

**PRIMJENA UPRAVLJANJA ENERGIJOM U INDUSTRIJSKIM MIKROMREŽAMA U
UVJETIMA SLOBODNOG TRŽIŠTA**
**APPLICATION OF ENERGY MANAGEMENT IN INDUSTRIAL MICROGRID IN OPEN
MARKET CONDITION**

Mr.sc. Mario Perić, dipl.ing.el
Končar – KET
Republika Hrvatska

Dr.sc. Tomislav Plavšić, dipl.ing.el
HOPS d.d
Republika Hrvatska

Prof. dr.sc. Tomislav Tomiša, dipl.ing.el
Fakultet elektrotehnike i računarstva
Republika Hrvatska

Sažetak: U radu je obrađena problematika upravljanja energijom u industrijskim postrojenjima u svjetlu novih prilika nastalih uvođenjem tržišta električne energije te novog koncepta naprednih mreža. Uvod daje naglasak na važnost električne energije u industrijskoj proizvodnji. U nastavku je dan pregled svojstava industrijske mikromreže kao zasebnog energetskeg entiteta u elektroenergetskom sustavu. U trećem poglavlju napravljen je pregled tržišta električnom energijom kao uvod u razmatranje mogućnosti upravljanja energijom u industriji. Raščlamba pojma upravljanja energijom s naglaskom na primjeni u industrijskom okruženju dana je u četvrtom poglavlju. Posebna pozornost u radu je dana upravljanju potražnjom za električnom energijom te odabiru adekvatne strategije za upravljanje energijom u industrijskom postrojenju.

Ključne riječi: Upravljanje energijom, tržište električne energije, industrijske mikro mreže,

Abstract: The paper deals with the problems of Energy Management in industrial plants through the prism of new opportunities created by introducing the electricity market and the new concept of Smart Grid as well. The Introduction emphasizes the importance of electrical power production in Industrial environment. In continuation of the article, an overview of the properties of industrial microgrid as a unique entity of the energy in a power system is given. In the third chapter, an overview of the electricity market as an introduction to the analysis of the energy management possibility in an industry. The analysis of the concept of energy management with emphasis on application in industrial environments is presented in the fourth chapter. The special attention is given to Electricity Demand Management and the selection of appropriate strategies for Energy Management in the industrial plant.

Key words: Load Management, Electricity Market, Industrial Microgrid

UVOD

Planiranje korištenja energije za potrebe industrije razvojem slobodnog tržišta energenata dobiva dodatnu dimenziju koja se ogleda u novim mogućnostima ali i novim rizicima. Pod upravljanje energijom može se definirati sveobuhvatni skup radnji na nabavi, opskrbi energijom na tržištu odnosno upravljanje vlastitim proizvodnim resursima te upravljanje potrošnjom. Opskrba (kupovanje na tržištu ili proizvodnja u vlastitim pogonima) električnom energijom za potrebe industrijske proizvodnje ima drugačiji okvir provedbe nego u uslužnim sektorima. Sa stajališta potrošnje energije industrijsko okruženje se razlikuje od javnog sektora ponajviše u: velikom broju različitih oblika energije, zahtjevima za kvalitetom (pouzdanost opskrbe)¹ i dodanoj vrijednosti (energija je sirovina, s velikom dodanom vrijednošću).

¹ Često su ti zahtjevi veći od razine kvalitete koju nudi opskrbljivač električnom energijom.

Kada je riječ o dodanoj vrijednosti energije u industriji najvažniji pojam jest kvaliteta energije. Zbog činjenice da zahtjeve za povećanom kvalitetom energije ponekad nije moguće zadovoljiti iz mreže javnog operatora prijenosa odnosno distribucije, industrijska postrojenja su nerijetko opremljena vlastitim sustavima za proizvodnju korisnog oblika energije. Energetske potrebe tehnološkog procesa su najčešće; toplina (grijanje ili hlađenje) ili mehanički rad. Najčešći načini za pretvorbu nekog osnovnog oblika energije u mehanički rad ili električnu energiju su termički procesi. Zbog prirode samih toplinskih strojeva tek od 20% do 50% primarne energije se može iskoristiti dok se ostatak emitira u okoliš. Ako se pak iz istog procesa istodobno koriste dva različita oblika energije (toplina, električna energija) govorimo o kogeneraciji. Industrijsko okruženje je dobar primjer primjene kogeneracije. Pored efikasnijeg iskorištenja primarnog energenta, industrija je dobro okruženje za provedbu energetske uporabe ostataka industrijske proizvodnje. Ovako iskorištavanje raspoložive energije, ukoliko je ekonomski opravdano, donosi stanovitu dobrobit, a koja tek u tržišnim uvjetima dobiva na važnosti. Razvoj tržišta energenata stavlja pred procese planiranja energetike u industriji nove izazove i **rizike**. Optimiranjem energetskih resursa u industrijskom okruženju te upravljanjem potrošnjom do određene mjere se može upravljati spomenutim rizicima.

2. INDUSTRIJSKE MIKROMREŽE

Primjenom naprednih metoda umrežavanja elektroenergetskih i informatičko-komunikacijskih tehnologija (napredne mreže, [1]) u industrijskom okruženju nastaju nezavisni energetski entiteti koji se nazivaju **Industrijske mikromreže**. Moguće koristi od uvođenja industrijske mikromreže su:

- uštede zbog lokalne proizvodnje topline,
- energetska uporaba ostatka iz procesa kao što je: otpadna toplina u procesima sušenja, toplina nastala u egzotermnim reakcijama, mehanička energija raspoloživa kod relaksacije stlačenog medija kao dio tehnološkog procesa, materijalni ostaci iz procesa (npr. vodikom bogati plinovi kao nusproizvod nastali u šećeranama, suha tvar od prerade drveta ili neke druge biljne tvari),
- uštede na izbjegavanje angažmana radne snage,
- ušteda na izbjegavanju potrošnje jalove energije,
- mogućnost upravljanja potrošnjom („Demand Side Management“ - DSM)²,
- smanjenje troškova emisije korištenjem obnovljivih izvora i spremanja energije.

Prilikom kreiranja mikromreže prije svega treba imati na umu specifičnosti industrijskog okruženja kao što su [2]:

- postrojenja su često smještena u ruralnim područjima,
- nerijetko su priključena na slabu distribucijsku mrežu,
- imaju veliku ali predvidivu potrošnju energije,
- veliki zahtjevi za raspoloživost i kvalitetom opskrbe,
- relativno mali broj upravljivih trošila.

