



Interakcija električne mreže i električnih automobila

**Nikola Rajaković,
Elektrotehnički fakultet i FSDEWES
Beograd, Serbia**

Ključni trendovi u elektroenergetici

- **Elektrifikacija sektora transporta i sektora grejanja / hlađenja (toplotne pumpe)**
- **Decentralizacija: na strani proizvodnje – PV,... skladištenja, na strani potrošnje - fleksibilnost, energetska efikasnost**
- **Digitalizacija (pametna brojila, senzori, kontroleri, pametni energetske uređaji, ...- PAMETNE MREŽE, internet stvari + softverske platforme (agregacije, blockchain tehnologije,...)**

Promena strukture potrošnje energije

- **Elektrifikacija transporta definitivno je pozitivan doprinos energetskej tranziciji ali i doprinos očuvanju životne sredine, očuvanju zdravlja i unapređenju ekonomije – ključna za dekarbonizaciju**
- **Elektrifikacija transporta je komplementarna sa intenzivnim korišćenjem obnovljivih izvora energije u procesu dekarbonizacije**
- **Uticaj elektrifikacije transporta na el. mrežu je veoma jak**

Integracija električnih vozila u el. mrežu

- **Važan zadatak: identifikacija ponašanja (navika) vozača**
- **Naredni zadatak: razvoj i standardizacija opreme za povezivanje sa mrežom**
- **Procena dubine prostiranja uticaja (tehničkih problema) vozila u mreži (loši naponski profili, preopterećenja; NN mreža, SN mreža,...)**
- **Procena širih (socijalnih) aspekata integracije**

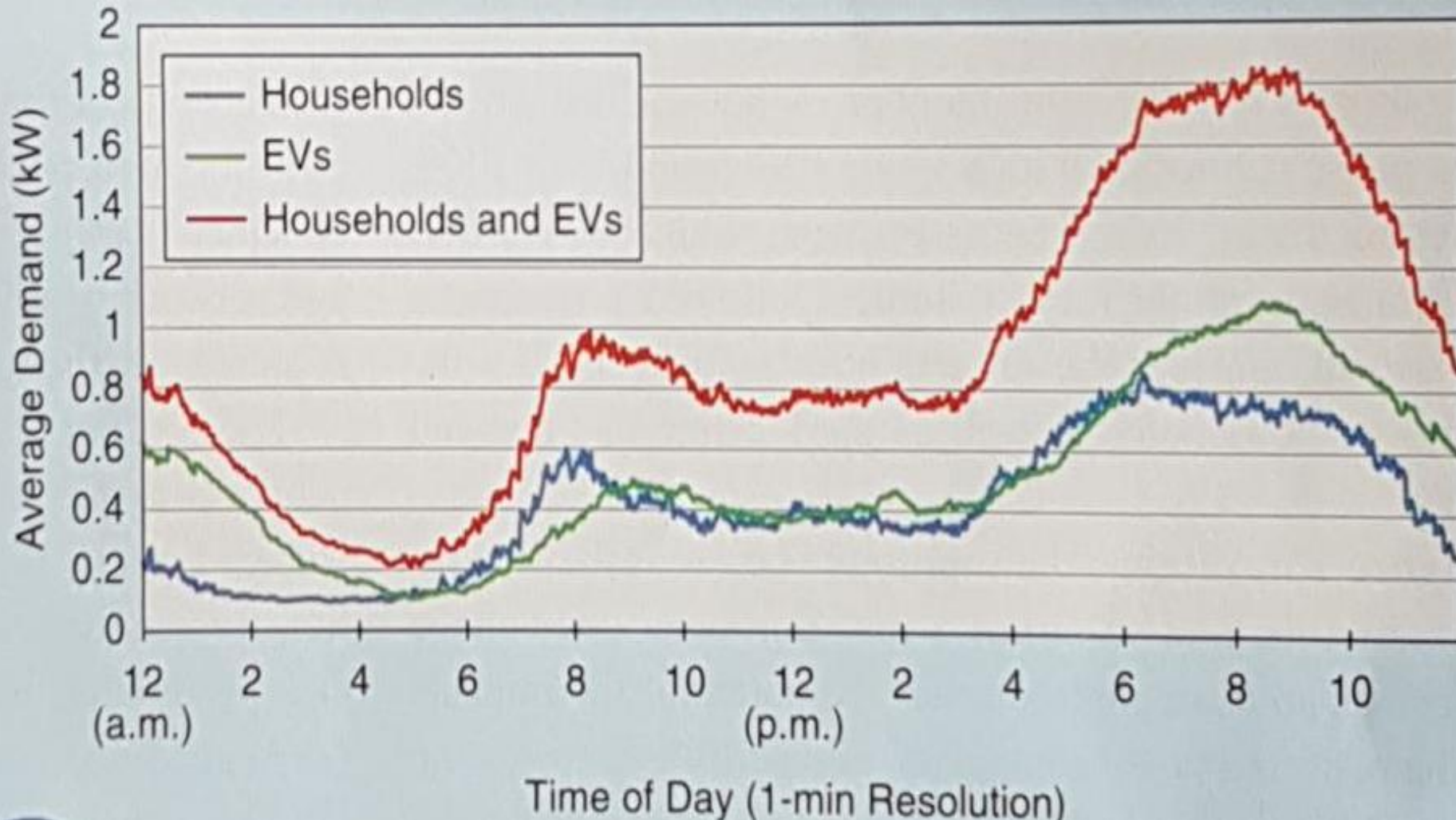
Ponašanje vozača i punjenje baterija el. vozila

