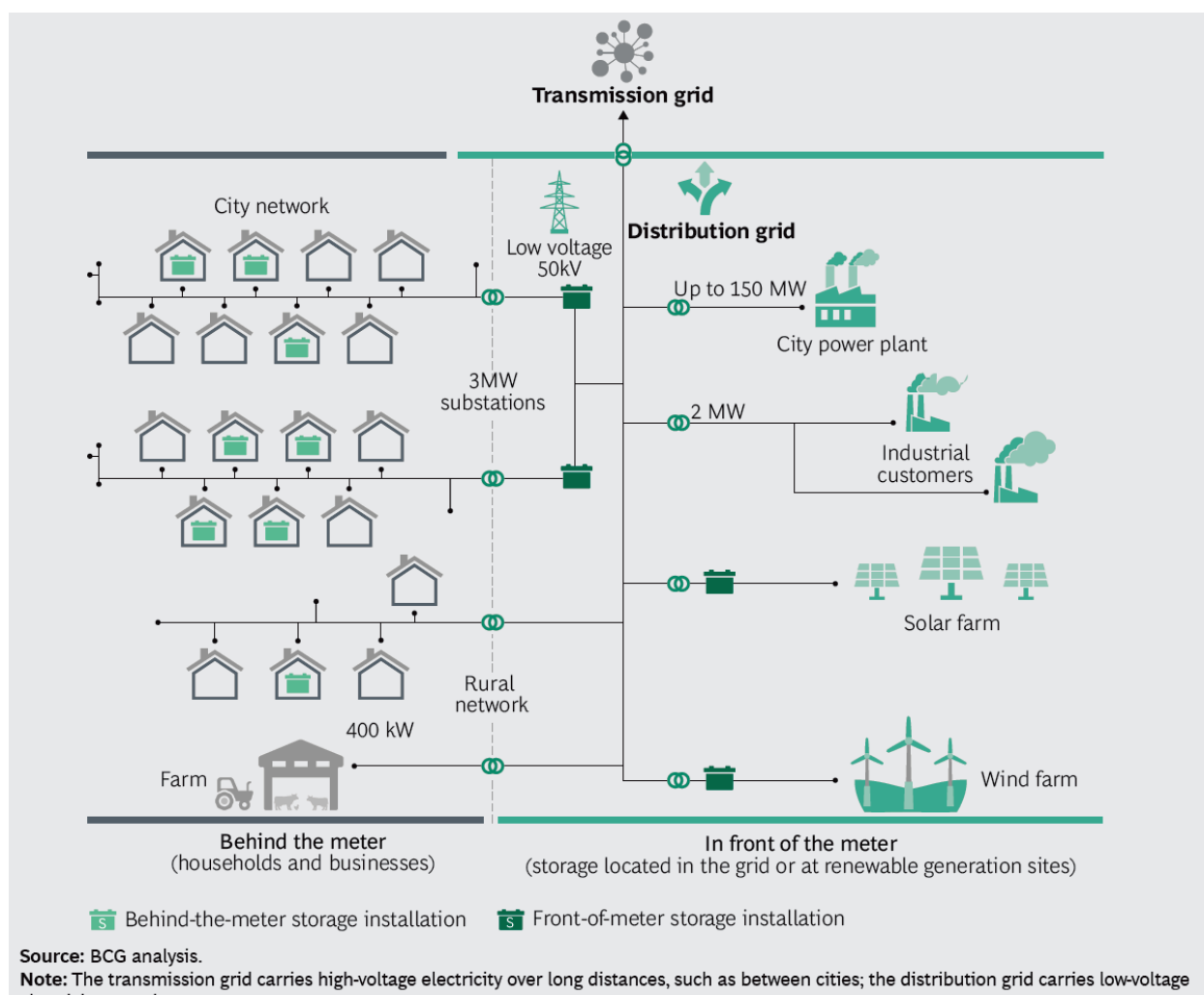


(Source: NRSTOR)

Slika 7. Mogućnost primjene spremnika za potrebe odgađanja investicija [5]

3.4. Smještaj spremnika u distribucijskoj mreži

Općenito gledajući, smještaj spremnika u distribucijskoj mreži može općenito biti „iza brojila“ ili „ispred brojila“. To načelno znači da je spremnik iza brojila u vlasništvu krajnjeg kupca i služi prvenstveno za potrebe krajnjeg kupca, ali temeljem ugovora ga može upotrebljavati i ODS, a onaj ispred brojila je ili u vlasništvu ODS-a ili treće strane ali se koristi skoro isključivo za potrebe ODS-a.