Pored toga, prilikom analize moguće implementacije koncepta naprednih mreža u obzir treba uzeti i slijedeće činjenice:

- ostvarivanja profita od prodaje proizvoda ili usluga povezanim s proizvodima temeljna je misija,
- vlasnici industrijskih postrojenja nisu primarno zainteresirani za poslovanje u energetskom sektoru,
- opskrba energijom je podređena procesnoj tehnologiji,
- električna energija je samo jedan od resursa koji se troši za potrebe proizvodnje (često i ne dominantan),
- energija u industrijskom postrojenju je sastavni dio budućeg proizvoda, dakle energija je sirovina,
- industrijska postrojenja su veliki potrošači radne i jalove energije s niskim faktorom opterećenja (P_{max}/P_{sr}),
- kvaliteta električne energije i sigurnost opskrbe su ključni zahtjevi za industrijsku mikromrežu,
- upravljanja industrijskom mikromrežom podređen je najmanje dvama sustavima upravljanja: sustavu upravljanja industrijskim postrojenjem i sustavu upravljanja distribucijske mreže („Distribution Management System“ - DMS),
- optimiranje arhitekture i rada industrijske mikromreže je višekriterijski, stohastički problem.

3. TRŽIŠTE ELEKTRIČNE ENERGIJE – NEKI ASPEKTI KLJUČNI ZA INDUSTRIJU

Temeljna premisa na tržištu električne energije jest da je električna energija roba kojom se može trgovati u određenom vremenu. Međutim električna energija je „vremenski osjetljiva“ roba koja se mora isporučiti u precizno točno vrijeme inače gubi vrijednost, čak što više stvara štetu. Važno za isporuku robe ovakvog tipa jest nužnost održavanja ravnoteže između proizvodnje (isporuke) i potrošnje (potražnje). Tržišni mehanizmi su korisni jer inherentno potiču tok kapitala, smanjenje cijena i razvoj konkurencije što je onkraj zastarjelim monopolističkim mehanizmima. Međutim tržišni mehanizmi su poput vatre, ukoliko se podvrgnu adekvatnoj kontroli donose korist, u protivnome mogu nanijeti veće štete.

² To je jedna od bitnih sastavnica naprednih mreža koji sve više nalazi primjenu i u industrijskom okruženju [3];

Tržišni mehanizmi ne mogu osigurati električku stabilnost i uravnoteženost proizvodnje i potrošnje. Za to su zaduženi tehnički mehanizmi odnosno regulacijski sustavi. Promatrajući tržište električne energije kroz prizmu pojma trgovanja, valja istaknuti neke posebitosti:

- trguje se s robom kojom se ne može utvrditi porijeklo i kvaliteta u vremenu trgovanja,
- trguje se zapravo s obvezama isporuke i primanja,
- nema povrata robe, ali zato je precizno razrađen financijski sustav namirivanja potraživanja,
- vremenska konstanta tržišnih mehanizama je duža od vremenske konstante fizičkog sustava.

Tržište električne energije čini nekoliko kompatibilnih, međusobno podupirućih tržišta jer kompleksnost elektroenergetike nije moguće pokriti jednim tržištem, tu su trgovanja uslugama, korektivna tržišta uravnoteženja, dugoročna tržišta energijom.

Kao preduvjet uvođenju tržišta električnom energijom, tradicionalno, vertikalno organizirana društva kao jedini nositelji svih aktivnosti na proizvodnji, prijenosu, distribuciji te opskrbi električnom energijom morala su razdvojiti tržišne od monopolističkih odnosno reguliranih aktivnosti. U Republici Hrvatskoj razlikujemo dvije platforme za trgovanje električnom energijom: usluga javne i zajamčene opskrbe te otvoreno tržište električnom energijom (veleprodajno i maloprodajno tržište). Funkcije prijenosa, distribucija i opskrba tarifnih kupaca su **regulirane djelatnosti** dok su proizvodnja, trgovina i opskrba povlaštenih kupaca **tržišne aktivnosti**. Tržište električne energije u Hrvatskoj u potpunosti je otvoreno 1. srpnja 2008. godine, što znači da od tada svi kupci imaju pravo birati opskrbljivača električne energije. Prekretnica u otvaranju tržišta jest kada kupci steknu pravo slobodno izabrati Opskrbljivača od kojeg će kupovati električnu energiju. U RH odabran je bilateralni model tržišta. Takav model tržišta počiva na **ugovorima za opskrbu** električnom energijom (kojom kupci kupuju električnu energiju od opskrbljivača) te **ugovorima o kupoprodaji** kojim trgovci i opskrbljivači kupuju električnu energiju od proizvođača ili trgovaca.

Proizvođači i kupci pored gore spomenutih ugovora moraju ugovoriti pravo na korištenje mrežne infrastrukture kojim se električna energija predaje u sustav ili preuzima iz sustava. Mrežna infrastruktura je prirodni monopol te je aktivnost vođenja prijenosnim odnosno distribucijskim sustavom regulirano pravilnikom, a troškovi korištenja mreže javno poznati. Od 2016. godine u Republici Hrvatskoj operativno funkcionira burza električne energije, CROPEX, kojom se obavlja usluga anonimnog trgovanja putem informacijskog sustava između članova burze. Na CROPEX je trenutno u funkciji tržište električne energije za dan unaprijed te unutardnevno ili spot tržište. Trgovanje električnom energijom je regulirano Tržišnim pravilima [4] i Zakonom o tržištu električne energije [5].

3.1. Sudionici i vrste tržišta električne energije

Sudionici tržišta električne energije, tj. oni koji izravno trguju na veleprodajnom tržištu su: proizvođači, trgovci, opskrbljivači i operatori prijenosnog i distribucijskog sustava. Pored veleprodajnog tržišta, postoji **maloprodajno tržište** na kojemu sudjeluju Opskrbljivači i Kupci. Sloboda biranja opskrbljivača je najvažniji (zasada i jedini) čin sudjelovanja na slobodnom tržištu. Ovisno o Opskrbljivaču te kategoriji u kojoj pripadaju, velika većina kupaca ne osjeća varijabilnost cijena na dnevnoj bazi. Cijena koju plaćaju krajnji kupci definirana je ugovorom na razvidan način. U Republici Hrvatskoj na snazi je dvotarifni sustav. Sav rizik promjene cijena preuzima Opskrbljivač. Veliki kupci mogu izravno sudjelovati na veleprodajnom tržištu ali samo ako se registriraju za djelatnost opskrbljivača. Zbog svojih svojstava cjelokupno trgovanje električnom energijom se može svrstati u dvije grupe: terminsko tržište i tržište u realnom vremenu.

