



**Marko Lukičić**

Ericsson Nikola Tesla d.d., Zagreb, Hrvatska  
Ericsson Nikola Tesla d.d., Zagreb, Croatia

# M2M KOMUNIKACIJE U PRIMJENI NAPREDNIH ELEKTROENERGETSKIH MREŽA

## M2M COMMUNICATIONS IN SMART GRIDS

### Sažetak

Iako su na prvi pogled dva nespojiva područja, energetika i komunikacije svakako konvergiraju k istoj paradigmi s ciljem ostvarenja danas još uvijek uglavnom konceptualnih modela, poput naprednih elektroenergetskih mreža (Smart grid), ali i inteligentnih gradova, zgrada, kućanstava i drugog. Pri tome komunikacija među strojevima (Machine-to-Machine - M2M), odnosno uređajima, kao nova vrsta komunikacije, predstavlja komunikacijsku okosnicu za preobrazbu spomenutih konceptualnih modela, ali i pilot projekata u njihovu stvarnu realizaciju i širu primjenu.

Ovaj rad daje osvrt na M2M vrstu komunikacije i njene ključne razlike u odnosu na dosadašnju, tradicionalnu komunikaciju usmjerenu ka čovjeku. Kroz identifikaciju ključnih domena naprednih elektroenergetskih mreža, razmotrena je primjena M2M komunikacije za svaku od domena zasebno i predložena arhitektura inteligentnog upravljanja elektroenergetskom ili komunalnom mrežom zasnovana na M2M vrsti komunikacije.

### Abstract

Although at first glance it may look like two completely incompatible areas, energy and communications surely converge to the same paradigm – the paradigm of smart grids. Communications between machines (Machine-to-Machine - M2M), or devices - as a new type of communication – is the foundation for the implementation and wider application of smart grids (including smart metering, smart cities, smart buildings, smart homes, etc.).

This paper provides an overview of the M2M communications. Key differences from the previous, traditionally man-focused communications, is given as well. Through the identification and characterization of key smart grid domains, the application of M2M communications in smart grids is considered and an architecture of smart metering based on M2M communications proposed.

KLJUČNE RIJEČI:	KEY WORDS:
M2M komunikacija	M2M communication
Napredne elektroenergetske mreže	Smart grids
Konceptualni model	Conceptual model

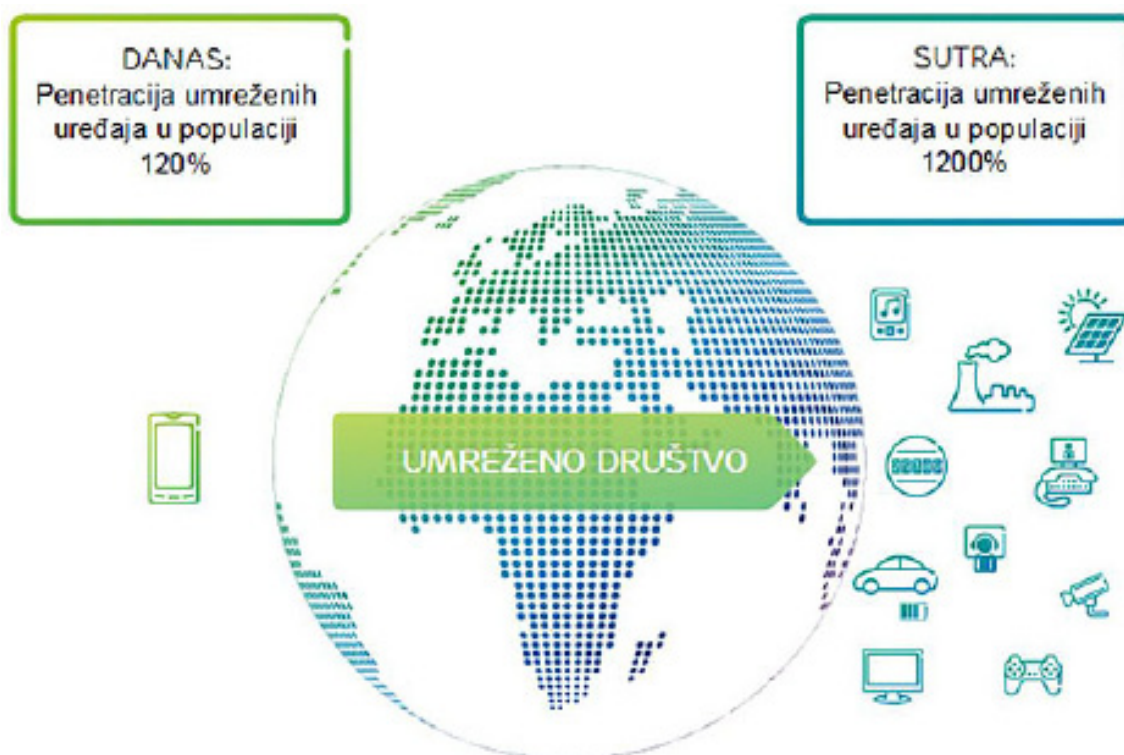
# 1 Uvod

Uspostavom globalne telekomunikacijske pokrivenosti, završena je velika faza tehnološkog razvoja civilizacije. Sada, kada bismo se retrospektivno osvrnuli na njen završetak, mogli bismo reći je tu fazu moguće obilježiti jednom riječi: pokrivenost. U telekomunikacijskom kontekstu, pokrivenost će podrazumijevati geografsko područje unutar kojega stanice mogu komunicirati konzumiranjem telekomunikacijskih usluga poput nepokretne telefonije, mobilne telekomunikacije, širokopojsnih usluga i plaćenih TV (pay TV) usluga, podatkovnih usluga i drugog.

Iako u ovim počecima ne izrazito primjetno, ali sasvim sigurno, uspostavom globalne pokrivenosti nedavno su potaknuti novi razvojni smjerovi koji već oslikavaju blago prepoznatljive konture nove faze tehnološkog razvoja. Uzimajući u obzir zajedničke dimenzije u kojima ti smjerovi egzistiraju, moguće je prepoznati povezivost i upravljivost (uz adekvatnu sigurnost) kao ključna obilježja nove faze tehnološkog razvoja civilizacije.

Povezivost se u prvome redu nadovezuje na pokrivenost. Bitno je napomenuti da je povezivost na elementarnoj razini već postignuta prošlom fazom, s jedne strane razvojem mobilnih komunikacijskih uređaja, tablet računala i drugih uređaja, a s druge strane razvojem komunikacijskih rješenja poput, u prošlom broju Revije predstavljenog Ericssonovog Business Communication Suita. Ipak, primjetno je da ovakva povezivost, u prvome redu ,stavlja čovjeka u ulogu sudionika u komunikaciji.

Kada se govori o povezivosti u okviru nove faze razvoja onda bi se za potrebe razlikovanja njenog shvaćanja u odnosu na prethodnu fazu mogao iskovati termin Povezivost2.0 koji iza sebe skriva zanimljiv trend: iskorak od mobilnog interneta prema ugradbenom internetu (slika 1). Naime, Ericsson procjenjuje da će do 2020. godine u svijetu postojati 50 milijardi umreženih uređaja. Drugim riječima, sve što će imati koristi od povezivosti, to će do 2020. godine i biti povezano. Ovakva, sveobuhvatnija povezivost ne isključuje čovjeka kao sudionika u komunikaciji već, dapače, generalizira definiciju sudionika u komunikaciji na način da ona sada obuhvaća sve što može biti povezano (osim ljudi i vozila, medicinske i druge osjetnike, uređaje za zabavu, strojeve, alate, postrojenja, kućanske alate i drugo).



Slika 1: Od mobilnog interneta prema ugradbenom internetu.