- **Interesantan zaključak: mali je uticaj sezona (osim u turizmu)**
- **Identifikovane su dve grupe ponašanja: punjenje radnim danima i vikendom**
- **Dominantno: preko 70% vozača sa jednim punjenjem dnevno (drugo punjenje u istom danu uglavnom je popodne)**
- **Punjenje: dominantno po povratku kući**
- **Prosečan nivo napunjenosti baterije na početku punjenja je 16 %**

Interakcija električnih vozila i mreže

- **Vršna prosečna potrošnja na punjenje podudara se sa vršnom potrošnjom kategorije domaćinstava bez el. grejanja**
- **Uticaj na mrežu (DSO/ODS): značajno prekoračene tehničke granice postojeće mreže**
- **Primer: NN mreža obično se projektuje tako da se po domaćinstvu uzima vršno (jednovremeno) opterećenje od 1.5 kW, i ako se na to superponira još 1 kW usled punjenja el. vozila – tehnički problemi**

Srednje snage potrošnje po domaćinstvu i po el. vozilu



Promene u električnoj mreži

- **Velik broj el. vozila povećava potrošnju el. energije**
- **Ali: ako je punjenje noću, ili u vreme visoke proizvodnje iz obnovljivih, faktor korišćenja kapaciteta raste**
- **Potpuno autonomna vozila (bez vozača) dodatno će ubrzati punu elektrifikaciju transporta – koncept korišćenja vozila od strane više korisnika**

Tehnički kapacitet trofazne NN mreže za integrisanje baterija

- **Već za nivo zastupljenosti el. vozila od 40% mogu se očekivati preopterećenja i problemi sa niskim naponima**
- **Po pravilu je energetski transformator usko grlo u ovim integrisanjima**
- **Praksa pokazuje da tek nivo zastupljenosti od 90% i više može da proizvede tehničke probleme na vodovima i kablovima**
- **Zaključak: 100% nivo zastupljenosti po pravilu donosi značajne zahteve za ojačanjem mreže**

Povećanje kapaciteta mreže za integrisanje el. vozila

- 1

- **Gotovo obavezno: primena algoritama pametnog punjenja (smanjiti faktor jednovremenosti baterija)**
- **Neophodna infrastruktura (naponski senzori i aktuatori u tačkama punjenja, komunikacione veze, naponski i strujni senzori na terminalima fidera, softver kod PLC uređaja,...)**
- **Algoritam: isključenja onih baterija koje su duže u procesu punjenja, uključivanja onih baterija koje su isključene duži period,...**

Povećanje kapaciteta mreže za integrisanje el. vozila

- 2

- **Algoritam uvažava različita trajanja ciklusa punjenja**
- **Teorijski se može realizovati nivo zastupljenosti od 100%, ali sa većim brojem cikliranja koja su pri tome i duža (uključenja / isključenja)**
- **Uticao na korisnika vozila je osetan jer je potrebno dodatno vreme da se dostigne željeni nivo napunjenosti baterije**
- **Preporučeno trajanje punjenja bez prekida je oko 15 min**

El. vozila i balansiranje mreže

- **Balansiranje je održavanje ravnoteže između proizvodnje i potrošnje**
- **Jak (agregirani) uticaj na potrošnju može se očekivati samo sa velikim brojem vozila**
- **Broj vozila koja se jednovremeno pune zavisi od: sata unutar dana, tipa dana, meteoroloških prilika,...**
- **Vehicle to Grid – (V2G) očekivane primene treba da uvažuje stanje napunjenosti baterija da bi se procenio iznos snage (energije) koja se može vratiti u mrežu**