- **Terminska tržišta** („*Forward*“) se odlikuju trgovanjem terminima isporuke odnosno preuzimanja u budućnosti. Trguje se obvezama koje nastupaju u budućnosti od dana trgovanja. Trgovanje može biti dugoročno od nekoliko dana, tjedana ili mjeseci unaprijed do jednog dana unaprijed. Svaki dan u kojemu se trguje naziva se **dan trgovanja**, a trguje se isporukama u određenom vremenskom intervalu (15-minutnim višekratnicima) točno određenog dana (**dan isporuke**). Dva su načina trgovanja na terminskim tržištima:
- **Centralizirano trgovanje** se odvija preko posredničke, neutralne, institucije koja olakšava pridruživanje ponude potražnji. Najčešći oblik je burza električne energije. Na burzi trguju članovi burze (tržišni sudionici) koji s burzom sklope sporazum o uvjetima trgovanja. Prodavači licitiraju (prodaju) količine električne **energije za koju garantiraju** da će emitirati u (EES) u traženom vremenskom intervalu (npr. 150.000 kWh u periodu od 10.15. do 10.30 dana 31.05.) po određenoj cijeni. Cijena električne energije koja se licitira ovisi o troškovima goriva, pogona, održavanja te troškovima amortizacije. Konkurentnost vodi ka licitiranju sve nižih cijena koje se približavaju marginalnim troškovima proizvodnje. Cijena na centraliziranom tržištu je cijena koja se dobije kao presjek krivulje ponude (granično prihvatljiva maksimalna cijena po kojoj su kupci spremni kupiti određenu količinu energije) i krivulje potražnje (granično prihvatljiva minimalna cijena po kojoj su prodavači spremni prodati električnu energiju)
- **Bilateralno trgovanje** podrazumijeva neposredno sklapanje kupoprodaje između kupaca i prodavača. Trgovanje se obavlja bez posrednika i postignuta cijena je poslovna tajna. Ovakav način je dobar za dugoročno do srednjoročno

trgovanje kada se trguje s velikim količinama električne energije (odnosno obvezama za isporuku). Opskrba bazne potrošnje se najčešće trguje na ovakvim tržišnim mehanizmima.

- **Tržište u realnom vremenu** („*Real Time*“, *Spot tržište*) je najbliži oblik istinskom tržištu električne energije kao robe³. Neposredno nakon uspostave sporazuma o kupoprodaji slijedi isporuka. Obzirom na karakter električne energije spot tržište bi bilo najbliže idealnom trenutnom tržištu. Vremenska konstanta tržišta je ograničena tehnologijom komunikacije. Po svojoj prirodi ovo tržište je korektivno tržište i služi za tržišno uravnoteženje između realne potrebe i planirane isporuke (koja ne smije biti upitna). Do odstupanja može doći iz raznih razloga. Operator sustava na podražaje iz sustava (najava da neki od sudionika neće moći ispuniti plan, iznenadni kvar) mora reagirati na način da pribavi određenu količinu energije u kratkom vremenu. Zbog toga je ovo tržište diskriminirajuće za one tehnologije koje ne mogu brzo reagirati (pa se zbog toga niti ne pojavljuju na ovom tržištu). Spot tržište se odlikuje velikim varijacijama cijena koje do određene mjere prate veličinu odstupanja.

U RH SPOT tržište je organizirano na CROPEX-u od kraja travnja 2017. godine. Za uravnoteženje je zadužen Operator sustava (OS) koji energiju za uravnoteženje kupuje ugovaranjem pomoćnih usluga regulacije snage i frekvencije (P/f regulacija) te putem dodatnog ugovaranja s pružateljima usluge uravnoteženja. Nabava pomoćne usluge je više terminska nabava nego nabava u realnom vremenu i ne može se smatrati slobodnim tržištem jer ne postoji dovoljno konkurentnosti. Naime OS ugovara spremnost nekog proizvođača za sekundarnom ili tercijarnom P/f regulacijom. Ukoliko dođe do potrebe OS izravno šalje automatski ili ručni nalog za aktivaciju pričuve regulacijske snage. Razvojem konkurentnosti doći će do organiziranja tržišta pomoćnih usluga, a također i tržišta energije za uravnoteženje. Ova dva tržišta nisu nužno povezana, odnosno energiju za uravnoteženje mogu nuditi i ponuđači koji nisu ugovorili s OPS-om pomoćne usluge. Daljnjim razvojem tržišta može se očekivati i pojava efikasnog spot tržišta na kojemu će tržišni sudionici moći nabavljati energiju koja im nedostaje za ispunjenje plana i tako izbjeci plaćanje velikih penala za neuravnoteženost plana i ostvarenja.

4. UPRAVLJANJE ENERGIJOM U INDUSTRIJI

Upravljanje energijom u industriji je efikasno, ekonomično i održivo korištenje energije za potrebe industrijskog procesa. Usporedo s uvođenjem tržišta energije te razvojem naprednih mreža, razvijale su se strategije upravljanja energijom u industriji. Upravljanje energijom u industriji podjednako motivira i opskrbu i potrošnju.

Sa stajališta EES-a, industrijski potrošači su razmjerno veliki pojedinačni i koncentrirani potrošači električne energije te je njihov utjecaj na stabilnost EES-a značajan. S druge pak strane, potrošnja električne energije je ključna sastavnica u velikom broju industrijskih subjekata (npr. u proizvodnji papira i celuloze [6]). Sa stajališta OS, upravljanje energijom na mjestu potrošnje (upravljanje potražnjom za energijom) omogućava dodatni način održavanja balansa između proizvodnje i potrošnje električne energije. Tradicionalna strategija održavanja balansa **prilagodavanjem proizvodnje potrošnji** se proširuje s novom paradigmom „prilagodavanje potrošnje proizvodnji“ (proizlazi iz sveobuhvatne evolucije EES-a). Mogućnost utjecanja na profil potrošnje bez narušavanja ciljanog učinka (profitabilnost od bazne djelatnosti) te pri tom ostvarivanja dodatnih profita je neosporno privlačna mogućnost korisnicima industrijskih postrojenja. Oba aspekta na korištenje električne energije u industriji opravdavaju vrlo veliku važnost provođenja mjera upravljanja energijom. Imajući u vidu način dobave (iz sustava javne opskrbe, kupnjom na tržištu ili pak iz vlastite proizvodnje) odnosno način korištenja, upravljanje energijom u industriji se može promatrati kroz dva aspekta: **upravljanje dobavom energije** („*Supply Management*“, *SM*) i **upravljanje potražnjom** („*Demand Side Management*“, *DSM*). Veza između ova dva pojma slikovito se može ukratko opisati: upravljanje potražnjom se tiče potrošnje, a upravljanje dobavom je proizvodnja ili nabava energije. Problem upravljanja energijom je optimizacijski problem sa stohastičkim varijablama kojeg čini nekoliko problema: problem investicijskog odlučivanja; optimalne veličine pogona te optimalne strategije rada.