Ovakvom generalizacijom definicije sudionika u komunikaciji, stavljen je novi izazov pred novu razvojnu fazu. Ukoliko u nekoj komunikaciji sudjeluje barem jedan sudionik zasnovan na siliciju, tada će se ostvariti puni

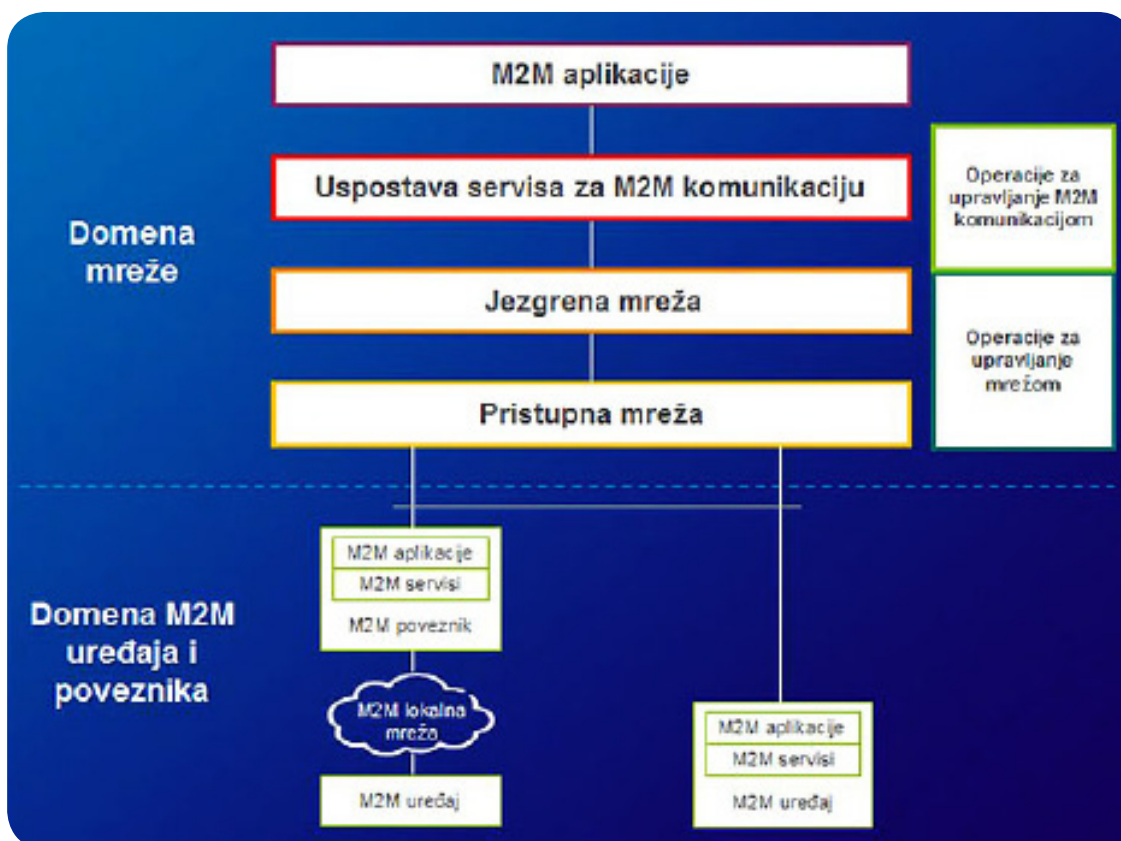
potencijal uspostavljene komunikacije tek ukoliko je ta komunikacija nadograđena sigurnim servisima za upravljanje tim sudionikom. Ovaj kritičan zahtjev postavljen pred povezivost iziskuje u prvome redu uspostavu standardiziranih servisa te potpornih protokola i tehnologija za udaljeno upravljanje uređajem, odnosno sudionikom, ali i za upravljanje uređajem kao pretplatnikom u samoj telekomunikacijskoj mreži.

Kompanija Ericsson Nikola Tesla je rano prepoznala razvojne smjerove nove faze tehnološkog razvoja te ih je podržala inovativnim rješenjima poput Ericsson Mobile Health sustava za udaljeni nadzor pacijenata, sudjelovanjem u međunarodnim projektima poput europskog HeERO pilot projekta čiji je cilj unaprjeđenje prometne i javne sigurnosti putem telekomunikacijske usluge e-Poziva, i brojnim drugim aktivnostima. U isto vrijeme, malo bi bilo reći da je i Ericsson korporacija prepoznala rane konture nove faze razvoja, već ona sudjeluje u njenom oblikovanju inovativnim rješenjima poput Device Connection Platforme, rješenja za uspostavu M2M komunikacije, povezivosti temeljenog na računarstvu u oblaku i drugih.

## 2 Machine-to-Machine komunikacija

S obzirom na činjenicu da u svijetu postoji mnogo više strojeva (pod strojem se u kontekstu M2M komunikacije podrazumijeva bilo koja stvar s mehaničkim, elektroničkim ili električnim značajkama koja sudjeluje u komunikaciji) nego ljudi i isto toliko puta više potencijalnih dodatnih vrijednosti od njihova međupovezivanja, zadnjih je godina M2M vrsta komunikacije pridobila pažnju pružatelja telekomunikacijskih usluga. Uspostavom M2M komunikacije omogućuje se međupovezivanje, umrežavanje i udaljeno upravljanje strojevima uporabom već pristupačnih, skalabilnih i pouzdanih tehnologija. Na temelju takve povezivosti, pružatelji telekomunikacijskih usluga mogu ponuditi nove usluge poput udaljenog očitavanja potrošnje električne energije i upravljanja energetsom učinkovitosti domaćinstava.

Za razliku od čovjek-prema-čovjeku vrste komunikacije, koja uglavnom uključuje glasovnu komunikaciju, poručivanje i pristup Internetu, M2M komunikacija zamišljena da povećava efikasnost i smanjuje troškove, prije svega povećanjem razine automatizacije razmijene i dijeljenja podataka između strojeva i pozadinskih potpornih sustava. Upravo će stoga uspostava standardiziranih servisa te potpornih protokola i tehnologija predstavljati glavne izazove u uspostavi nesmetanih tokova podataka u M2M komunikaciji [1].



Slika 2: Komponente arhitekture sustava za uspostavu M2M komunikacije (ETSI).

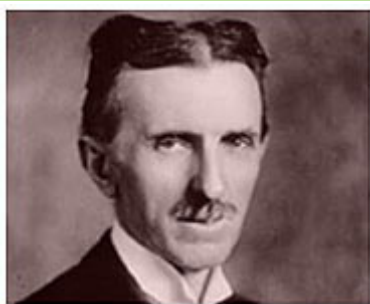
Europski institut za telekomunikacijske standarde (European Telecommunications Standards Institute - ETSI) predlaže sljedeće komponente arhitekture sustava za uspostavu M2M komunikacije (slika 2) [2]:

- » M2M uređaj koji kroz vlastitu M2M aplikaciju koristi M2M servise iz sloja za uspostavu M2M usluga,
- » M2M lokalna mreža za osiguranje povezivosti između M2M uređaja i M2M poveznika (Karakteristične tehnologije za uspostavu M2M lokalne mreže su: WiFi, bluetooth, IC...),
- » M2M poveznik kao posrednik između M2M uređaja i mrežne domene (Poveznik može ostvarivati specifične funkcionalnosti za upravljanje M2M uređajima na operativnoj razini poput provjere statusa pojedinog M2M uređaja, ponavljanja upita upućenog M2M uređaju u slučaju izostanka odgovora, i drugo.),
- » pristupna mreža koja dozvoljava domeni M2M uređaja i poveznika komunikaciju s jezgrenom mrežom. (Tipični primjeri pristupne mreže su: xDSL, HFC, satelit, GERAN, UTRAN, eUTRAN, W-LAN, WIMAX...),
- » jezgrena mreža koja putem IP ili drugih protokola osigurava upravljanje mrežom i uslugama, povezivanje s drugim mrežama, roaming (uporaba uređaja u tuđim mrežama), kontrolu kvalitete usluge i drugo,
- » uspostava servisa za M2M komunikaciju (sustav koji, putem otvorenih sučelja za programiranje, pruža zajedničke funkcionalnosti i usluge M2M aplikacijama),
- » M2M aplikacije putem kojih se krajnjim korisnicima pružaju specifične usluge zasnovane na M2M komunikaciji.

S obzirom na svoju namjenu da osigura povezivost u sveobuhvatnom smislu te riječi, platforme za uspostavu M2M komunikacije postaju neizostavna komponenta za povezivanje bilo kojeg uređaja za koji postoji potreba za komunikacijom s drugim uređajima.