Baterije za el. vozila

- **Cene su za litijum – jonske baterije pale sa 1000 \$/kWh (2010.) na 300 u 2018. (mart 2019. mogu se naći za 150 \$/kWh), očekivanja za 2025. su oko 100 \$/kWh**
- **Tipičan energetska kapacitet baterije za el. vozilo je 50 kWh (cca 18 kWh je potrebno za 100 km za TESLU S). Cena ove baterije od 50 kWh je oko 10 000 \$**
- **Gustina energije u baterijama 200 – 240 Wh/kg (najviše 350). To znači da su 50 kWh baterije teške oko 250 kg (težina baterija je ograničenje za avione i teške kamione)**

Punjenje baterija

- Tipična baterija od 50 kWh može se na kućnoj (monofaznoj) utičnici sa punjačem od 3,5 kW napuniti za cca 14 h; trofazno sa punjačem od 7 kW za 7 h
- Danas su raspoloživi punjači od 22, 50, 120, 250,... kW. U najavi je punjač od 700 kW! (ovi super punjači već za 5 min omogućavaju dodatnih 120 km)
- Ali: baterija ima ograničenja na brzinu punjenja (dodatno zagrevanje, degradacija ćelija, skraćenje životnog veka,...)

Istraživačke teme u primeni baterija i infrastrukture

- **Grupe punjača sa 150 kW (i više) moraju se inteligentno angažovati sa aspekta mreže**
- **Unapređenje baterija sa aspekta brzog punjenja (termički aspekti,...)**
- **Razvoj i primena platformi (softvera) i hardvera za optimizaciju punjenja**
- **Razvoj i primena platformi (softvera) i hardvera za autonomna vozila**
- **Razvoj i primena platformi (softvera) i hardvera za naplatu punjenja**

Cena vožnje el. vozila

- **Cena vožnje na 100 km: cca 180 Wh/km, dakle 18 kWh na 100 km (veći el. auto). Za cene u Srbiji (plava zona sa 1/3 potrošnje u nižoj tarifi) od 8,5 din/kWh dobija se 150 din za 100 km**
- **Cena vožnje dizel auta u Srbiji je oko 1000 din na 100 km.**
- **S druge strane za benzin sa donjom toplotnom moći od 43,9 MJ/kg i gustinom od 730 g/l i potrošnjom od 6 l na 100 km dobija se da je potrebno 53,4 kWh na 100 km (3 puta neefikasniji)**

Eksploatacija baterija

- **Proizvođači već sada daju 8 godina garanciju (ili 160 000 km)**
- **Cirkularna ekonomija – životni vek baterija**
- **Ograničenost kobalta i litijuma**

Energetska efikasnost el. vozila

- **En. eff. el. vozila je oko 70% i u poređenju sa vozilima sa SUS motorom je gotovo 3 puta bolja**
- **Međutim, koliko el. vozila smanjuju emisije CO₂ zavisi od toga koliko je za el. energiju za punjenje baterije bilo emitovano gCO₂/kWh.**
- **U proizvodnji baterija i vozila emituje se CO₂ koji se mora uračunati u ukupni bilans**