4.1. Upravljanje dobavom

Upravljanje dobavom energije podrazumijeva upravljanje procesima nabave energije na otvorenom tržištu, proizvodnje u vlastitim pogonima ili pak izravnu dobavu od proizvođača. Kada se govori o industriji s aspekta dobave energije treba uvijek razmišljati o više vektorskom energetsom profilu potrošnje: električna energija, toplinska energija (u različitim pojavnim oblicima), mehanička energija, rashladna energija i dr. Upravljanje dobavom se može promatrati i u kontekstu upravljanja potražnjom, no slobodno tržište energenata otvara nove mogućnosti korisnicima tako da se kroz proces ugovaranja i nabave energije u kombinaciji s vlastitom proizvodnjom može dodatno povećati prihodi od djelatnosti,

³ Istinsko tržište bi bilo ono gdje bi se u trenutku nastanka neravnoteže gotovo trenutno postigao sporazum o isporuci te provela sama isporuka.

odnosno povećati sigurnost pogona. Upravljanje dobavom ima dva aspekta: **tržišna dobava** koja podrazumijeva sudjelovanje na tržištu energenata kroz: izbor opskrbljivača, sudjelovanje na tržištu energije kao kupac i sudjelovanje na tržištu usluga te **nezavisna dobava** koja podrazumijeva proizvodnju u vlastitim pogonima. Rješavanje dugoročnog izbora strategije dobave (izbor opskrbljivača, sudjelovanje na tržištu energije ili usluga) i kratkoročnih operativnih strategija (nominacija snage opterećenja, angažiranje vlastitih izvora) uvažavajući ograničenja industrijskog postrojenja (vrijednost narudžbe, rokovi, zakašnjenje, gubitak proizvodnje) je u osnovi višekriterijski stohastički optimalizacijski problem. U ovom radu se neće detaljno obrađivati tema upravljanja dobavom.

4.2. Upravljanje potražnjom

Upravljanje potražnjom je pojam koji se u literaturi koristi gotovo 40-tak godina i predstavlja skup svih mjera s ciljem smanjenja potražnje za električnom energijom, a samim tim i potrošnjom električne energije na mjestu korištenja. Pojam potražnja je ekvivalentan sa snagom opterećenja trošila kojom opterećuju EES. Smanjenje opterećenja odnosno potražnje ne znači nužno i smanjenje ukupne potrošnje energije u nekom vremenskom periodu. U stranoj literaturi koriste se pojam „Demand Side Managment“ (DSM), dakle upravljanje potražnjom na mjestu korištenja električne energije. Prema [6], DSM su razne aktivnosti s ciljem utjecanja i mijenjanja načina korištenja električne energije kako bi se oblikovao zadovoljavajući profil potrošnje električne energije kod krajnjeg korisnika. Cilj DSM je kreirati odgovarajući profil potrošnje koji zadovoljava potrebe kupca (ne umanjuje svrhu korištenja) odnosno zadržava produktivnosti. Slično u [7], DSM se definira kao skupa međusobno povezanih fleksibilnih programa koja krajnjem kupcu omogućavaju veću ulogu u pomaku potražnje za električnom energijom u periodu vršnih opterećenja i sveukupnog smanjenja potrošnje električne energije. U [8] se jednostavno navodi, da DSM uključuje **sve** što se čini na strani potrošnje električne energije od promjene klasičnih žarulja s kompaktnim fluorescentnom rasvjetom do sofisticiranih dinamičkih sustava upravljanja potrošnjom.

Nešto drugačija definicija DSM je u [9], gdje se odgovornost za DSM prebacuje na operatera mrežom. Dakle, referenca navodi da se DSM koristi s ciljem smanjenja potrošnje energije i poboljšanja sveukupne efikasnosti korištenja električne energije kroz provedbu raznih politika i postupaka koji kontroliraju potražnju. DSM je obično zadatak energetske tvrtke radi smanjenja ili potpunog uklanjanja vršnog opterećenja, čime se odgađa ugradnja novih kapaciteta i distribucijskih objekata. Uobičajene metode za DSM su: kombinacija visoke učinkovite proizvodnje, smanjenja vršnog opterećenja, preraspodjela vršnog opterećenja kao i operativni postupci koji olakšavaju učinkovito korištenje električne energije.

Do nedavno pod pojmom DSM se smatrao jednostavno smanjenje vršnog opterećenja kod korisnika odnosno izravnavanje krivulje potrošnje [6]. Međutim vremenom se pod tim pojmom uvodi širi popis mjera koji uključuje opće smanjenje potrošnje. Stoga se govori da DSM ima dvije ključne sastavnice: **energetska efikasnost** te **odziv potražnje** („Demand Response“, DR).

4.3. Mjere energetske efikasnosti

Primjena mjera energetske efikasnosti najbrže donosi rezultate. Uređaji i trošila se zamjenjuju s istim ili sličnim ali efikasnijim proizvodima. Uz isti učinak, potrošnja energije se smanjuje. Primjeri u industriji bi bili:

- kotlovi - bolja izolacija, bolje održavanje,
- parni sustavi – bolja izolacija, održavanje, korištenje povrata kondenzata, korištenje energetske oporabe otpadne topline, bolja regulacija,
- rasvjeta - zamjena klasičnih rasvjetnih tijela s fluorescentnim rasvjetama, održavanje visoke refleksivnosti zidova,
- elektromotorni pogoni - korištenje efikasnijih motora, korištenje pretvarača napona i frekvencije za regulaciju,
- kompresori - korištenje sustava za oporabu topline, smanjiti temperaturu ulaznog zraka, održavanje,
- visokoučinkovita proizvodnja električne energije i topline u jedinstvenom ciklusu – kogeneracija,
- kompenzacija jalove energije.

4.4. Odziv potražnje

Odziv potražnje se ponegdje izravno poistovjećuje sa sustavima upravljanja potrošnjom (*Load Managment, LM*), kao u [9] gdje se naglašava sličnost i razlika od mehanizama dinamičkog odziva (*Dynamic Demand*). Prema [9], DR je mehanizam kojim se upravlja potražnjom za električnom snagom kod krajnjeg korisnika kao **odgovor na vanjske poticaje** npr. cijene električne energije na tržištu. Za razliku od DR koji reagira tek na podražaje iz mreže (reakcija je na strani korisnika), mehanizam dinamičkog odziva reagira automatski (temeljem ugrađenih osjetila ili direktnog naloga). Prema [10], [11] odziv potražnje (DR) se može definirati kao promjena načina korištenja električne energije od strane krajnjih korisnika od uobičajenih obrazaca potrošnje kao odgovor na promjene u cijeni električne energije tijekom

vremena. Nadalje, DR se također mogu definirati kao financijski poticaji namijenjeni da induciraju smanjenje korištenja električne energije tijekom visoke tržišne cijene ili kada je pouzdanost sustava ugrožena. DR uključuje sve namjerne promjene obrasca potrošnje električne energije od strane krajnjeg kupca.

4.5. Primjeri programa DR-a

U praksi postoji nekoliko različitih programa DR. Programi se dijele na tarifne i poticajne programe [11].

