

Dr Ian Watson  
7com Limited  
[ian@7com.co.uk](mailto:ian@7com.co.uk)

Mag. Ivan Sokac ml.  
Elektron Erma  
[ivan.sokac.ml@elektron.hr](mailto:ivan.sokac.ml@elektron.hr)

Goran Šagovac, dipl.ing.  
Industrooprema d.o.o.  
[goran.sagovac@industrooprema.hr](mailto:goran.sagovac@industrooprema.hr)

Mag. Zvonimir Petrovic  
HEP-ODS  
[zvonimir.petrovic@hep.hr](mailto:zvonimir.petrovic@hep.hr)

## POVEZNICA NADZORA KVALITETE NAPAJANJA NN MREŽE I PUNIONICA ELEKTRIČNIH VOZILA TE PAMETNIH GRADOVA

### SAŽETAK

Izazov današnjice s kojim smo suočeni se jasno očitava u usklađivanju budućih zahtjeva potrošnje u niskonaponskoj mreži građenoj po starim kriterijima. Pojava električnih vozila i njihovih zahtjeva za potrošnjom će u mnogim slučajevima izložiti mrežu uvjetima za koje nije niti projektirana niti dimenzionirana.

Korištenje punjača relativno niskih snaga na utičnicama se činilo kao jednostavno rješenje. Dugo vrijeme potrebno za punjenje električnih vozila putem utičnica nije prihvatljivo svim korisnicima električnih vozila. Također, više punjača malih snaga priključenih u istu točku mreže mogu stvarati probleme operatoru distribucijske mreže. Napredak bi mogao ostvaren nadzorom stvarnih prilika u mreži. Na osnovi izmjerenog stvarnog stanja kretanja opterećenja i uočenih obrazaca, uz ostvarenu komunikacijsku infrastrukturu, koristeći analitičke metode može se izvesti upravljanje opterećenjem i automatizacijom mreže što uključuje proširenje na funkcije karakteristične za 'Pametne gradove'

**Ključne riječi:** nadzor NN mreže, analitičko upravljanje mrežom, automatizacija, PLC/LoRA

## MISSING LINK BETWEEN LV MONITORING, EV CHARGING AND SMART CITY

### SUMMARY

Challenge we face these days is to accommodate the future demand on to a past decades build Low Voltage (LV) grid. Unlikely any other event, the sprung of Electrical Vehicles (EV) and their charging demand will stress the existing LV grid to its limits and in many cases well beyond the network design limits.

Low demand wall socket chargers seemed to be an easy way out. Regrettably long time required to charge EV from wall socket may simply be not acceptable to the EV user. Equally many 'low demand' wall socket chargers connected together at the same time may not be acceptable to the electricity company in charge. The way forward is to monitor what is going on. Once measured, with communication infrastructure in place, load behaviour and its pattern can be used for analytics based grid control and automation within and beyond of the boundaries of a Smart Cities.

**Key words:** LV grid monitoring, analytics based grid automation, PLC/LoRa

## 1. PREGLED

### 1.1. Izazovi

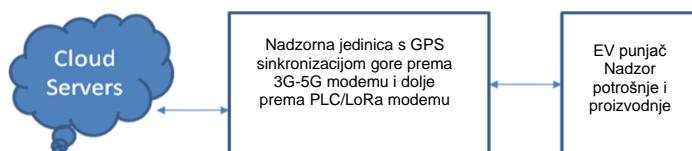
Izazov da se NN mreža izgrađena u prošlim desetljećima prilagodi budućoj potražnji i potrošnji je izuzetno težak. Karakter mreže te velik broj novih potrošača s raznim karakteristikama dodatno naprežu NN mrežu i NN krugove. Nadzemni neizolirani NN vodiči polako nestaju, dok se upotreba NN kabela naglo širi. Tok energije u NN krugovima više nije nužno od transformatora prema potrošaču, već i obrnuto od "potrošača" prema transformaciji radi distribuirane proizvodnje bivših potrošača.

Malo je vjerovatno da bi neki drugi potrošači osim punionica elektro vozila mogli naprezati postojeće mreže preko njihovih projektiranih granica. Punjači priključeni na obične zidne utičnice izgledaju kao jednostavno rješenje. Nažalost, vrijeme potrebno za punjenje EV-a jednostavno nije prihvatljivo za mnoge korisnike EV. Jednako tako velik broj punjača EV s niskom potrošnjom istovremeno priključenih nisu prihvatljivi za operatora distribucijske mreže koji je odgovoran za rad mreže.