Procena energetske potrebe za punu elektrifikaciju transporta

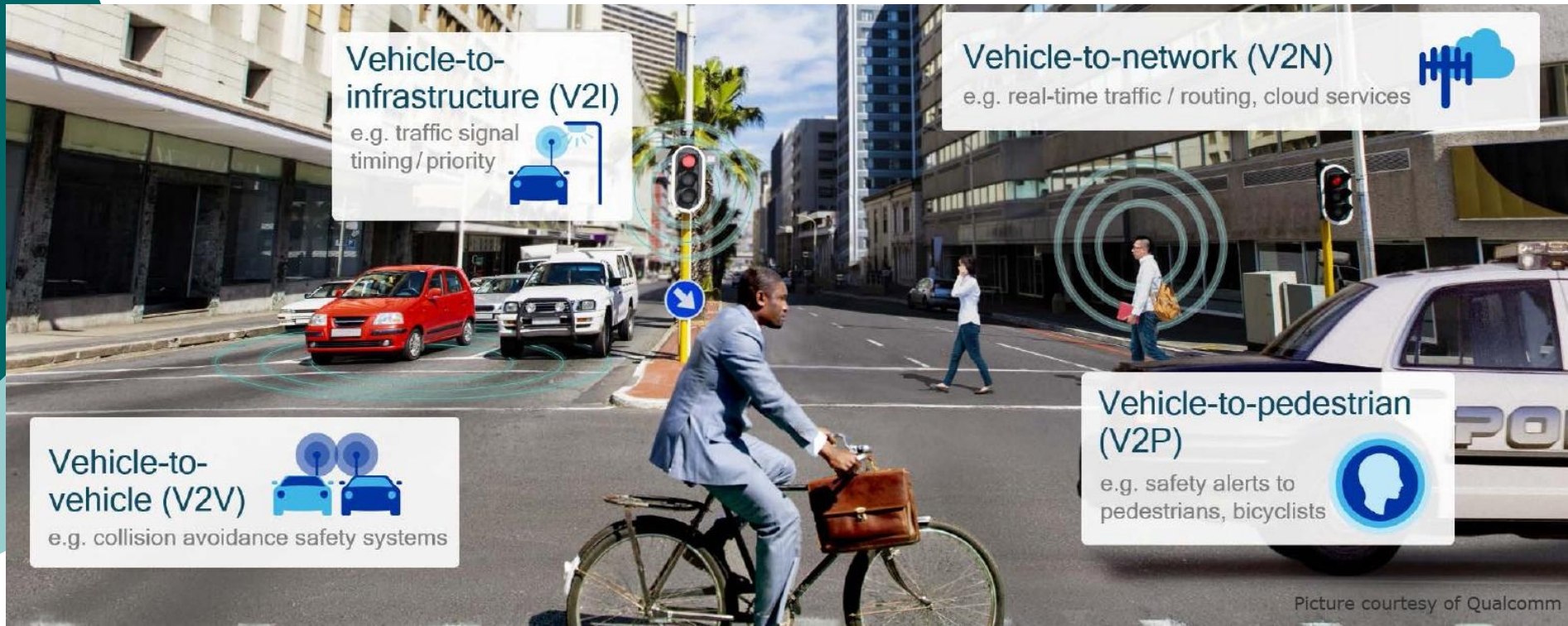
- Polazne pretpostavke: 2 mil (putničkih) vozila u Srbiji koja prelaze godišnje oko 10 000 km. Ako je potrebno 200 Wh/km to sledi da je dodatna potrošnja el. energije u Srbiji oko 4 TWh (oko 15% sadašnje ukupne potrošnje)
- Ako se sva vozila jednovremeno pune snagom najmanjih punjača od 3,5 kW tada je vršna jednovremena potrebna snaga za punjenje baterija 7000 MW!!!
- Buduće potrebe za energijom u el. vozilima obezbediti iz niskougljeničnih izvora

Intrastruktura: punionice, punjači i mreža

- **Intenzivno korišćenje el. vozila je ograničeno brojem punionica (podsticaji)**
- **Regulativa: fer balans u troškovima izgradnje punionica i ojačanja mreže**
- **Pametno punjenje: super brza punjenja troše i više energije za isti nivo napunjenosti i prouzrokuju ubrzano starenje baterija**