### 3 M2M komunikacija u inteligentnim elektroenergetskim mrežama

Tradicionalne, postojeće nacionalne elektroenergetske infrastrukture građene su na principima i modelima predviđanja potražnje za električnom energijom koji datiraju još iz 19. stoljeća kada su, temeljem radova u kojima Nikola Tesla opisuje izmjeničnu struju te principa rada indukcijskih motora, izgrađene prve elektrane izmjenične električne struje [4,5]. Iako su te infrastrukture godinama zadovoljavale naše potrebe, porast potražnje za električnom energijom je činjenica koja tu infrastrukturu gura prema njezinim limitima te svakodnevno povećava vezane rizike u njihovoj veličini, broju i složenosti. Predviđanja pokazuju da će se ukupna svjetska potrošnja električne energije u periodu od 2008. godine do 2035. godine povećati za 53 posto. (prema International Energy Outlook 2011, U.S. Energy Information Administration) [3]. Nedavna su zamračenja Americi [6] i Italiji [7] ukazala da



Na kraju krajeva, ova centrala i nije tako važna. Ona je samo praktična primjena teorija koje već dugo poznajemo. Umjesto da si čestitamo trebali bismo se sramiti što je nismo sagradili prije. Pravi je posao tek pred nama. Moramo savladati udaljenost, osjetila registriraju samo ono što je u blizini.

nemogućnost ocjene i razumijevanja stanja elektroenergetskog sustava te kašnjenje u provođenju odgovarajućih korektivnih akcija nakon manjeg ispada u distribuciji električne energije, može dovesti do masovnog zamračenja. Iako se procjenjuje da su današnji energetske sustavi 99,97 posto pouzdani, ispadi u dostavi električnom energijom još uvijek, samo u Americi, uzrokuju i godišnji trošak u iznosu od 150 milijardi dolara (oko 500 dolara na svakog muškarca, ženu i dijete) [8].

Dodatne izazove pred energetske infrastrukture stavljaju i potrošači. U svojim nastojanjima da iskoriste sav potencijal koristi koje im nude sustavi poput električnih automobila, pametnih kuća i drugi, ali i da svoju poziciju u energetske sustavu učine mnogo aktivnijom mijenjajući pri tome svoju ulogu s tradicionalnog potrošača na dinamičkog potrošača-proizvođača, potrošači očekuju odgovarajuću tehnološku i operativnu podršku distributera električnom energijom. Oni ne očekuju više da će im potrošena električna energija biti naplaćena, nego da će im se i proizvedena električna energija dana u elektroenergetsku mrežu platiti po unaprijed reguliranim i dogovorenim tarifama.

I konačno, bitno je spomenuti europski trend deregulacije energetske sektora kojim države, u nastojanju da de-monopoliziraju i uspostave konkurentno energetske tržište, iziskuju od aktera u energetske tržištu od uspostave novih poslovnih modela pa sve do eventualnih prilagodbi pripadajućih elektroenergetskih infrastruktura [9,10,11].

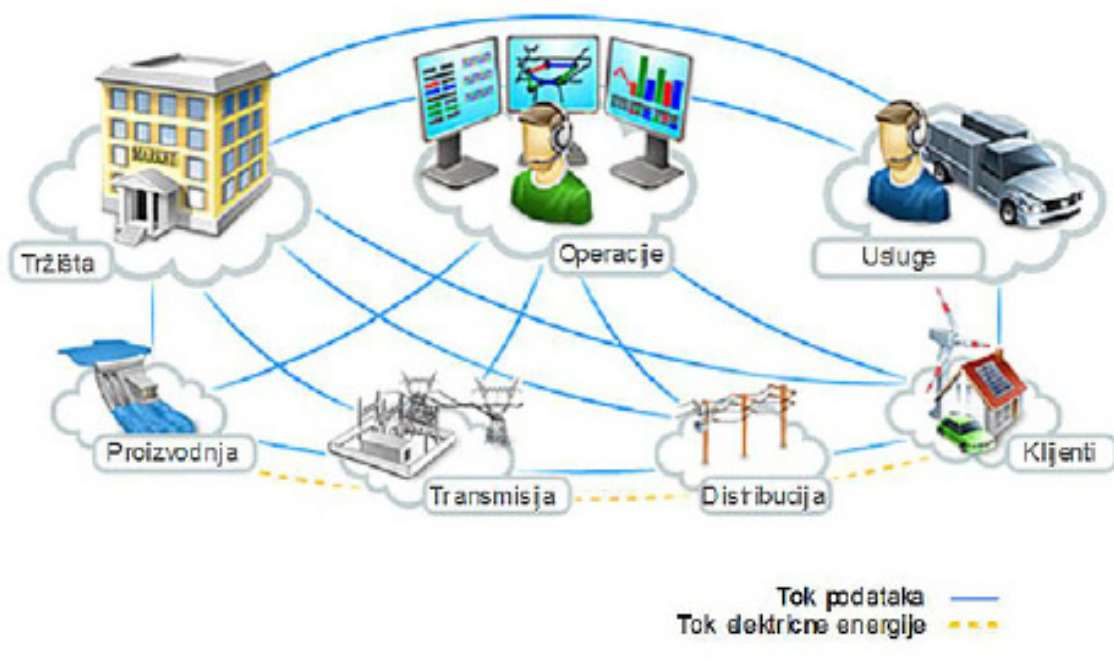
Rješavanje svih navedenih izazova vodi ka spajanju principa i koncepata dva izuzetna čovjeka koji su uprli temelje kako u energetici, tako i u komunikacijama: Nikole Tesle i Larsa Magnusa Ericssona. Upravo iz objedinjavanja njihovih vizija proizlazi modernizacija energetskog sustava postavljanjem u mrežu aktivnih elemenata za daljinsko praćenje i upravljanje elektroenergetskim sustavom te tokovima i potrošnjom električne struje, a s konačnim ciljem uspostave inteligentne mreže (Smart Grid) sposobne za adaptivnu i optimalnu proizvodnju, transmisiju, distribuciju i potrošnju električne energije.

Napredne elektroenergetske mreže su primjer primjene M2M komunikacije koja se provodi osjetnicima i drugim aktivnim elementima instrumentalizirane elektroenergetske mreže, a kojima se upravlja i u stvarnom vremenu prati niz pokazatelja energetskog sustava poput potrošnje električne energije, gubitaka u distribuciji električnom energijom, ispada u distribuciji, radnog učinka pojedinih dijelova mreže i mnogih drugih. Ti elementi, povezani u komunikacijsku mrežu s operativnim sustavima podrške, omogućuju slanje informacija u centralni informacijski sustav te nadzor i upravljivost cjelovitom elektroenergetskom mrežom sa jednog mjesta. Posjedovanje tih podataka u operativnim sustavima podrške će omogućiti uštede u proizvodnji, transmisiji, distribuciji i potrošnji električne energije, a daljnja integracija tih sustava s poslovnim sustavima podrške i postizanje veće poslovne efikasnosti te poboljšanje kvalitete usluga.

## 4 Konceptualni model inteligentnog upravljanja energetskom mrežom

Institut inženjera elektrotehnike i računarstva (Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE, [www.ieee.org](http://www.ieee.org)) i Američki nacionalni institut za standarde i tehnologije (National Institute of Standards and Technology - NIST, [www.nist.gov](http://www.nist.gov)) zajedničkim su naporima pokrenuli razvoj tehnoloških standarda za uspostavu naprednih elektroenergetskih mreža [12,13]. Ti dokumenti sadrže konceptualni model naprednih elektroenergetskih mreža zasnovan na sljedećim domenama:

- » masovna proizvodnja,
- » transmisija,
- » distribucija,
- » klijenti,
- » usluge,
- » operacije,
- » tržišta.