Potrošnja električne energije pri punjenju EV kreće se od 3,6 kW (jednofazni priključak) preko 7,2 kW (trofazni priključak) pa do snaga od 350 kW potrebnih da se doseg vožnje poveća za 200 km u roku od 8 minuta. S obzirom da se instalirana snaga NN transformatora kreće od najmanje 40 kVA do maksimalno 2 MVA (prosjeck oko 400 kVA), povezivanje više brzih punjača ili više punjača na zidne utičnice istovremeno neće uvijek biti moguće. Najnovija istraživanja ukazuju da bi se brzi i vrlo brzi punjači trebali priključivati na srednjenaponsku mrežu putem elektroničkih transformatora s istosmjernim izlaznim naponom do iznosa od 800V [11].

Gledajući stanje NN mreže, čini se da je 'najpametniji' uređaj u mreži osigurač. NN mreže u pravilu nisu smatrane elementima nad kojima je potreban smisleni nadzor, kontrola ili automatizacija. Međutim, može se reći da bez mjerenja nema nadzora, a bez nadzora nema upravljanja NN mrežama.

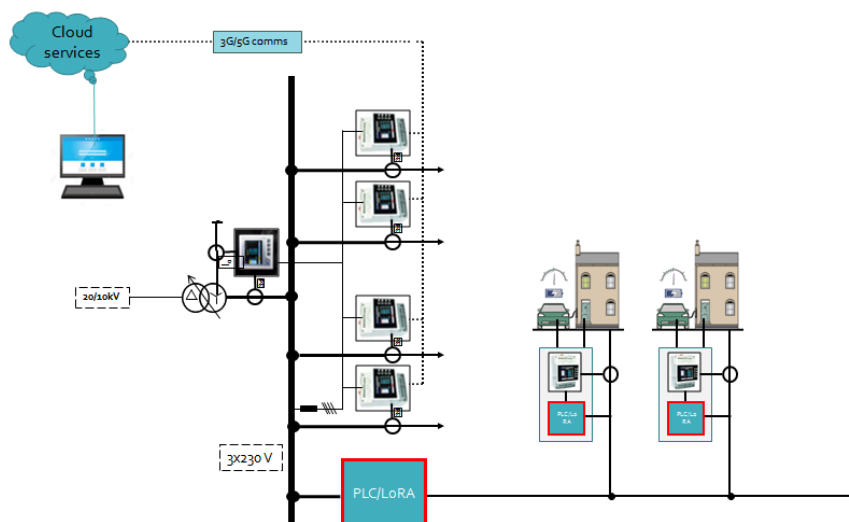
Prvi korak u rješavanju problema bit će pokretanje ugradnje odgovarajućih mjernih uređaja za praćenje NN mreže [2]. Mjerenja se moraju nadopuniti i komunikacijskim vezama kako prema nadređenim, tako i prema terenskim uređajima. Isto tako mjerenja se trebaju pohraniti lokalno uz osiguranje pohrane podataka u "oblaku" (eng. cloud server). Na temelju podataka pohranjenih lokalno i u oblaku, algoritmi bazirani na načelima umjetne inteligencije kontinuirano provode analizu lokalnih i općih prilika u mreži. Ovaj rad sugerira uporabu sustava čija je arhitektura prikazana na slici 1. Iz strukture se jednostavno mogu prepoznati tri glavna bloka: terenski uređaji, komunikacijske veze i poslužitelji vezani na "oblak".



Slika 1. Arhitektura nadzornog NN sustava

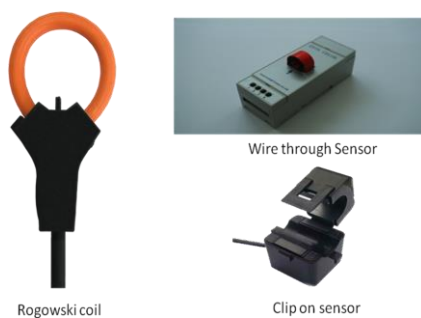
Izazovi u implementaciji ovakve strukture su veliki. Izazovi kreću od odabira najprikladnijih senzora, preko fizičkog prostora za ugradnju senzora te opreme za nadzor, do implementacije najpouzdanije, troškovno optimirane komunikacijske infrastrukture. Mjerni uređaji ugrađuju se na svako polje te mjere i bilježe struje, napone, energije, aktivne, reaktivne, prividne snage,  $\cos \varphi$ , faktor izobličenja, harmonike proširivo do 63. reda te pre/pod napon. Napredni mjerni uređaji uključuju i snimanje struje kvara i smetnji na dovodu NN stanice.