Vehicle to Everything communications



Vozila treba da "osećaju" okolinu

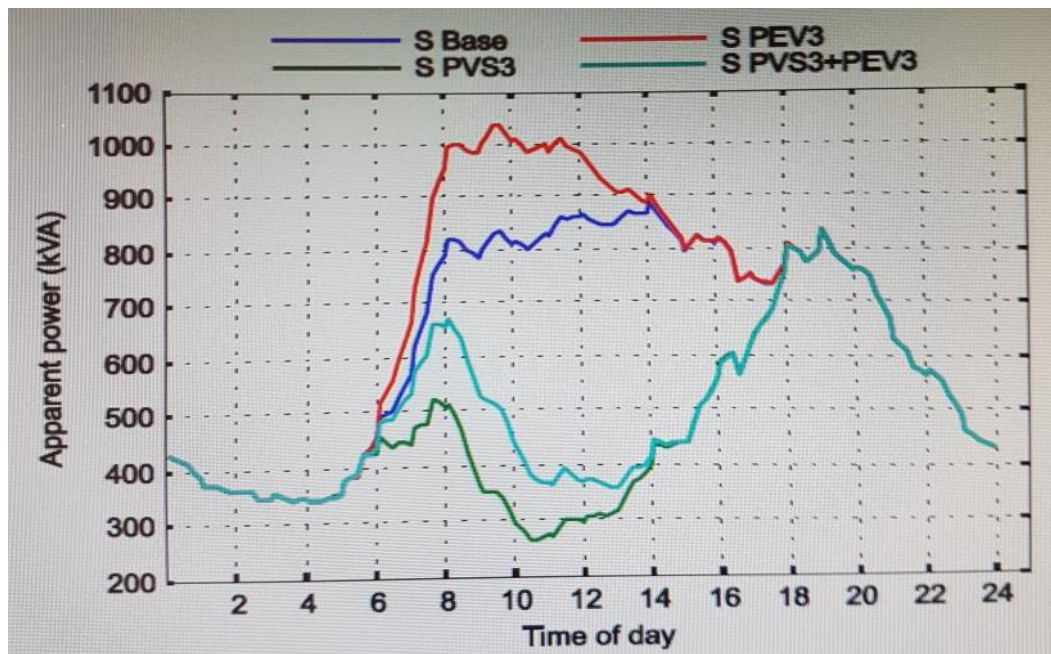
V2P – Najteži segment

Jednovremeni uticaj el. vozila i solarnih panela na dijagrame opterećenja

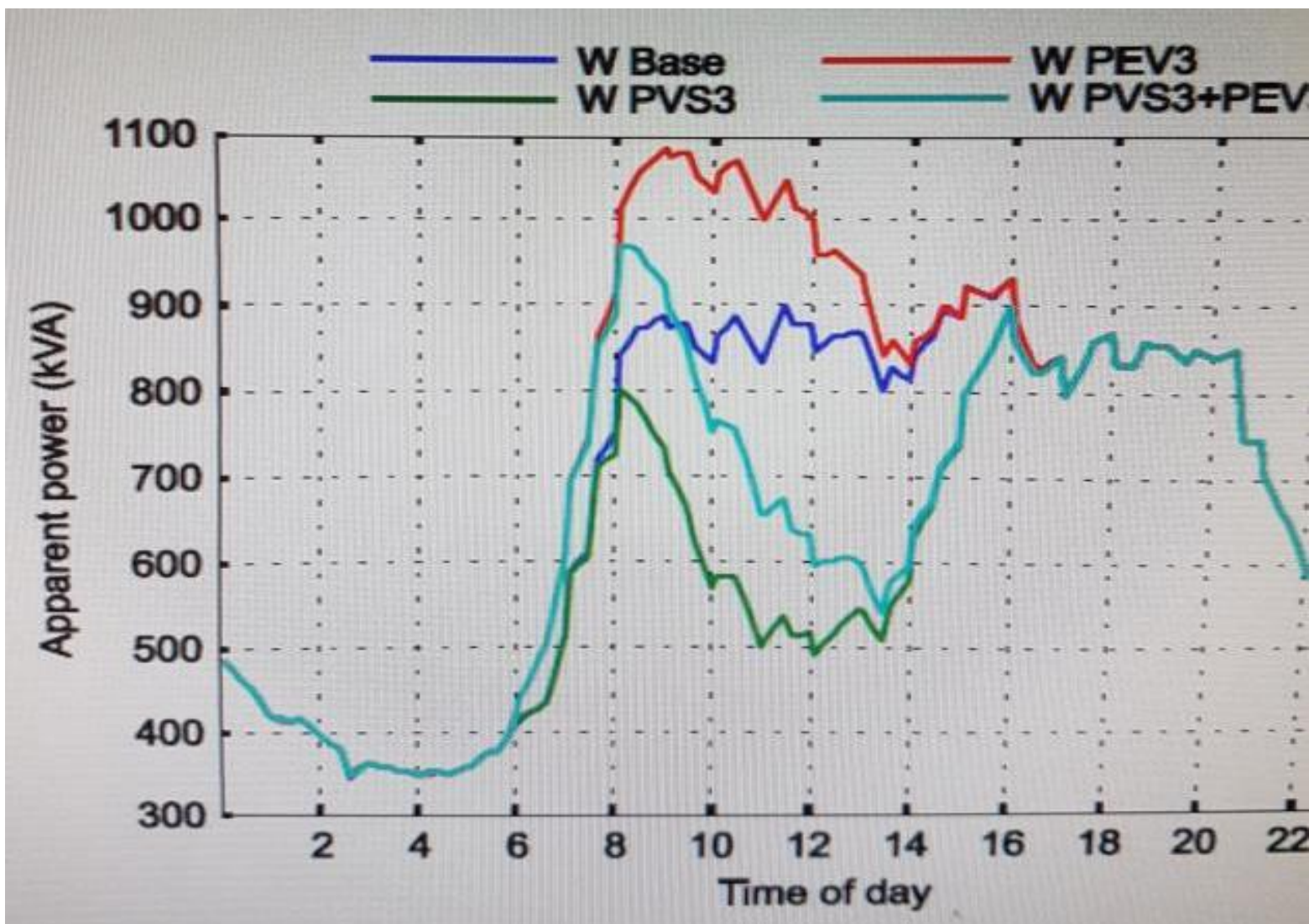
- **Istraživanje jednovremenog uticaja el. vozila i solarnih panela na opterećenje transformatora i napojnih vodova postaje značajno**
- **Pored toga i naponski profili i kvalitet sinusoide su od interesa**
- **Rezultati su pokazali da sa aspekta opterećenja i naponskih profila ovaj uticaj je dominantno pozitivan, ali da se kvalitet sinusoide uglavnom pogoršava**