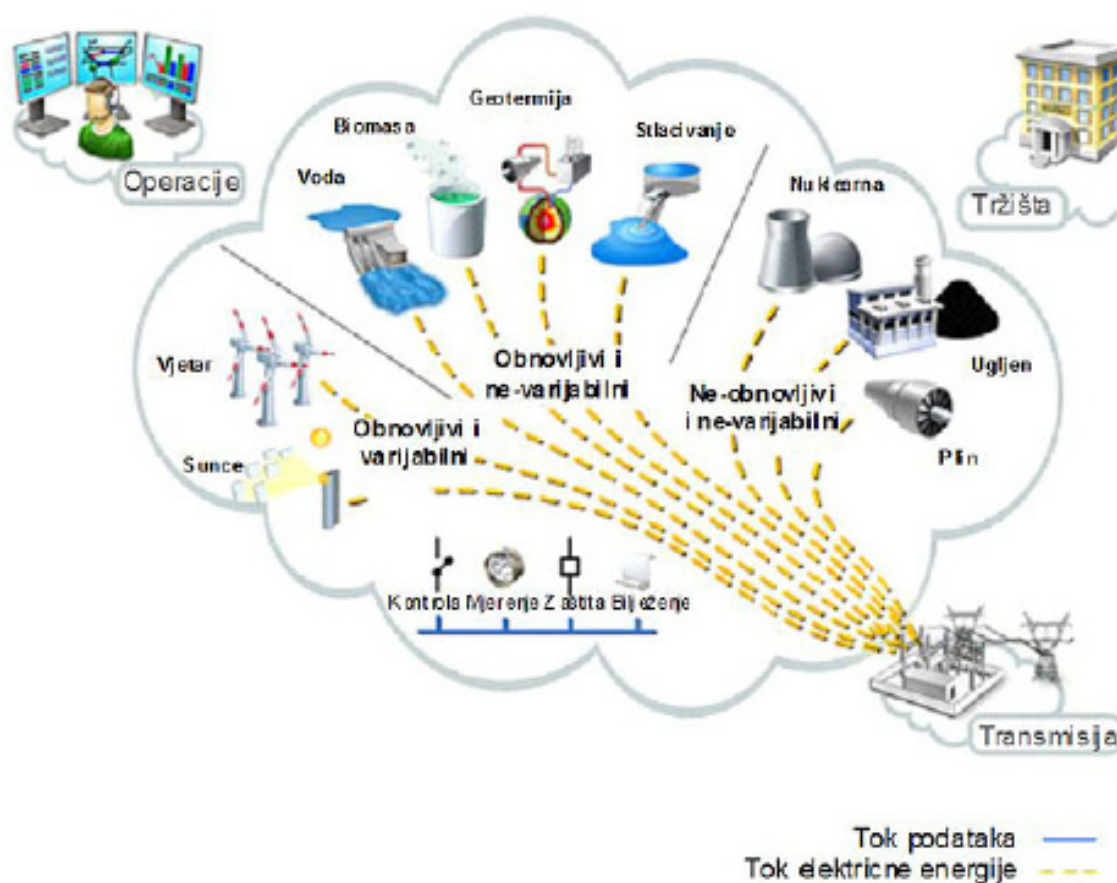
Slika 3: Konceptualni model inteligentnih energetskih mreža.

Slika 3 prikazuje tokove električne energije i uspostavljene komunikacijske kanale za razmjenu informacija među domenama okvirnog modela naprednih elektroenergetskih mreža. Svaka od domena sadrži odgovarajuće aktivne elemente napredne elektroenergetske mreže međusobno povezane dvosmjernim M2M komunikacijskim vezama i energetskim tokovima. IEEE dalje svaku od domena, koju predlaže NIST, detaljizira na fundamentalnim razinama: razini energije, komunikacijskoj razini i informacijsko-informatičkoj razini.

## 4.1 Masovna proizvodnja električne energije

Domenu masovne proizvodnje električne energije u prvom redu čine veliki generatori. S obzirom na dostupne izvore, dijelimo ih na generatore obnovljive i ne-obnovljive energije, a s obzirom na kontinuitet na varijabilne i ne-varijabilne (slika 4). Tipični obnovljivi varijabilni izvori energije su vjetar i sunce. Obnovljivim i nevarijabilnim izvorima se smatraju voda, biomasa, geotermija i stlačivanje, a neobnovljivim i nevarijabilnim nuklearno gorivo, ugljen i plin.

Bitna karakteristika naprednih elektroenergetskih mreža je mogućnost trenutnog odgovora proizvodnje električne energije na trenutnu potražnju i visoka preciznost u predviđanju buduće potražnje za električnom energijom. Faktori poput godišnjih doba, klimatskih promjena, vikenda i praznika, katastrofa, političkih uzroka različitih operativnih scenarija i kvarova bitno će utjecati na trenutnu proizvodnju kao i na predviđanje potrošnje električne energije [14]. Od 90tih godina prošloga stoljeća se umjetne neuronske mreže, primjenom faktora poput ranije navedenih [15], uspješno primjenjuju u predviđanju potražnje električne energije.



Slika 4 – Domena masovne proizvodnje električne energije.

Za provođenje trenutne prilagodbe proizvodnje u skladu s potražnjom električne energije i predviđanje buduće potražnje za električnom energijom potrebno je pojednostaviti, ubrzati i učiniti što efikasnijim upravljanje cjelokupnom masovnom proizvodnjom električne energije. To se, prije svega, postiže centraliziranim upravljanjem proizvodnjom električne energije kroz uspostavu četiri temeljna potporna mehanizma. Mehanizam za kontrolu proizvodnje osigurava praćenje pokazatelja poput radnog učinka

pojednog generatora energije. Ti pokazatelji daju informaciju o korištenim kapacitetima, ali i opterećenjima pojedinih pogona te time olakšavaju odlučivanje prilikom prilagodbe proizvodnje električne energije ili preusmjerenja proizvodnje s jednog generatora na drugi. Trenutačnu razliku između potražnje i proizvodnje osigurava mehanizam za mjerenje. No, isti mehanizam je iskoristiv za i procjenu i praćenje gubitaka u proizvodnji te identifikaciju kvarova. Upravo u slučajevima kvarova će zaštitni mehanizmi biti od presudne važnosti u lokalizaciji kvarova i sprečavanju njihova širenja i potencijalnih katastrofa. I konačno, mehanizam za bilježenje stanja cjelokupnog sustava proizvodnje će kontinuirano nuditi dragocjene podatke za daljnju analitiku s ciljem optimizacije i razvoja domene proizvodnje električne energije.

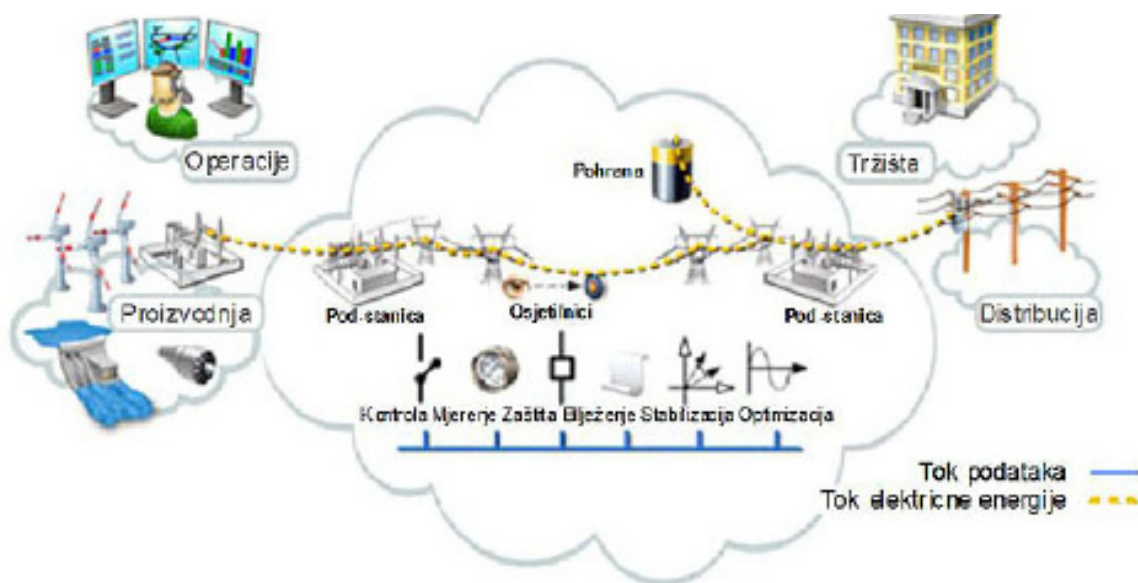
Svi navedeni mehanizmi imaju istu infrastrukturnu pretpostavku za njihovu realizaciju: uspostavljena komunikaciju između aktivnih i pasivnih elemenata elektrana (poput osjetnika ali i kompresora, rotora, turbina, kondenzatora, generatora pare, vodocijevnog sustava i drugog) i centralnog sustava za nadgledanje i upravljanje cjelokupnom domenom. Platforma za M2M komunikaciju će osigurati komunikaciju s tim uređajima. Dok će s jedne strane omogućiti praćenje i operativno upravljanje uređajima, poput jednostavnog dodavanja i aktiviranja novog ili deaktiviranja postojećeg uređaja bilo gdje u domeni masovne proizvodnje električne energije, s druge će strane ista platforma integracijom omogućiti pristup prikupljenim podacima i operativno te poslovno upravljanje uređajima kroz operativne i poslovne sustave podrške proizvođača električne energije. Sada se, slijedom ispunjene infrastrukturne pretpostavke, uspostavljaju temeljni potporni mehanizmi a time i centralizirano mjesto za trenutačnu prilagodbu proizvodnje potražnji za električnom energijom te precizno predviđanje i planiranje buduće potražnje za električnom energijom.