Mjerni podaci se trebaju spremati lokalno, na dovoljno dugo vrijeme, kako bi se koristili u uređajima za lokalno procesiranje i upravljanje. Ukoliko dođe do prekida komunikacije prema gore, podaci neće biti izgubljeni. Podaci se mogu ponovo pozvati kada se komunikacija ponovno uspostavi. Komunikacijska veza prema nadređenom serveru sastoji se od integrirane komunikacijske jedinice (2G-5G, ISDN, širokopojasne veze ako su dostupne) do poslužitelja u oblaku bilo za dugoročno spremanje, analitike mreže, analize ili planiranja mreže. Prijenos podataka iz lokalne memorije na cloud poslužitelje izvodi se sigurnim protokolima kao što je SFTP ili slično uz obveznu end-to-end enkripciju. Pohranjeni podaci moraju imati vremensku oznaku s najvećom mogućom razlučivošću, idealno 1 ms ili bolje, što se može postići korištenjem integriranog GPS / PPS prijemnika.



Slika 2. Smart grid nadzor i automatizacija

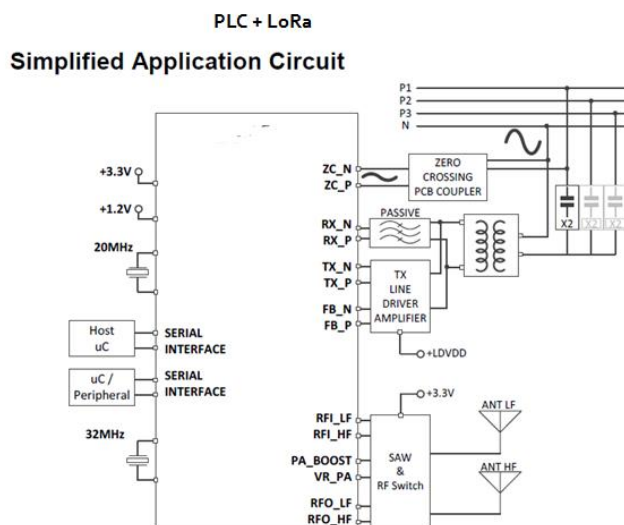
Postojeće NN transformatorske stanice dopunit će se opremom za nadzor pomoću Rogowski svitaka, koji je najmanji senzorski uređaj za mjerenje struje. Osim Rogowskog svitka na kojem se izolacija između neizoliranog vodiča i senzorskog uređaja ostvaruje izolacijom svitka, mogu se koristiti i senzori struje koji koriste visoko kvalitetne magnetske legure. Slika 3. prikazuje neke vrste senzora dostupnih na tržištu po prilično konkurentnoj cijeni.



Slika 3. Senzori za mjerenje struje

Naponski krugovi spajaju se preko žica s osiguračima na sve tri faze (faza-neutralni vod). Nove NN transformatorske stanice bit će tvornički opremljene mjernom opremom. Uređaj za nadzor ne treba biti u klasi A, koja je uobičajena za nadzor kvalitete električne energije. Ako se troškovi klase A dramatično ne smanje, što bi trebalo biti pet do deset puta, nametanje mjerenja klase A svakom ulagaču onemogućit će ekonomični poticaj za instalaciju uređaja za nadzor, kontrolu i automatizaciju bilo koje NN mreže. Za svrhu nadzora, upravljanja te automatizacije NN mreže klasa S uređaja je dovoljna. Ako ugrađeni mjerni uređaji klase S otkriju problem s kvalitetom napona, a pojavi se spor s korisnikom mreže vezan uz kvalitetu napona, za potvrdu izmjerene mogu se koristiti pravno obvezujući prijenosni uređaji klase A.

Pored napona na NN razvodu, sustav za nadzor uključuje i praćenje elemenata mreže s velikim teretom, primjerice punjače EV i distribuiranu proizvodnju. Da bi se to omogućilo potrebno je uspostaviti komunikaciju između tih dijelova NN postrojenja. Oprema za komunikaciju prema terenskim uređajima mora biti integrirana u jedinicu za nadzor tereta na objektu koji troši/stvara energiju. Opsežna analiza tehnologija dostupnih za obavljanje ovog zadatka potvrdila je da je uz sadašnji stupanj razvoja komunikacijskih tehnologija, daleko najbolja tehnologija uporaba uskopojasne komunikacije preko NN voda (NB-PLC) i to u kombinaciji s radio frekvencijama temeljenim na Long Range principu (LoRa) [1]. U usporedbi s alternativnim tehnologijama kao što su GSM, GPRS, 3G ili radio, istodobna uporaba NB-PLC-a i LoRa jamči najveću pokrivenost. Iako su viši kapitalni izdaci (CAPEX), PLC/LoRa tehnologija je vrlo povoljna zbog znatno nižih operativnih troškova (OPEX) što životne troškove (kombinirani troškovi CAPEX i OPEX) čine daleko povoljnijim od alternativnih tehnologija.