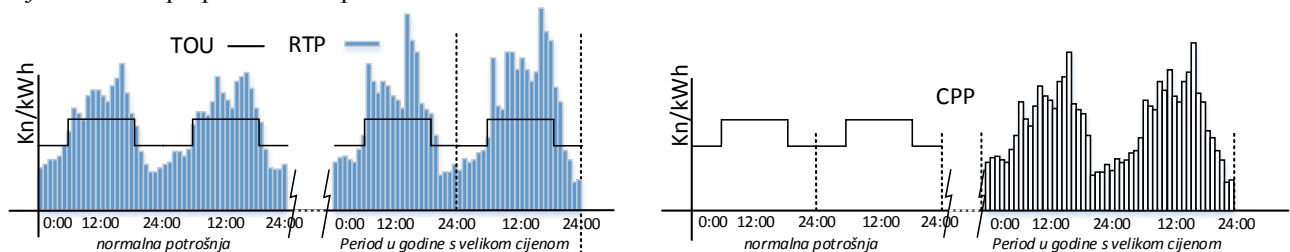
4.5.1. Tarifni programi

Tarifni programi se nazivaju i na tarifnom sustavu utemeljeni modeli („*Price-Based Demand Respond*“; PB-DR). Ova skupina programa se bazira na korisnikovom prilagođavanju korištenja električne energije sukladno kretanju maloprodajnih cijena na tržištu električne energije uključujući:

- **Više-tarifni sustav** („*Time of Use*“, TOU). Na maloprodajnom tržištu, električna energija se, za sada, gotovo redovno prodaje kroz formu statičnih, više-tarifnih sustava. Tarife su jedinične vrijednosti električne energije i usluga koju maloprodajni kupci plaćaju opskrbljivačima za usluge u određenom vremenskom periodu. Na našim prostorima uvriježen je dvo-tarifni sustav: niža (noćna) i viša (dnevna) tarifa. Nadalje, pored jedinične cijene za energiju, tarifni sustav sadrži i druge stavke kao što su naknada za angažiranu snagu, jalovu energiju i dr. Korištenjem više-tarifnog sustava nastoji se preslikati vremenski profil cijena na veleprodajnom tržištu na maloprodajno tržište [10]. Obzirom na namjenu te mogućnosti očitavanja potrošnje, kupcima se uz određene uvjete pruža izbor različitih podvarijanti tarifnog sustava (modeli: za industriju, za kućanstva, i sl.) Prilagođavanje profila potrošnje kupaca, kroz dugoročno planiranje potrošnje, profilu zadanog ili izabranog tarifnog sustava je baza ovog DR programa. Profil tarifnih cijena je statičan i ne mijenja se često iz razloga zaštite najmanjih potrošača od rizika tržišta. Međutim jačanjem utjecaja tržišnih mehanizama, neki opskrbljivači uvode više od dvije tarife, kako bi prije svega smanjili vlastiti rizik od promjenjivosti cijena, a s druge pak strane klijentima ponudili više mogućnosti. Korist od uvođenja više-tarifnog sustava posebno dolazi do izražaja ako se kombinira s preraspodjelom vršnog opterećenja [12].
- **Cijene u realnom vremenu** („*Real Time Pricing*“, RTP). Primjena profila veleprodajnih cijena na razinu maloprodaje je tehnički složen ali u budućnosti neizbježan način obračuna potrošnje električne energije za pojedine kupce. Prema ovom programu, maloprodajne cijene prate promjenjivost cijena na vele-tržištu. RTP se još nazivaju i dinamične tarife [13]. Kupci u ovom programu dobivaju informaciju o satnoj vrijednosti cijena za dan unaprijed ili pak sat unaprijed kako bi mogli prilagoditi svoj profil potrošnje. Mnogi se slažu da je primjena realnih tarifa najefikasniji način DR programa. Korisnici RTP programa su uglavnom veliki potrošači koji raspolažu znanjem i tehnologijom upravljanja potrošnjom u uvjetima dinamičnosti. Međutim provođenje ovog programa podrazumijeva značajna ulaganja u infrastrukturu elektroenergetskog sustava, kao što su naprednih brojila [13].
- **Cijene vršnog opterećenja** („*Critical Peak Pricing*“, CPP) je kombinacija statičnog (TOU) i dinamičnog (RTP) tarifnog modela. Naime CPP, većim dijelom godine, ima isti profil kao TOU osim u danima ekstremno velike cijene el. energije kada se primjenjuju dinamičke tarife kao što je prikazano na Slici 1. [11].

4.5.2. Poticajni programi

Poticajni programi („*Incentive-based Demand Respond*“; IB-DR) se još nazivaju na pouzdanosti utemeljeni programi („*Reliability-Based DR*“). IB-DR su programi koje provode operatori mreže s ciljem da potaknu smanjenje potrošnje električne energije nudeći korisniku mreže razne financijske poticaje koji su nezavisni od maloprodajnih cijena. Ovaj program uključuje sporazumne odnose prema kojima se kupca nagrađuje za provedene mjere smanjenja potrošnje ali i kažnjava ukoliko propusti izvršiti preuzete obveze.



Slika 1: TOU, RTP i CPP programi DR-a

Program se provodi u slučajevima kada je smanjenje potrošnje potrebno jer je pouzdanost opskrbe sustava ugrožena (tercijarna regulacija snage) ili kada je cijena na tržištu prevelika. Neke od tih metoda su opisane u nastavku.

- **Direktna kontrola potrošnje** je klasični program upravljanja potrošnjom koji organizira i provodi operater mreže, a za tu uslugu korisnik mreže prima određenu naknadu [10], [11]. Operater ovim ima mogućnost i pravo, nakon kratke obavijesti, daljinski isključiti potrošnju. Program se najčešće provodi kako bi se izbjeglo preveliko vršno opterećenje ili u slučajevima koji mogu dovesti do raspada mreže. IB-DR se gotovo isključivo ugovara sa rezidencijalnim potrošačima. Industrija nije pogodno okruženje jer su mogući nekontrolirani gubici proizvodnje.
- **Usluge smanjenja potrošnje na zahtjev.** Za razliku od prethodne mjere, kupci sami smanjuju ili isključuju vlastitu potrošnju. Poticaj je integriran u tekuću tarifu u obliku popusta ili kredita temeljem korisničke privole (obeznanja, suglasnosti) da će potrošnju smanjiti na traženu vrijednost na zahtjev (tijekom zagušenja u mreži). Ne ispunjenje preuzetih obveza može povući za sobom financijske kazne. Ovu uslugu ugovaraju i industrijski potrošači.
- **Licitacija potražnjom odnosno smanjenjem potrošnje** („*Demand Bidding*“). Ovaj program ima relativnu nisku razinu rizika jer kupac dobrovoljno licitira na tržištu svoju spremnost za smanjenjem potrošnje tijekom idućeg dana. Ukoliko ponuda bude prihvaćena, kupac mora ispuniti ponuđenu uslugu ili riskira penale [10].
- **Odziv na hitnu potražnju za smanjenjem potrošnje** je slična usluga kao i smanjenje potrošnje na zahtjev s tim da se ova odnosi na smanjenje odnosno isključenje potrošnje u slučaju nužde radi sprječavanja raspada sustava.
- **Ekonomске metode** motiviraju krajnjeg korisnika na smanjenje potrošnje kad god je cijena električne energije visoka na spot tržištu [11]. Usluga je zastupljena kako na tržištu energije tako i na tržištu kapaciteta [10]. Naime smanjenje snage potrošnje u definiranom budućem razdoblju ima tržišni ekvivalent povećanju raspoložive snage proizvodnih kapaciteta. Sudionici ovog programa unaprijed primaju naknadu za rezervaciju kapaciteta ili penale ukoliko ne ispune preuzetu obvezu.
- **DR program pomoćnih usluga.** Kao što smo vidjeli u prethodnom poglavlju problematika uravnoteženja se rješava ili sustavno ili tržišno. Kod sustavnog pristupa operater sustava ugovora pomoćne usluge kojima osigurava stabilnost pogona. Obzirom da je brzina promjene snage potrošnje veća od brzina promjene snage proizvodnje, a na održavanje stabilnosti imaju isti efekt, DR može imati značajnu ulogu u pružanju pomoćnih usluga (održavanje frekvencije). Slično kao kod proizvodnih postrojenja koje pružaju pomoćnu uslugu, tako i DR pomoćne usluge se naplaćuju kroz rezervaciju plus realizirano smanjenje.