## 4.2 Transmisija

Domena transmisije električne energije je zadužena za masovni prijenos električne energije na velike udaljenosti putem transmisijskih prijenosnih linija. Domena transmisije povezuje masovnu proizvodnju električne energije s centrima potrošača energije napredne elektroenergetske mreže. Osnovne komponente domene su transformatorske stanice, rasklopna prijenosna postrojenja te zračni vodovi i kabeli. U kontekstu naprednih elektroenergetskih mreža, svakako su sastavni dio domene transmisije i pogoni za privremeno skladištenje energije i drugi alternativni distribuirani izvori energije.

Temeljni mehanizmi prisutni u masovnoj proizvodnji električne energije su, u njihovom općenitom smislu, prisutni i u domeni transmisije (slika 5). Ipak, uz njih postoje još dva mehanizma za stabilizaciju i optimizaciju čija je osnovna zadaća:

- » angažiranje proizvodnih objekata u području transmisije i aktivacija spojnih vodova s drugim mrežama,
- » osiguravanje energije za pokriće gubitaka u prijenosnoj mreži i energije za uravnoteženje,
- » kontinuitet i pouzdanost sustava opskrbe električnom energijom te ispravna koordinacija sustava proizvodnje, prijenosa i distribucije, te
- » održavanje parametara kvalitete električne energije.



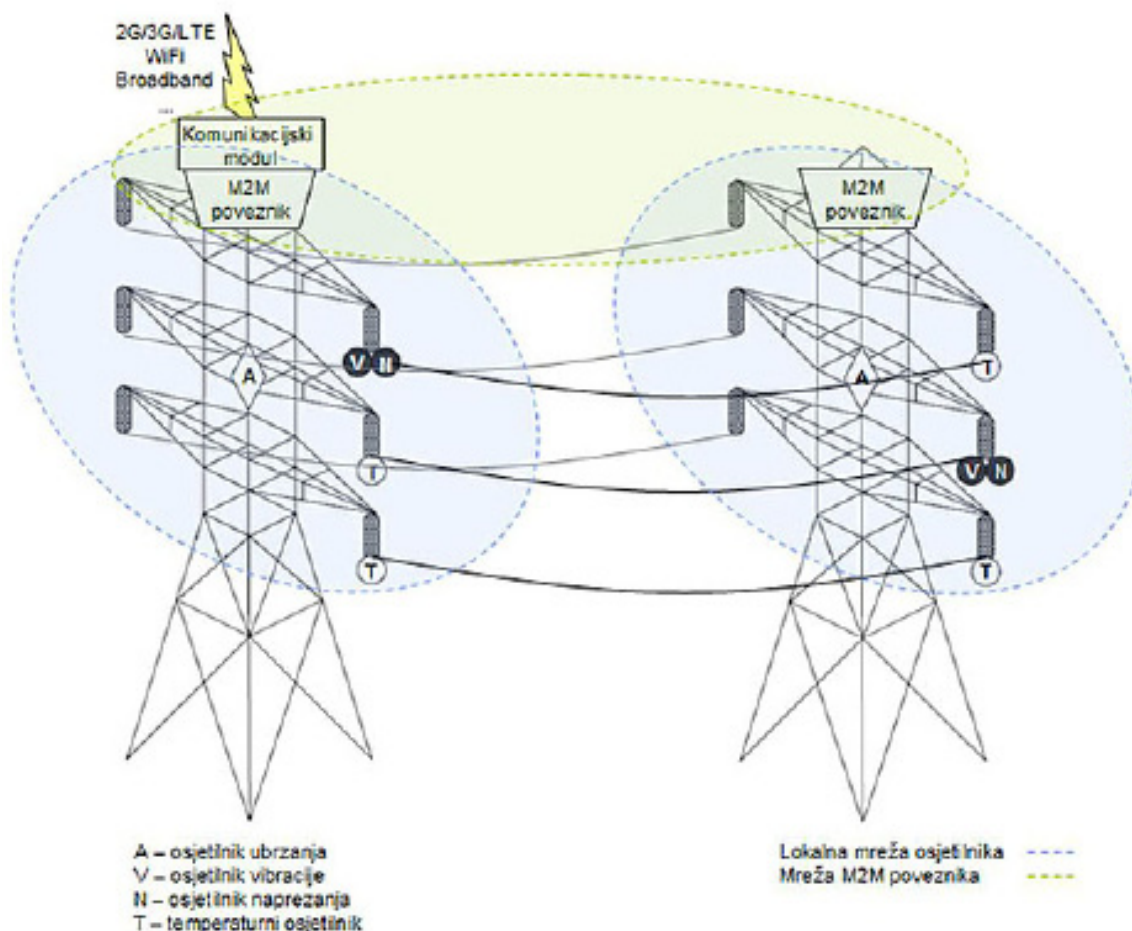
Slika 5: Transmisija električne energije.



Danas postoji niz razvijenih i dostupnih osjetnika i drugih aktivnih i pasivnih elemenata koji su u stanju pratiti mehaničke varijable, prije svega prijenosnih linija ali i ostalih komponenata domene transmisije. Temeljem tih varijabli je moguće predvidjeti i identificirati iznimne uvjete rada uzrokovane pojavama poput meteoroloških događaja te slučajnih ili namjernih infrastrukturnih oštećenja.

Obzirom da potporna infrastruktura vodova i kablova koristi slične građevinske karakteristike kao zgrade, predlaže se uporaba osjetnika iz iste aplikativne domene koji su na temelju pokazatelja, poput ubrzanja, naprezanja i pomaka, u stanju pružiti odgovarajuću razinu osmotrivosti sustava za potrese, nalete vjetera i druge događaje [16,17]. Aplikacijom temperaturnih osjetnika na spojnim točkama vodova postiže se otkrivanje problema pregrijavanja, često povezanih s prekomjernim opterećenjem transmisijskih linija. Osim spomenutih, moguće je postavljanje i drugih osjetnika s ciljem poboljšanja tehničkih karakteristika mreže i smanjenja gubitaka električne energije ostvarenih u prijenosnoj mreži.

Povezivanjem osjetnika i drugih aktivnih i pasivnih elemenata s operativnim i poslovnim sustavima podrške operatora prijenosnog sustava M2M komunikacijom, podupiru se nastojanja za efikasnim upravljanjem tokovima električne energije u prijenosnoj mreži s ciljem kvalitetne opskrbe električnom energijom. Važno je uočiti da je uspostava i povezivanje M2M komunikacije s operativnim i poslovnim sustavima podrške u domeni transmisije slična njenoj uspostavi i integraciji u domeni masovne proizvodnje. Ipak, primjetna je razlika u mrežnoj pokrivenosti pojedinih domena. Dok u slučaju domene masovne proizvodnje topologija mreže poprima mrežasti oblik, gdje svaki od čvorova predstavlja postrojenje za proizvodnju energije, u slučaju domene transmisije električne energije topologija poprima linijski oblik prateći tako infrastrukturu vodova i kablova. Zbog toga će u nekim slučajevima za potrebe optimizacije protoka podataka biti preporučeno postavljanje lokalnih podatkovnih i komunikacijskih procesora koji će u ulozi M2M poveznika upravljati poljem osjetnika te grupirati i procesirati prikupljene podatke prije njihova slanja u domenu M2M mreže (slika 6).



Slika 6: Primjer povezivanja osjetnika u M2M lokalnu mrežu i M2M poveznika u pristupnu mrežu.