Dijagrami opterećenja napojnog voda leti - summer (S)

- **PVS – Photovoltaic System**
- **PEV – Plug-In El. Vehicles**



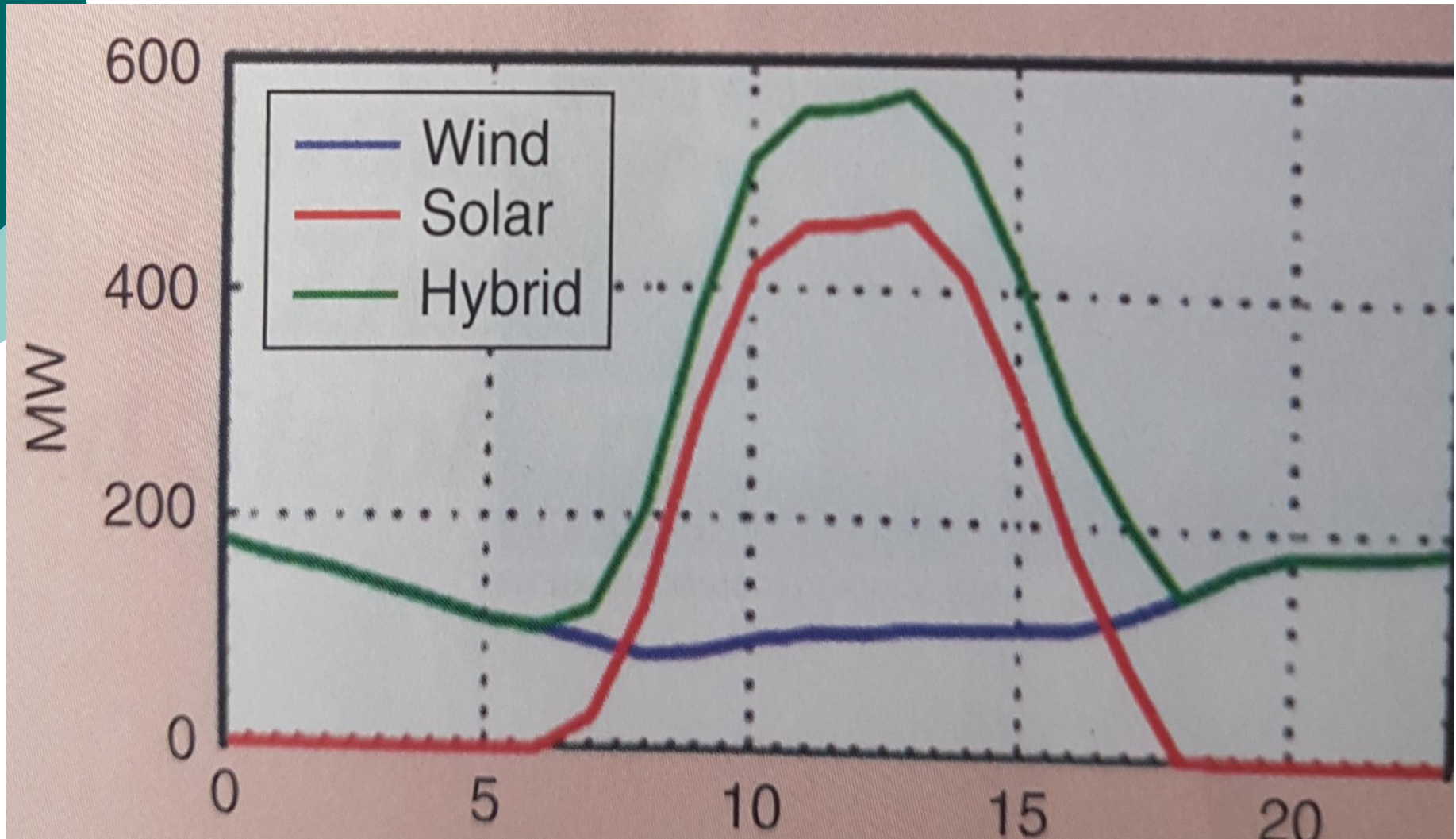
Dijagrami opterećenja napojnog voda zimi - winter (W)