Slika 8. Smještaj spremnika ispred ili iza brojila [7]

4. ZAKLJUČAK

Spremnici električne energije će igrati ključnu ulogu u razvoju nisko-ugliječnog elektroenergetskog sustava. Spremnici električne energije omogućuju veću fleksibilnost sustava i energiju potrebnu za uravnoteženje sustava, te osiguravaju rezervu koja je potrebna zbog nestalnosti obnovljivih izvora energije. Spremnici električne energije mogu poboljšati upravljanje distribucijskom mrežom, smanjiti troškove i poboljšati učinkovitost. To olakšava uvođenje obnovljivih izvora na tržište, ubrzava dekarbonizaciju elektroenergetskog sustava, poboljšava sigurnost i učinkovitost distribucije električne energije (rješavanjem problema zagušenja mreže i stabilizacijom varijacija napona). Dodatno, stabiliziraju se tržišne cijene električne energije, a osigurava se i veća sigurnost opskrbe energijom. U radu se definira pojam „spremnik električne energije“, analizira se na kojim se sve mjestima može koristiti, te koje su sve dostupne tehnologije. Operator distribucijskog sustava odgovoran je za troškovno učinkovitu distribuciju energije, a trebao bi moći odabrati najbolju dostupnu opciju kako bi se osigurala pouzdana i pristupačna distribucija energije u svakom trenutku. Proizvodnja električne energije iz varijabilnih obnovljivih izvora energije, kao što su solarne elektrane i vjetar, nastaviti će rasti u budućnosti. Veliki dio ovih obnovljivih izvora energije biti će priključen na distribucijsku mrežu. U nekim područjima povećanje lokalne proizvodnje iz obnovljivih izvora energije može premašiti rast dodatno instaliranih kapaciteta mreže zbog razlika u vremenu izgradnje. Povećanje varijabilnih i koncentriranih opterećenja se očekuje uglavnom tijekom vršnih sati u urbanim područjima visoke gustoće (elektromobilnost i elektrifikacija ostalih oblika potrošnje energije). To će biti veliki izazov za energetski sustav, izazvat će probleme s regulacijom napona, vršnog opterećenja i zagušenjima te suočiti ODS sa znatnim investicijskim

izazovima za povećanje kapaciteta mreže. Uloga spremnika u distribucijskoj mreži može se svesti na uravnoteživanje dnevne i satne potrošnje energije s proizvodnjom poduprtom spremnicima. Nadalje, spremnici se mogu koristiti za smanjenje vršnih opterećenja distribucijske mreže ili pojedinih krajnjih kupaca. U upravljanju mrežom, spremnici mogu pomoći kod upravljanja naponskim prilikama, kod zamjene postojećih pomoćnih usluga s novima koje osiguravaju spremnici (s bitno nižim emisijama CO₂), a mogu sudjelovati i na tržištu uravnoteženja. Spremnici se nadalje mogu koristiti i za poboljšanje energetske učinkovitosti kroz upravljanje potrošnjom i proizvodnjom i kroz razne interakcije između mreže i njenih korisnika. ODS, kao regulirani subjekt, je pod strogom kontrolom regulatora, te treba obavljati svoje poslovanje troškovno učinkovito. Očekivano povećanje proizvodnje iz varijabilnih obnovljivih izvora energije prisiljava ODS na dodatna ulaganja u kapacitet mreže. To je trenutno slučaj u većini država članica EU i jedina opcija za ODS. To zahtijeva znatna dodatna ulaganja u mrežu, kako bi se omogućila evakuacije energije kada obnovljivi proizvodni kapaciteti rade s punom snagom. Budući da u ovom slučaju zbog varijabilnosti proizvodnje iz sunca i vjetra značajan dio distribucijskog kapaciteta neće biti optimalno iskorišten, ulaganje u dodatne distribucijske kapacitete je sub-optimalno u smislu troškova i učinkovitosti. To treba promijeniti.

Spremnik energije pruža dodatni kapacitet za mrežu i omogućava pomicanje vršnog opterećenja. Vršno opterećenje je pomaknuto iz vremena u kojem nema kapaciteta u distribucijskoj mreži, do vremena kada postoji dovoljan raspoloživ distribucijski kapacitet. To omogućuje bolje (troškovno) i učinkovitije korištenje mreže, a ulaganja u izgradnju mreže mogu se izbjeći ili odgoditi.

5. LITERATURA

- [1] COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT: Energy storage – the role of electricity, SWD(2017) 61 final, Brussels, 1.2.2017.
- [2] DG ENER Working paper The future role and challenges of Energy Storage (European Commission >Energy > Topics > Technology and innovation > Energy storage).
- [3] TECHNOLOGY OUTLOOK 2025, DNV GL, www.dnvgl.com.
- [4] Energy Storage and Storage Services, ENTSO-E Position, October 2016.
- [5] STORAGE AS A TOOL FOR SMART DISTRIBUTION, CEDEC POSITION PAPER, January 2016.
- [6] Lahorko Wagmann, Srđan Žutobradić, Željko Rajić, Boris Makšijan, ULOGA OPERATORA DISTRIBUCIJSKOG SUSTAVA U NOVOM MODELU ENERGETSKOG TRŽIŠTA U ENERGETSKOJ UNIJI, HO CIREĐ, 5. (11.) savjetovanje, Osijek, 15. - 18. svibnja 2016.
- [7] Holger Rubel , Cornelius Pieper , Jan Zenneck i Yasin Sunak, How Batteries and Solar Power Are Disrupting Electricity Markets, BCG, January 26, 2017