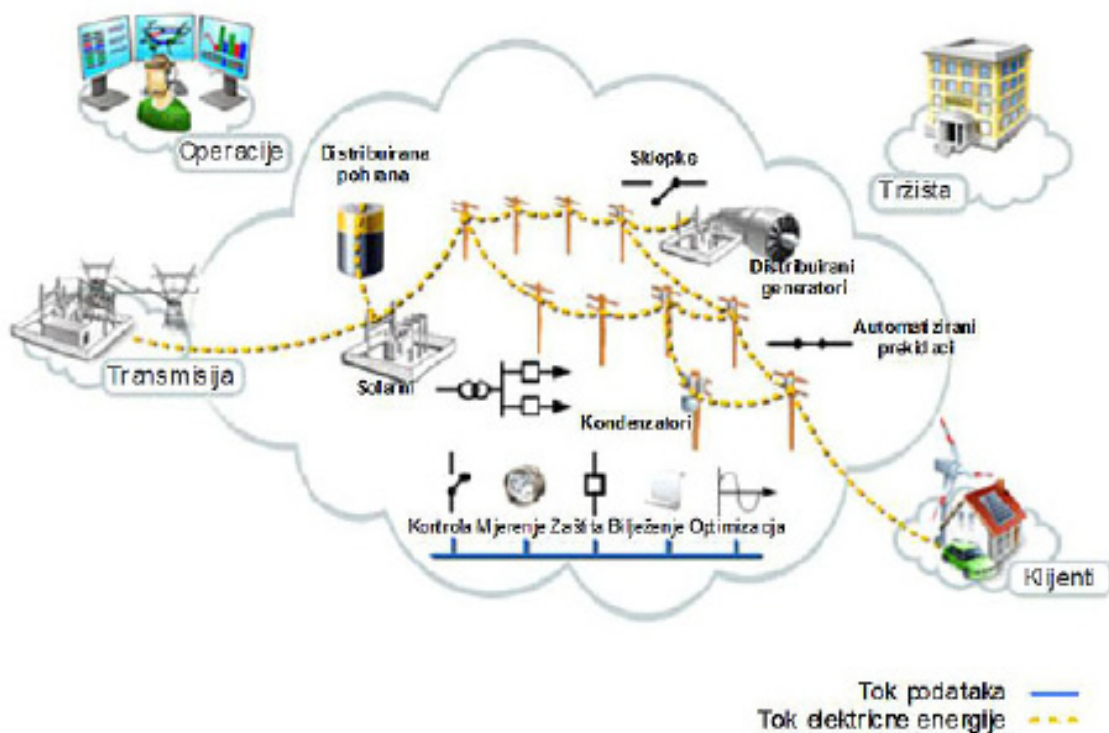
## 4.3 Distribucija

Domena distribucije raspodjeljuje električnu energiju prema i od krajnjih korisnika, odnosno klijenata. Distribucijska mreža povezuje inteligentna brojlara i druge inteligentne uređaje, te ih upravlja i kontrolira putem dvosmjerne bežične ili žičane komunikacijske mreže poput mobilne 2G/3G mreže ili same elektroenergetske mreže (komunikacija elektroenergetskim vodovima - Power Line Communication). Domena može sadržavati i postrojenja za distribuiranu pohranu energije ali i druge alternativne izvore energije poput solara, vjetrenjača i drugih generatora. Sanduci kondenzatora, rastavne sklopke, automatizirani prekidači i transformatorske stanice samo su neki od primjera aktivnih i pasivnih elemenata distribucijske mreže, zaduženi za upravljanje mrežom te kvalitetnu raspodjelu i dostavu električne energije krajnjim korisnicima (slika 7).

Ipak, povezivanje kritičnih elemenata distribucijske mreže omogućiti će udaljeno nadgledanje tek temeljnih pokazatelja mreže bez pružanja dubokog uvida u pojedine oscilacije u ravnoteži raspodjele električne energije. Izostanak takvog dubljeg uvida u stanje mreže i upravljanja njenim elementima glavne su prepreke finijoj optimizaciji mreže i raspodjeli električne energije na temelju trenutačnih zahtjeva i potražnje, odnosno uspostavi mehanizama:

- » kontrole i ranog otkrivanja izvanrednih stanja mreže,
- » mjerenja energetske opskrbe i potrošnje,
- » zaštite mreže i uzbuđivanja u slučaju slabe energetske učinkovitosti, kvarova i neočekivanih događaja te
- » bilježenja energetske opskrbe s ciljem pružanja podrške u planiranju potrošnje i drugih mjera poboljšanja energetske učinkovitosti.

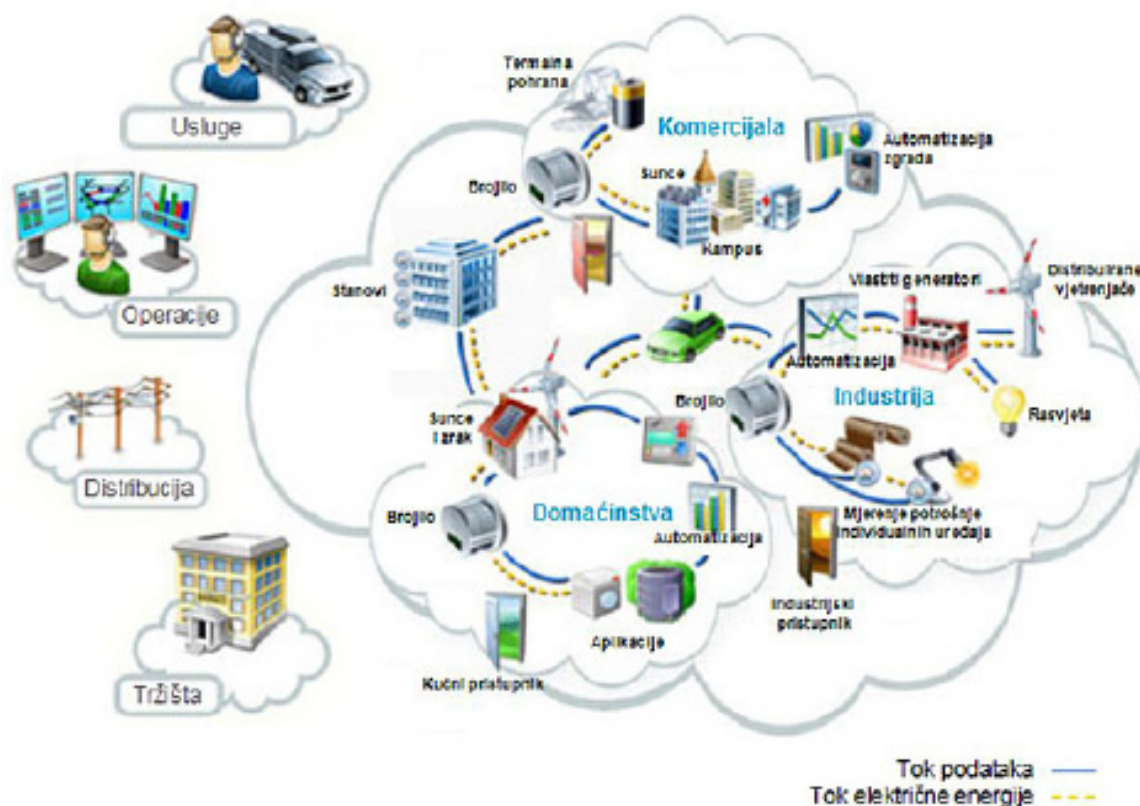
Integracija s drugim domenama poput operacija, transmisije i tržišta bit će kritična za postizanje automatizacije s ciljem trenutačne prilagodbe parametara distribucijskog sustava putem operativnih ili poslovnih sustava podrške novonastalim situacijama dodirnih domena. Ovdje se pod parametrima distribucijskog sustava se ne podrazumijevaju samo parametri distribucijske mreže i raspodjele električne energije, već i parametri distribucijskog sustava u općenitom smislu. Primjer takvih parametara može biti: cijena električne energije, promjene u tarifama i drugo.



Slika 7: Distribucija električne energije.

## 4.4 Klijenti

Domena klijenata, odnosno potrošača/proizvođača električne energije kao krajnjih korisnika distribucijske mreže, zadnjih je godina izuzetno dinamična s gledišta stvaranja novih domenskih aktera i elemenata (poput pojave električnih automobila, inteligentnih zgrada, privatnih generatora električne energije i distribuiranih postrojenja za pohranu energije...) te evolucije postojećih elemenata s obzirom na promjenu njihove uloge u domeni i načina na koji koriste/proizvode električnu energiju (slika 8). Dobar primjer su domaćinstava koja uporabom vlastitih solara i vjetrenjača žele aktivno sudjelovati kako u potrošnji tako i u proizvodnji električne energije u ulozi generatora energije domene distribucije.



Slika 8: Domena klijenata, odnosno krajnjih korisnika distribucijske mreže.

Zajednički element svih aktera domene klijenata je inteligentno brojilo. Njegova osnovna zadaća je precizna evidencija potrošene ali i proizvedene energije predane u distribucijsku mrežu, upravljanje smjerom toka električne energije i pružanje informacija o obrascima potrošnje energije te trenutnoj i akumuliranoj potrošnji električne energije pojedinog klijenta. Za tu je potrebu neizostavna M2M komunikacija koja korištenjem M2M platforme osigurava nesmetani dvosmjerni tok podataka između inteligentnih brojlila i operativnih i poslovnih sustava podrške operatera distribucijskog sustava električne energije.