Autonomne punionice

- **Koncept autonomne punionice(1): solarni paneli + skladištenje energije**
- **Koncept autonomne punionice (2): solarni paneli + vetroturbine + skladištenje energije**
- **Komplementarni profili proizvodnje (solarno generisanje je maksimalno sredinom dana, dok vetroproizvodnja raste u večernjim satima)**
- **Za slučaj da je punionica vezana na mrežu tada se može smanjiti kapacitet poveznog voda zbog nejedновременih vrhova proizvodnje solara i vetra**

Komplementarni profili proizvodnje



Konceptualno rešenje punionice

- Tehničko – ekonomska studija izvodljivosti treba da uvaži i eventualnu vezu sa eksternom mrežom
- Izbor optimalne snage skladišta energije u okviru punionice uz uključenje efekta tržišta električne energije
- Procena efekata važećih (i planiranih) regulatornih pravila
- Studija uticaja na okolinu

Procena resursa na lokaciji punionice

- **Da li graditi vetroturbine zavisi pre svega od merenja brzine vetra**
- **Optimalno lociranje eventualnih vetroturbina: maksimizacija proizvodnje**
- **Za solarne panele mogu se umesto merenja na licu mesta koristiti i satelitski podaci**
- **Optimalno lociranje solarnih panela: maksimalna proizvodnja i minimalni efekat senke**

Značaj izgradnje skladišta energije unutar punionice

- **Varijabilnost obnovljivih izvora zahteva skladište energije**
- **Skladište (grupa baterija) omogućava pomeranje energije po vremenskoj osi**
- **Pomoćni servisi u mreži: regulacija frekvencije, naponska (reaktivna) podrška i eventualno pokretanje sistema iz stanja mirovanja**

Dimenzionisanje skladišta

- **Kapacitet skladišta se određuje prema odstupanju očekivanog opterećenja i očekivane proizvodnje u najnepovoljnijem satu**
- **Pravila maloprodajnog tržišta i cene energije utiču na kapacitet skladišta**
- **Izbor tehnologije baterija u vezi sa karakteristikama punjača**

Za baterije u skladištu je posebno delikatan celoživotni ciklus

Regulativa, standardi i tarife na punionicama

- **Regulativa prilagođena pružanju usluga balansiranja od strane punionice**
- **Regulativa za klaster punionica: energetska zadruga - agregator**
- **Standardi za opremu, punjače i softver**
- **Upravljački softver integrisan sa mrežom**
- **Dinamičke tarife**