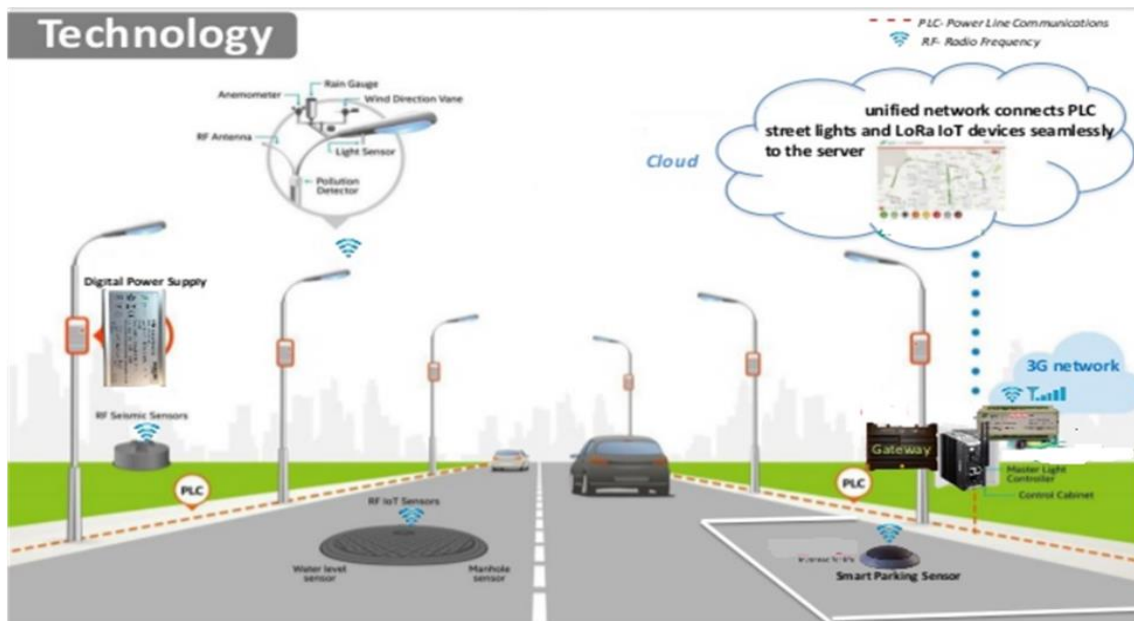
Slika 4. PLC + LoRa pojednostavljena shema primjene

Koristeći prikupljene podatke, uređaj za nadzor i kontrolu instaliran u transformatorskoj stanici NN mora pokrenuti algoritam temeljen na pojedinačnom odvodu i opterećenju SN/NN transformatora za prepoznavanje dozvoljenog povećanja opterećenja. Ovisno o mogućoj razini opteretivosti, veći tereti i punjači EV moraju se uključiti ili isključiti iz mreže. Punjači EV na kojima je uspostavljena kontrola punjenja moraju biti prekopčani na nižu razinu punjenja, tj. manju snagu. Algoritmi više razine za nadzor i kontrolu izvode se na serverima poduzeća ili "oblaku". Dakle, nadzorom raspodjele i smjera protoka snaga, moguće je dozvoliti punjenje EV-a i većim snagama.

Napominjemo da je količina prikupljenih podataka tijekom praćenja NN mreža ogromna. Baze podataka mogu narasti na nekoliko desetaka terabyta (TB). Ne samo da je teško upravljati, održavati i sigurnosno kopirati takve baze podataka, uobičajene metode pretraživanja trebale bi nekoliko minuta do nekoliko sati da se pronađu željeni podaci. Za sada postoji nekoliko baza podataka koje ispunjavaju zadatak potreban za praćenje podataka prikupljenih iz NN mreže. Primjeri su baze podataka Berkeley [9] i Cassandra [10] ili ostale NoSQL baze podataka posebno pogodne za tu svrhu. Zanimljivo je napomenuti da bazu podataka Cassandra koriste organizacije poput e-bay, EN, gitHub, i Netflix.