M2M komunikacija između brojila i M2M platforme operatera distribucije električne energije se uobičajeno ostvaruje jednim od sljedeća dva načina.

1. Kao komunikacijski kanal između brojila i M2M platforme se koristi neka od javnih pokretnih mreža. Prednost ovakvog povezivanja je u jednostavnosti povezivanja brojila u M2M komunikacijsku mrežu te u činjenici da operatera distribucijskog sustava time izbjegava održavanje komunikacijskog kanala. S druge strane, u najmanju ruku, zbog potrebne izmjene SIM modula u inteligentnim brojlilima, prelazak na drugog operatera pokretnih komunikacija je zahtjevan. Iako postoje prototipovi softverskih SIM modula koji bi trebale omogućiti promjenu domaće javne pokretne mreže bez izmjene SIM modula, ovakva rješenja još uvijek nisu niti standardizirana niti prihvaćena.
2. Komunikacija elektroenergetskim vodovima predstavlja žičanu alternativu mobilnim pokretnim mrežama. Komunikacija se odvija na dvije razine. Prvu predstavlja komunikacija između M2M platforme i koncentrataora putem optičkih i drugih dostupnih komunikacijskih kanala. Drugu razinu

predstavlja komunikacija od koncentrataora do lokalnih inteligentnih brojila putem energetskih vodova. Prednost ovog pristupa je korištenje već dostupnih vodova za potrebe razmjene podataka. Ipak, korištenje vodova u komunikacijske svrhe je podložnije pogreškama uslijed komunikacije od pokretnih mreža.

Važno je napomenuti da svaki klijent, neovisno radi li se o kućanstvu, industriji, kompaniji i slično, iza inteligentnog brojila sadrži vlastitu privatnu domenu uređaja odnosno potrošača i proizvođača električne energije. Primjer takvih uređaja može biti frižider s ugrađenim sustavom za pohranu energije koji će se za vrijeme jeftinije struje puniti električnom energijom i prazniti za vrijeme skuplje. Aplikacije za upravljanje električnom energijom mogu automatizirano uključivati pojedine programe kućanskih aparata, poput programa perilice rublja, za vrijeme jeftinijih tarifa. Slijedom istih aplikacija distributeri električne energije mogu ponuditi promotivne tarife, poput sniženja cijene električne energije potrošene perilicom suđa u određenom vremenskom intervalu i time vršiti balansiranje opterećenja mreže. U privatnoj domeni klijenata se mogu još nalaziti i različiti uređaji za inteligentno upravljanje domaćinstvom, uređaji za zabavu i multimediju te generatori električne energije, solari i vjetrenjače.

## 4.5 Operacije

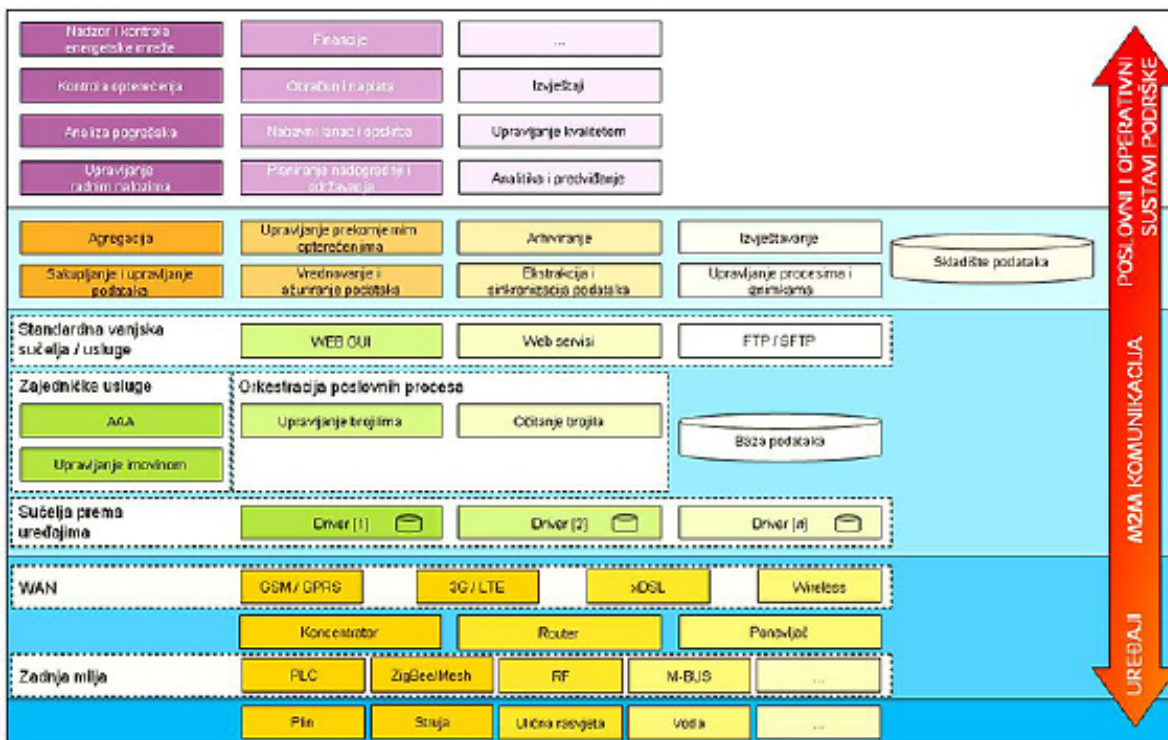
Nadgledanje i upravljanje svih energetskih tokova između pojedinih domena se nadzire u operacijama (slika 9). Pri tome se M2M komunikacija koristi za uspostavu potrebne dvosmjerne komunikacije korištene u povezivanju podstanica, mreža klijenata i inteligentnih uređaja s operativnim i poslovnim sustavima podrške operacija.



Slika 9: Operacije.

Temeljnu informacijsku infrastrukturu operacija čini centralni sustav za upravljanje brojilima potrošnje električne energije MDMS (Meter Data Management System).

Operativni sustavi podrške operacije sadrže alate za nadzor, kontrolu i upravljanje energetskim tokovima te udaljeno upravljanje i očitavanje stanja brojila potrošnje električne energije putem M2M komunikacijske mreže. Kontrola opterećenja i analitika pogreška ključni su alati u raspoređivanju tokova energije i planiranju održavanja i nadogradnji, dok izvještavanje i analitika imaju presudnu važnost u planiranju daljnjeg razvoja i uravnoteživanju energetskih tokova s očekivanom potražnjom i mogućom proizvodnjom električne energije. Integracija operativnih i poslovnih sustava podrške bit će važna prvenstveno u automatizaciji obračuna i naplate, upravljanju radnim nalogima, kontroli te predviđanju preopterećenja i analizi pogrešaka (slika 10).

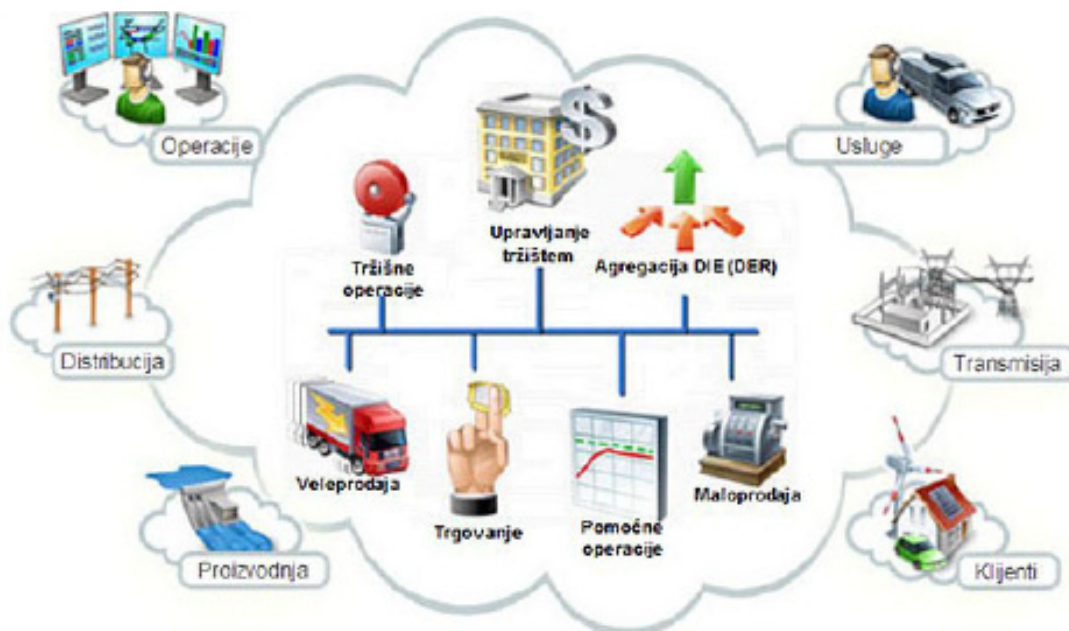


Slika 10: M2M komunikacija kao kosnica arhitekture napredne elektroenergetske ili komunalne mreže.