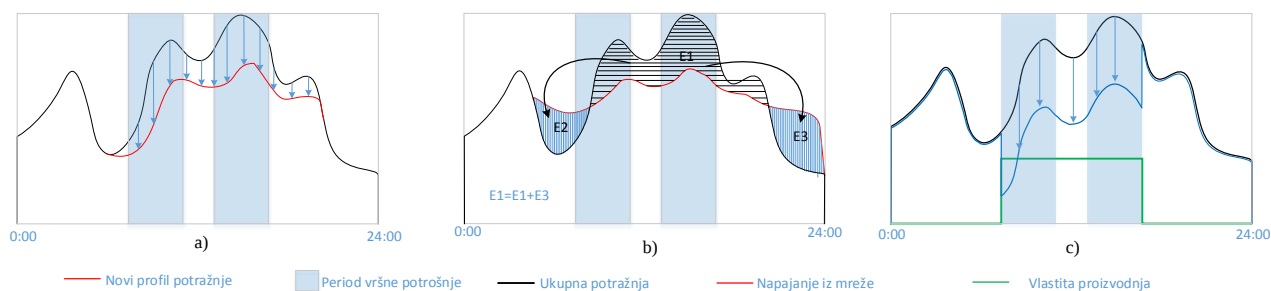
4.6. Strategije upravljanja potrošnjom

DSM strategije su mjere koje korisnik pogona poduzima kod upravljanja potražnjom. Tri su temeljne strategije odnosno pristupa korisnika na vanjske ili unutrašnje poticaje [10], [14]. **Prva strategija** je smanjiti potrošnju tijekom perioda vršnog opterećenja u mreži odnosno tijekom trajanja visoke cijene električne energije. Ova strategija znači gubitak učinka, svjesno žrtvujući dio potrošnje. Strategija se u literaturi naziva „*Peak shedding*“, [6] ili „*Load shedding*“ u [15]. Strategija prikazana na Slici 2a. nije zastupljena u industriji osim u slučajevima kad dobit od provođenja metode donosi veći financijski učinak od nastale štete zbog gubitka proizvodnje. Smanjivanje potrošnje rijetko prolazi bez smanjenja učinka, stoga popis prioriteta određuje redoslijed isključivanja ili smanjivanja snage potrošnje. U praksi postoje namjenski sustavi za upravljanje potražnjom odnosno snagom potrošnje⁴ i to u dvije inačice: brza i spora. Brzo upravljanje potrošnjom („*Fast Load Managment*“, *FLM*) se koristi u mikromrežama kada je zbog iznenadnog kvara ili prorade vanjske zaštite mikromreža prelazi u otočni pogon i potrebno je održati radnu frekvenciju. Drugi oblik je sporo upravljanje potrošnjom („*Slow Load Managment*“) koji se koristi za smanjenje vršnog opterećenja. U ovu strategiju spada i primjena energetske efikasnosti. Strategija smanjenja potrošnje se može koristiti i bez negativnog utjecaja na ukupni učinak na način da se tijekom visoke tarife smanji snaga potrošnje, a tijekom niske tarife potrošnja poveća preko nominalne kao bi se „nadoknadilo“ propušteni učinak (količina korisnog rada). Ovakva promjena u dinamici vrlo često podrazumijeva postojanje skladišta koji će preuzeti viškove proizvodnje ili nadoknaditi proizvodnju.

Druga strategija je preraspodjela potrošnje izvan perioda visoke tarife (vršne potrošnje) u period niske tarife, ali po mogućnosti bez utjecaja na sumarni učinak. U industriji ova strategija se posebno razmatra i primjenjiva je samo na dio procesa koji se odvijaju neovisno od drugih odnosno neosjetljivi su na određeno vrijeme provođenja. U literaturi ovo se metoda naziva i „*Peak shaving*“ [6] odnosno „*Load shifting*“ [7], [15], Slika 2b.

Treća strategija je vlastita proizvodnja električne energije u vremenu visoke tarife. Ova strategija je posebno interesantna za industriju. Kao izvori energije koriste se konvencionalna goriva kao što su prirodni plin ili dizel gorive te nekonvencionalna što su sunčeva energija, energija vjetra, bioplin, biomasa ili otpad koji je nastao iz procesa proizvodnje [15]. Više o ovoj temi je objašnjeno u poglavlju o upravljanju izvorima. U ovu kategoriju svakako spada vlastita proizvodnja energije, kao što je ilustrirano na Slici 2c.

⁴ Bitno je imati na umu da upravljanje potrošnjom u ovom kontekstu nije isto što i regulacija snage koja izravna posljedica zahtjeve tehnologije.



Slika 2: Strategija upravljanja potrošnjom

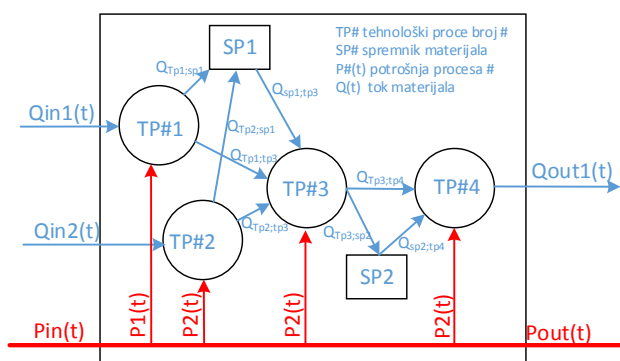
4.6.1. Odabir strategije upravljanja potražnjom i upravljanja potrošnjom u industriji

Pod strategijom upravljanja potražnjom podrazumijevamo izbor skupa mjera koje korisnik industrijskog postrojenja koristi kako bi snagu potrošnje održao na optimalnoj razini. Na izbor mjera prvenstveno utječe vrsta industrijskog postrojenja. Kao što je u prethodnom poglavlju rečeno, tri su osnovne strategije: smanjiti snagu potrošnje, premjesti vršnu potrošnju u period niže tarife i vlastita proizvodnja.