Blockchain aplikacije u elektroenergetici

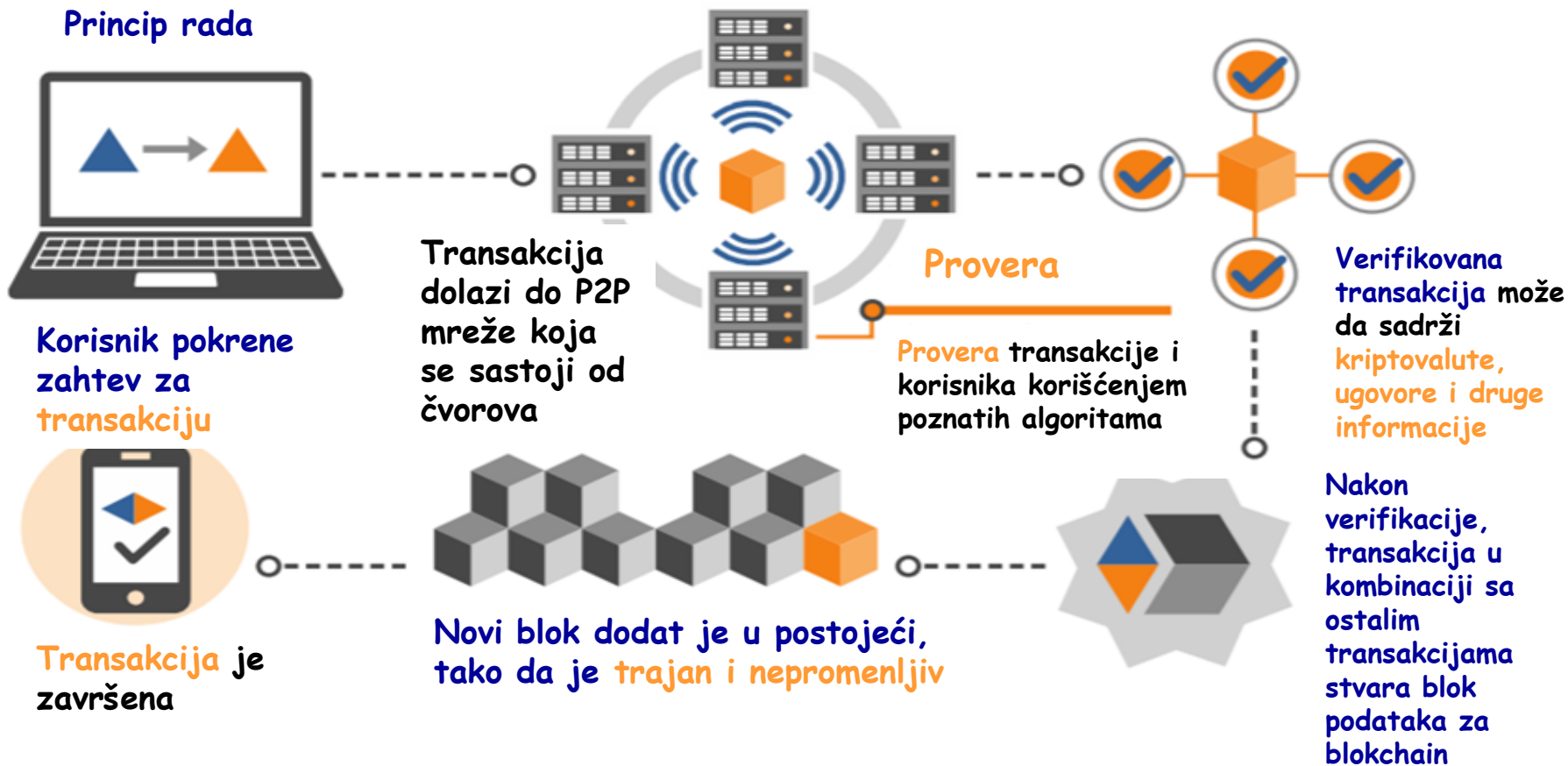
- **Mnogo učesnika dele ažurirane informacije (nema potrebe za centralnim registrom)**
- **Informacije se verifikuju i svi učesnici ih kao ažurirane imaju na raspolaganju**
- **Interakcije su sa vremenskim pečatom i međusobno uslovljene (energetski bilansi)**

Decentralizacija marketa!

Uticaj na maloprodaju i velikoprodaju...

Primena blockchain tehnologija u energetici

Princip rada



Karakteristike blockchain primena u elektroenergetici

- **Nema potrebe za trećom stranom**
- **Novi sistemi naplate na punionicama**
- **Smanjenje troškova i dupliciranja podataka**
- **Posledica: brža dekarbonizacija**
- **Velika očekivanja, ali i neizvesnosti**

Sadašnje primene blockchain tehnologija u elektroenergetici

- Mikromreže (peer-to-peer)
- Primena na strani angažovanja agregata
- Sertifikacija zelenih kWh
- Plaćanje računa kripto-valutama
- Optimalno upravljanje punionicama, punjenjem i naplatama
- Primena koncepta deljenja EV na više učesnika (ride sharing)

Otvorena pitanja blockchain primena u elektroenergetici

- Tehnološki aspekti
- Regulatoriva
- Mogućnost postizanja potrebne robustnosti i pouzdanosti
- Standardizacija komunikacijskih protokola
- Širok vremenski horizont za primene u energetici
- Sopstvena potrošnja energije

Očekivanja od blockchain primena u elektroenergetici

- **Ubrzavanje dekarbonizacije i decentralizacije**
- **Elektroenergetski sektor u primenama: rame uz rame sa finansijskim**
- **Novi poslovni modeli bez potrebe za trećom stranom (peer-to-peer)**
- **Primene u upravljanju mrežom, trgovinom, novi sistemi naplate u vezi sa OIE i EV**
- **Smanjenje troškova i dupliciranja podataka**
- **Očekuje se prelazak iz pilot projekata u praksu**

Zaključak

- **Tehnologije za široku primenu električnih vozila su raspoložive**
- **Elektroenergetska mreža može uz modifikacije da odgovori zahtevima el. vozila**
- **Punionice, punjači, blockchain tehnologije, digitalizacija sektora sa pametnom infrastrukturom otvaraju i poslovne ali i istraživačke mogućnosti**