## 4.6 Tržišta

Uobičajeni sudionici domene tržišta su samostalne, neovisne i neprofitne javne organizacije čija je osnovna zadaća provođenje regulacije energetske djelatnosti s ciljem učinkovitog i racionalnog korištenja energije, razvijanja konkurentnog poduzetništva u području energetike, stvaranja pozitivnih uvjeta za investiranje u energetske sektor i očuvanja okoliša (slika 11).

S obzirom da će ovakve, regulatorne agencije vršiti nadzor nad primjenom tarifnih sustava i propisanih naknada, nadzor nad energetske subjektima, nadzor kvalitete usluge energetske subjekata uz prikupljanje i obradu podataka, ali i pružanje usluga uravnoteženja električne energije u elektroenergetskom sustavu, bit će potrebno povezivanje na M2M komunikacijsku infrastrukturu s ciljem povezivanja informacijskih sustava i razmjene podataka dionika iz svih drugih domena.



Slika 11: Domena tržišta.

## 4.7 Usluge

Konačno, uspostavom napredne elektroenergetske mreže stvaraju se uvjeti za razvoj, do sada tek slabo primjetne, domene usluga. Mogućnost povezivanja informacijskih sustava pružatelja usluga iz ove domene s udaljenim uređajima drugih domena podržava osmišljavanje novih energetske usluga udaljenog nadzora i upravljanja domaćinstvima i zgradama (slika 12). Tipični primjeri takvih usluga biti će web aplikacije za upravljanje vlastitom energetske efikasnosti, sučelja za razmjenu podataka između potrošača i komunalnih kompanija, upravljanje rasvjetom, grijanjem i hlađenjem zgrada i kućanstava, isporuka jeftinije električne energije klijentima kroz podugovaranje i upravljanje dobavljačima električne energije i drugi. Moguće je pružanje usluga drugim domenama energetske sektora poput usluga upravljanja potražnjom za električnom energijom, usluga upravljanja javnom rasvjetom, usluga upravljanja ispadima električne energije i uslugama instalacije i održavanja.



Slika 12: Domena usluga.

## 5 Zaključak

Dostupnost telekomunikacijskih usluga, odnosno globalna pokrivenost njima, pokrenula je trend razvoja i ugradnje komunikacijskih modula u sve što može imati koristi od komunikacijske povezivosti. Korporacija Ericsson predviđa da će do 2020. godine biti u upotrebi gotovo 50 milijardi takvih uređaja što čini i više od deset puta veću penetraciju umreženih uređaja u globalnoj populaciji od one danas. Drugim riječima, do 2020. godine će M2M komunikacija postati najzastupljeniji oblik komunikacije.

Jednako kao što telekomunikacija ulaze u novu eru, eru komunikacije strojeva, tako su i tradicionalni principi, modeli i energetske infrastrukture stavljene pod pritisak s ciljem izgradnje naprednih i inteligentnih elektroenergetskih mreža sposobnih adaptivno i optimalno upravljati proizvodnjom, raspoređivanjem i potražnjom za električnom energijom.

Američki nacionalni institut za standarde i tehnologije (NIST) je u sklopu nastojanja razvoja tehnoloških standarda za inteligentne energetske mreže identificirao sedam ključnih domena: masovna proizvodnja, transmisija, distribucija, klijenti, usluge, operacije i tržišta. U daljnjoj razradi tih domena na energetske, komunikacijske i informacijsko-informatičku razinu, Institut inženjera elektrotehnike i računarstva (IEEE) prepoznaje dvosmjerne M2M komunikacijske tokove informacija razmjenjivanih između pojedinih elemenata tih domena.

Ericsson Nikola Tesla je, kao specijalizirani isporučitelj telekomunikacijske opreme ali i kao predvodnik informacijsko komunikacijskih tehnologija, prepoznao ovo uzajamno podupiranje energetike i telekomunikacija te ih podržao vlastitim razvojnim ali i komercijalnim projektima. U isto vrijeme, korporacija Ericsson već sudjeluje u razvojnim projektima poput Device Connection Platform, rješenja za uspostavu M2M povezivosti, temeljenog na računarstvu u oblaku, ali i u većem broju projekata implementacije Smart Metering sustava diljem svijeta.

## 6 Literatura

- [1] D. Niyato, L. Xiao, P. Wang, Machine-to-Machine Communications for Home Energy Management System in Smart Grid. Communications Magazine, IEEE, Volume: 49(4), p.p. 53-59, April 2011.
- [2] Machine-to-Machine communications (M2M); Functional architecture. European Telecommunications Standards Institute. 2011. ETSI TS 102 690 V1.1.1 (2011-10).
- [3] International Energy Outlook 2011. U.S. Energy Information Administration. September 2011. DOE/EIA-0484(2011).
- [4] N. Tesla, A New System of Alternating Current Motors and Transformers. American Institute of Electrical Engineers, May 1888.
- [5] T. P. Hughes, Networks of Power: Electrification in Western Society, 1880–1930. Baltimore: Johns Hopkins University Press. ISBN 0-8018-4614-5. March 1993. p.p. 119–122.
- [6] U.S.-Canada Power System Outage Task Force, Final Report on the August 14, 2003 Blackout in the United States and Canada: Causes and Recommendations, April 2004.
- [7] Interim Report of the Investigation Committee on the 28 September 2003 Blackout in Italy, UCTE, 27 October 2003.
- [8] The Smart Grid: An Introduction. Prepared for the U.S. Department of Energy by Litos Strategic Communication unter contract No. DE-AC26-04NT41817, subtask 560.01.04.
- [9] Final Guidelines of Good Practice on Regulatory Aspects of Smart Metering for Electricity and Gas. European Regulators Group for Electricity & Gas. Bruxelles, 8 February 2011. Ref: E10-RMF-29-05.
- [10] Directive 2006/32/EC of the European parliament and of the Council of 5 April 2006 on energy end-use efficiency and energy services and repealing Council Directive 93/76/EEC.
- [11] 3rd Energy Package. URL: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=IMPRESS&reference=20080616FCS31737&language=EN>
- [12] Institute of Electrical and Electronics Engineers, Approved IEEE Smart Grid Standards. <http://smartgrid.ieee.org/standards/approved-ieee-smart-grid-standards>
- [13] National Institute of Standards and Technology, NIST & the Smart Grid. [www.nist.gov/smartgrid/nistandsmartgrid.cfm](http://www.nist.gov/smartgrid/nistandsmartgrid.cfm)
- [14] G. Dudek, Artificial Immune System for Short-Term Electric Load Forecasting, Rutkowski et al. (eds.). ICAISC 2008, LNAI 5097, pp. 1007–1017, 2008.
- [15] E. A. Feinberg, D. Genethliou, Load Forecasting, in Applied Mathematics for Restructured Electric Power Systems: Optimization, Control and Computational Intelligence, J. H. Chow, F. F. Wu, J. J. Momoh (eds.), Springer, 2005. p.p. 269-285.
- [16] J.P. Lynch, A. Sundararajan, K.H. Law, A.S. Kiremidjian, T. Kenny, E. Carryer, Embedment of Structural Monitoring Algorithms in a Wireless Sensing Unit. Structural Engineering and Mechanics, Vol. 15, No. 3, p.p. 285-297, 2003.
- [17] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, A Survey on Sensor Networks. IEEE Communications Magazine, vol. 40, p.p. 102 – 114, August, 2002.

## 7 Popis kratica

ETSI	European Telecommunications Standards Institute
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
M2M	Machine-to-Machine
NIST	National Institute of Standards and Technology
TV	Televizija

### Adresa autora:

Marko Lukičić  
e-mail: marko.lukicic@ericsson.com  
Ericsson Nikola Tesla d.d.  
Krapinska 45  
p.p. 93  
HR-10002 Zagreb  
Hrvatska

Uredništvo je primilo rukopis 7. svibnja 2012.