Industrijsko okruženje je procesno orijentirana arhitektura u kojoj međusobno ovisno koegzistiraju tri tehnološke platforme: procesna tehnologija (PT), energetska tehnologija (ET) te informacijsko-komunikacijska tehnologija (ICT). Procesna tehnologija je stožerna tehnologija i određuje svrhu i rad ostalih. Energetska tehnologija u industrijskom okruženju zadužena je za dobavu i/ili proizvodnju te distribuciju energije. Naposljetku, treća sastavnica je informacijsko-komunikacijska tehnologija koja omogućava upravljanje tokovima kako robe, materijala ili usluga tako i energije. Provedba analize mogućnosti primjene određene strategije su odvija u pet koraka kako slijede:

Prvi korak je prikupljanje podataka o potrošnji energije tijekom proizvodnih ciklusa [6]. O gustoći podataka ovisi kvaliteta analize. Obzirom da je 15-minutni interval jedinični interval za obračun električne energije, praktično je izabrati taj vremenski interval i za druge vrste energenata. Podaci o potrošnji se prikazuju kao vremenski dijagram ili kao krivulja trajanja opterećenja. Ova potonja je praktična za korištenje jer na vidljiv način indicira stanje maksimalne potrošnje (amplituda i dužina trajanja).

Drugi korak je dekompozicija industrijskog postrojenja u **proces** i **podproces**, [6]. Na Slici 3 je prikazan procesni model industrijskog postrojenja [16]. Komponente modela su *proces* i *spremišta*. Svaku komponentu karakterizira gradijent toka materijala $Q(t)$, energije $P(t)$ te vremenski dijagram angažmana $\delta(t)$ ⁵.



Slika 3: Procesni model industrijskog postrojenja

Procesi se (gledano sa energetskeg stajališta) mogu tretirati kao nadomjesna **trošila** neke snage $P(t)$ i plana angažmana $\delta(t)$. Procesi odnosno trošila mogu se klasificirati u nekoliko grupa [16]:

- **Kritični procesi/trošila** su takvi procesi odnosno trošila koja ni po koju cijenu **ne smiju biti isključena**.
- **Vezani procesi** su procesi koji u tehnološkom slijedu ovise jedan o drugom. Takvi procesi se ne mogu razdvajati niti smanjivati potrošnju energije jednog procesa, a to nema utjecaja na drugi.
- **Procesi sa skladištima** su procesi koji unutar svojih granica ima skladišta polu-proizvoda. Ispravno odabrana skladišta mogu omogućiti pomicanje vršne potrošnje ili smanjenje potrošnje u periodu visoke tarife. Skladišta služe za privremeni pohranu polu-proizvoda umjesto slanja u (pod)proces koji je predmet mjera upravljanja potražnjom.

⁵ $\delta(t) = \{0,1\}$. Ako postrojenje radi je 1, inače je 0.

- **Upravljivi procesi/trošila** su procesi čijom se potrošnjom može na bilo koji način upravljati po intenzitetu ili vremenu angažiranja. Takva potrošnja je podložna mjerama DSM-a. Upravljivost je svojstvo koje ponajviše proizlazi iz opremljenosti tehnološkog procesa tehničkim rješenjima za upravljanje (pretvarači napona i frekvencije, prekidači i sklopnici za daljinski uklop).
- **Neupravljivi procesi** odnosno trošila, su takvi procesi koji, što iz razloga (ne)opremljenosti tehničkim rješenjima ili zbog tehnoloških ograničenja, ne mogu biti upravljani (npr. proces taljenja željeza u indukcionoj peći. Smanjenje snage taljenja ili prekid može prouzrokovati tehnološke gubitke).
- **Raspodjeljivi procesi odnosno** trošila su ona čiji se angažman iz **tehnoloških razloga** može vremenski pomaknuti tijekom proizvodnog ciklusa (dan, tjedan, mjesec ili kvartal).
- **Neraspodjeljivi procesi** su oni procesi čiji se angažman nalazi na kritičnom putu cjelokupnog procesa. Dakle njegov pomak u vremenu prouzrokovao bi tehnološke gubitke.
- Posebnu kategoriju predstavljaju **skladišta**. Pod skladištima podrazumijevamo elemente sustava u kojima je moguće spremati toplinsku energiju, rashladnu energiju, električnu energiju ili pak tehnološki mediji. Korištenje skladišta u svrhu DSM je „peglanje“ krivulje opterećenja, smanjivanje vršnog opterećenja, popravljivanja faktora opterećenja H_{sr}/H_{max} .

Treći korak jest klasifikacija procesa u jednu od grupa: šaržni ili kontinuirani procesi. **Šaržni** procesi su procesi u kojima se aktivnost **unosa** robe, materijala, sirovina i energije (i informacija) odvija odvojeno od samog tehnološkog procesa odnosno od aktivnosti pražnjenja gotovog proizvoda ili poluproizvoda, otpada i energije. Primjeri šaržnih procesa su procesi u reaktorima gdje se reaktanti prvo unose, zatim započinje aktivacija i tijek procesa i na posljepku pražnjenje reaktora. Jednom započet proces se ne može prekinuti bez većih gubitaka. Taljenje čelika je primjer šaržnog procesa. **Kontinuirani** procesi su takvi procesi u kojima roba, sirovine, materijali i energija kontinuirano pristižu u proces istodobno dok traje sam proces kao i izlaz gotove robe ili polugotove robe, otpada i energije. Ovaj rad se ne bavi problematikom klasifikacije vrste procesa nego njihovim utjecajem na mjere DR-a. Klasifikacija procesa u prvu odnosno drugu kategoriju ponekad nije jednoznačna. Uvidom u oblik krivulje trajanja opterećenja može se donijeti odluka o klasifikaciji kako je to prikazano na Slici 8. Krivulja trajanja opterećenja kod šaržnih procesa ima vidljiv skok (pad) snage u relativno velikom dijelu vremenskog intervala. To znači da postoje periodi velike (trajanje šaržnog procesa) i periodi male potrošnje (punjenje ili pražnjenje šarže). S druge pak strane kontinuirani proces kroz najveći perioda rada ima relativno veliki faktor opterećenja H_{sr}/H_{max} . S tim u svezi vrijedi opće pravilo da su: **šaržni procesi** pogodni za primjenu mjere preraspodjele vršne potrošnje („Peak shifting“), a **kontinuirani procesi** pogodni za primjenu metode smanjenja potrošnje ili neke druge metode (energetska efikasnost, vlastita proizvodnja energije).