U komunikaciji s punionicama EV treba izbjegavati zaštićene komunikacijske protokole. Umjesto toga, treba koristiti međunarodno prihvaćene protokole poput protokola za otvorene punionice (OCPP) [6], IEC61851-1, IEC15118, IEC61850-90-8 [3], [5]. Norme za EV punjenje V2G (vozilo do mreže) i G2V (mreža do vozila) još su u statusu prihvatanja. Stoga će trebati još neko vrijeme prije nego što se norme prihvate za trajnu primjenu.

S obzirom na sposobnost kombinirane komunikacije NB-PLC / LoRa, kontrola opterećenja i punionica EV se može proširiti i na distribuiranu proizvodnju povezanu s NN mrežom, za kontrolu javne rasvjete na ulicama, nadzor parkirnih mjesta, kontrolu i upravljanje prometom, naprednu mjernu infrastrukturu (AMI), nadzor kvalitete zraka, prikupljanje otpada i recikliranje. Sve su to elementi zagonetke modernog i budućeg "pametnog grada" [8]. Primjeri iznimno učinkovite uporabe komunikacije nizvodno za stvaranje okruženja Smart City mogu se pronaći u gradu Barceloni, Amsterdam, Adelaide [12].



Slika 5. Jedinstveni plug-n-play hibridni mrežni spoj na infrastrukturi NN voda

#### 4. ZAKLJUČAK

Korištenjem nekonvencionalnog mjerenja struje (Rogowski svitci i strujni senzori) te mjerenja napona (otpornička ili kapacitivna djelila) s modernim uređajima za praćenje snage, može se implementirati mrežni sustav za prikupljanje podataka. Podaci s vremenskom oznakom visoke rezolucije, koji pristižu iz dislociranih područja mogu se uskladiti i analizirati. Integriranje nadređene komunikacijske veze zasnovane na žičanim ili bežičnim tehnologijama dograđeno integriranom komunikacijskom vezom prema terenskim uređajima, koja se temelji na NB-PLC/LoRa, omogućuje aktivno upravljanje opterećenjem punjača EV, velikih potrošača te distribuirane proizvodnje. Koristeći usluge „oblaka“ uz korištenje specijaliziranih baza podataka prikladnih za izuzetno veliku količinu podataka pohranjenih u vremenskim serijama podataka, može se izvesti analiza mrežnog opterećenja za efikasan način rada NN mreže. Daljnji korak u primjeni takvog sustava je prikupljanje podataka potrebnih za razvoj i primjenu odgovarajućih algoritama za kontrolu i automatizaciju. Nedostajuća poveznica koja onemogućava uvođenje ovakvog sustava je komunikacijska infrastruktura. Izgradnja i proširenje komunikacijske infrastrukture prema terenskim uređajima će stoga omogućiti implementacije aplikacija neophodnih za očuvanje kvalitete napajanja i integriteta NN mreže. Jednom uspostavljena komunikacijska infrastruktura se može širiti na aplikacije primjerene zahtjevima pametnih gradova.

#### 5. LITERATURA

- [1] Noelia Uribe-Pérez et al., Smart Grid Applications for a Practical Implementation of IP over Narrowband Power Line Communications, <http://www.mdpi.com/journal/energies>
- [2] Damir Crnarić et al., Mjerenja na niskom naponu, HRO-CIGRE Rovinj, Studeni 2018,
- [3] Miguel Seijo Simó et al., "Cybersecurity Vulnerability Analysis of the PLC PRIME Standard, <https://doi.org/10.1155/2017/7369684>
- [4] Dzemo Borovina et al., Investigation of Narrow-Band Power-Line Carrier Communication System Performance in Rural Distribution Grids", <http://dx.doi.org/10.5755/j01.eie.24.1.20149>
- [5] IEC 61850-3 Communication networks and systems in substations - part 3 General requirements, 2013
- [6] Thota Venkata Pruthvi et al., Implementation of OCPP Protocol for Electric Vehicle Applications, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201>

- [7] Open Charge Point Interface 2.1.1, document version: 2.1.1-RC1, <https://github.com/ocpi>
- [8] McKinsey&Company, Smart Cities: Digital Solutions for a more livable future, Full report, 2018, [www.mckinsey.com](http://www.mckinsey.com)
- [9] Berkeley data base, <https://www.oracle.com/technetwork/database/database-technologies/berkeleydb/index-085366.html>
- [10] CASANDRA DATA BASE, <http://cassandra.apache.org/>
- [11] Gjelaj, Marjan et.al. Optimal Design of DC Fast-Charging Stations for EVs in Low Voltage Grids, Proceedings of 2017 IEEE Transportation Electrification Conference
- [12] <https://www.smartcitiesworld.net/smart-cities-profile>