Četvrti korak je analiza stanja procesa i ograničenja. U ovom koraku detaljnije se analiziraju mogućnosti primjena mjera DR i DSM uz ograničenja [6]. Za šaržne procese:

- Analiza satnog rasporeda opterećenja: u koje sate pada puno opterećenje, smanjeno opterećenje ili pak stanje bez opterećenja. Analizu treba provesti statističkom obradom (izračun srednje vrijednosti i standardnog odstupanja).
- Nadalje treba analizirati koja ograničenja stoje nad pod-procesima ili cijelim procesom. Da li su procesi raspodjeljivi ili neraspodjeljivi? U slučaju ne-raspodjeljivih procesa, preraspodjela opterećenja nije moguća. Mora se primijeniti mjera energetske efikasnosti (smanjenje potrošnje uz isti učinak).
- Kod analize potrebno je imati na umu svojstva (pod)procesa kao što su vrijeme minimalnog i maksimalnog mirovanje odnosno pogona; gradijent pokretanja odnosno zaustavljanja procesa.
- Najvažniji ograničenje jest da tehnološki ukupni učinak mora ostati isti.

Za kontinuirane procese vrijedi slično kao i za šaržne: ako je proces vezan za određeni tehnološki ciklus, nije moguće primijeniti metodu smanjenja vršne potrošnje. Kao rješenje primjenjuje se mjere poboljšanja energetske efikasnosti.

Peti korak je određivanje potencijala za DSM. Potencijal DSM se može, kvalitativno iskazati slijedećim izrazima: smanjenje potražnje nekog energetske subjekta (industrijskog postrojenja); (1) i/ili smanjenje troška za potrošenu električnu energiju; (2).

$$\Delta P_{max} = \max_i \left(\sum_j \bar{P}_j \delta_j(t_i) \right) - \max_i \left(\sum_j \bar{P}_j \delta_j^*(t_i) \right) \quad (1)$$

$$\Delta T = \left[\sum_j \left(\sum_i \bar{P}_j \delta_j(t_i) c(t_i) \right) - \sum_j \left(\sum_i \bar{P}_j \delta_j^*(t_i) c(t_i) \right) \right] \Delta t \quad (2)$$

Pri čemu su:

- i, j , indeksi vremenskog intervala, odnosno procesa (ili skupina trošila).
- $\bar{P}_j$ srednja snaga procesa,
- $\delta_{(t_i)}$ angažmana procesa j prije primjene DSM-a. Vrijednosti funkcije su 0 ili 1.

$\delta_j^*(t_i)$ angažmana procesa j poslije primjene DSM-a. Vrijednosti funkcije su između 0 i 1.
 $c(t_i)$ cijena energenta (električne energije) tijekom promatranog razdoblja t_i .
 Δt trajanje obračunskog intervala (15 min ili 1h)

Smanjenje angažirane snage na dnevnoj bazi ima trenutni učinak na sustav ali i na potrošnju korisnika. Ovisno o vrsti ugovora za opskrbu, načinu obračuna te eventualno izabranom programu DSM, smanjenje angažirane snage na razini obračunskog intervala ima financijski (poticajni) učinak i na krajnjeg korisnika.

5. ZAKLJUČAK

Upravljanje energijom je od zajedničkog interesa kako za operatera sustava tako i korisnika. Industrijsko okruženje je posebno interesantno jer razina potrošnje i različitost angažiranih korisnih oblika energije omogućuju ne samo upravljanje potrošnjom nego i dobavom energije. Dobava energije podrazumijeva bilo koji način angažiranja proizvodnih resursa za potrebe krajnjeg korisnika. Zbog položaja i važnosti energije u industrijskom okruženju te dodatne vrijednosti koju unosi u predmetni proizvod, upravljanje energijom nije moguće bez interakcije s upravljanjem procesom. Nadalje ICT omogućavaju takvu kvalitetu sučelja prema vanjskim sustavima (tržište na kojem djeluje dotična industrija, tržište energenata, nadređeni sustavi upravljanja) da ih je nemoguće izostaviti iz vida kod razmatranja naprednih poslovnih okruženja. Po uzoru na napredne mreže („*Smart Grid*“), moguće je provesti integraciju procesne, energijske i informatičke tehnologije u jedinstven napredni, umreženi, sustav koji može osigurati optimalno korištenje imovine i proizvodnih resursa, održivu interakciju prema vanjskim sustavima i okolišu.

6. LITERATURA

- [1] European Commission: European SmartGrids Technology Platform: Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the future, http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo/index_en.html, 2006.
- [2] S. You, Y. Zong, H. W. Bindner, J. Lin, Y. Cai and Y. Song: Optimal dispatch of battery storage in an industrial microgrid with a mixed portfolio of renewables, Power System Technology (POWERCON), 2014
- [3] S. W. Illerhaus J. F. Verstege: Optimal operation of industrial IPPs considering load management strategies, Industry Applications Conference, 2000. Conference Record of the 2000 IEEE, Rome, 2000, pp. 901-908 vol.2.
- [4] D. Hernández-Joya, J. Martínez-Carballido: Strategies for energy management in industrial microgrids with a local cogeneration approach, Electronics, Communications and Computing (CONIELECOMP), 2013 International Conference on, Cholulu, 2013, pp. 17-20.
- [5] Hrvatski operator tržišta energije, “Pravila Organiziranja tržišta električne energije”, NN 121/15
- [6] Hrvatski Sabor, “Zakon o tržištu električne energije”, NN 22/13, 102/15
- [7] S. Esmailnajad, J. Sundquist: Demand Side Management in Swedish Industry, Master's Thesis within the Sustainable, 2014.
- [8] B. Davito; H. Tai; R. Uhlener: The smart grid and the promise of demand-side management, McKinsey on Smart Grid, 2010, 3: 8-44.
- [9] P. Palensky and D. Dietrich: Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads, in IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 7, no. 3, pp. 381-388, Aug. 2011.
- [10] SMB Smart Grid strategic Group (SG3): IEC Smart Grid Standardization Roadmap, June 2010, pp 84-86.
- [11] M.H. Albadi, E.F.El-Saadany: A Summary of demand response in electricity markets, Electric Power System Research Vol 78, pp1989-1996, 2008
- [12] B. Shen, G. Ghatikar, Z.Leo, J. Li, G. Wikler, P. Martin: The Role of Regulatory Reforms, market Changes, and Technology development to make demand response a viable resource in meeting energy challenges, Applied Energy, Vol 130, pp 814-823, 2014.
- [13] S-Ashok, R. Banerjee: Optimal Operation of Industrial cogeneration for Load Management, IEEE Transaction on Power System, Vol 18, No 2, May 2003
- [14] S. Buryk, D. Mead, S. Mourato, J. Torriti: Investigating preferences for dynamic electricity tariffs: The effect of environmental and system benefit disclosure Energy Policy, Vol 80, pp 180-195, 2015.
- [15] S. Ashok, R. Banerjee: Load Management applications for the industrial sector, Applied Energy, Vol 66, Iss 2, pp 105-111, June 2000.
- [16] S. Ashok, R. Banerjee: An Optimization Mode for Industrial Load Management, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 16. No. 4, pp 879-884, 2001.