

Napredne IT rešitve za pospeševanje zelenega prehoda

Robert Meolic, Miha Lenko, Andrej Souvent

Operato, energetske rešitve, d.o.o., Maribor, Slovenija
robert.meolic@operato.eu, miha.lenko@operato.eu, andrej.souvent@operato.eu

Sinopsis Zeleni prehod energetike temelji na masovni integraciji obnovljivih in razpršenih virov energije. Zahteve investorjev po vključevanju novih virov povzročajo težave, ker posamezni elementi omrežja zaradi termičnih omejitev ne dopuščajo dodatnih obremenitev. Zato je pomembno, da obstoječo infrastrukturo čim bolje izkoristimo. To nam omogoča tehnologija dinamičnega ocenjevanja prenosne zmogljivosti, ki temelji na izračunu termične obremenitve gradnikov omrežja. Ta tehnologija se lahko uporabi za daljnovode in za transformatorje. Še posebej zanimiva je indirektna metoda, pri kateri dobimo rezultate brez namestitve senzorjev, le z upoštevanjem vremenskih dejavnikov, ki vplivajo na segrevanje in hlajenje posameznih gradnikov. Slovenski operater prenosnega omrežja Eles je eden prvih operaterjev v Evropi, ki je indirektno metodo za dinamično ocenjevanje prenosnih zmogljivosti začel uporabljati v okviru obratovanja elektroenergetskega sistema. Skupaj s partnerji je razvil SUMO, modularen sistem IT z vsemi potrebnimi funkcionalnostmi. Dosedanje izkušnje kažejo, da sistem omogoča v povprečju od 15 do 20% večjo izkoriščenost daljnovodov od nominalne vrednosti. V članku je SUMO predstavljen z vidika funkcionalnosti in izvedbe. Opisana sta izvedba SUMO na Elesu in projekt uporabe SUMO za transformatorje v distribucijskih omrežjih. Podani so tudi trendi nadaljnjega razvoja, ki so povezani z varnostnimi izzivi ter načrtom, da SUMO postane odprtokodna platforma za povezovanje sistemov IT in OT.

Ključne besede:

SUMO

operativne tehnologije

vodenje elektroenergetskega sistema

dinamično ocenjevanje prenosne zmogljivosti

1 Uvod

Elektroenergetski sistemi spadajo med velike sisteme, tako glede količine podatkov kot tudi glede števila komponent sistema, ki delajo s podatki. Že dolgo časa ne gre več za lokalno omejene ter nepovezane naprave, danes se pričakuje, da bo podatek pridobljen na enem koncu elektroenergetskega omrežja porabljen na drugem koncu. Pri čemer si želimo, da so podprti in vključeni tako proizvodnja, prenos in distribucija energije kot tudi končni odjemalci.

Z uvajanjem zelenega prehoda, ki temelji na masovni integraciji obnovljivih in razpršenih virov energije, se izzivi obratovanja energetskega sistema le še povečujejo. Posamezni elementi omrežja zaradi termičnih omejitev pogosto ne dopuščajo dodatnih obremenitev. Nadgradnja ali celo postavitve novih transformatorjev in daljnovodov je draga in počasna rešitev, ki je odvisna od dolgotrajnega umeščanja energetske infrastrukture v prostor. Zato želimo čim večjo, a še vedno varno izkoriščenost obstoječih naprav, kar nam lahko omogoči učinkovit sistem vodenja podprt z naprednimi informacijskimi rešitvami.

Dinamično ocenjevanje prenosne zmogljivosti (DTR, angl. dynamic thermal rating oz. včasih tudi DLR, angl. dynamic line rating) je napredna tehnologija v prenosnih in distribucijskih električnih omrežjih. Temelji na izračunu termične obremenitve daljnovodov in transformatorjev. Še posebej zanimiva je indirektna metoda, pri kateri dobimo rezultate brez namestitve senzorjev, le z upoštevanjem vremenskih dejavnikov, ki vplivajo na segrevanje in hlajenje posameznih elementov. Ta pristop omogoča tudi planiranje prenosne zmogljivosti, če so poleg vremenskih podatkov za trenutne razmere (angl. nowcast) na voljo tudi tisti za prihodnost (angl. forecast). Slovenski operater prenosnega omrežja Eles je eden prvih operaterjev v Evropi, ki je indirektno metodo za dinamično ocenjevanje prenosnih zmogljivosti vpeljal v produkcijsko obratovanje. Njihova rešitev, ki so jo razvili skupaj s partnerji, se imenuje SUMO (Sistem za ugotavljanje meja obratovanja).

SUMO je modularen sistem z elementi informacijskih tehnologij (IT) in operativnih tehnologij (OT). V praksi se del omrežja, ki je povezan v internet in kjer prevladujejo sistemi IT, pogosto označuje kot poslovno omrežje, produkcijsko omrežje z integriranimi procesnimi nadzornimi sistemi, ki je ločeno in kjer prevladujejo sistemi OT, pa je označeno kot tehnično omrežje. SUMO povezuje oba segmenta, kar mu omogoča prav posebno mesto v produkcijskih okoljih in ga je zato mogoče opremiti tudi z drugimi funkcionalnostmi, ki niso neposredno povezane s tehnologijo DTR/DLR. Tipični elementi IT v sistemu SUMO so baza podatkov, integracijsko vodilo (angl. integration bus), različne aplikacije, ki so preko tega vodila integrirane, sistemi za sprotni nadzor in sistemi za vizualizacijo ter analizo podatkov. Med tipične gradnike OT pa spadajo komunikacija s senzorji in števcji na terenu, komunikacija s sistemi SCADA (angl. Supervisory Control And Data Acquisition) in sistemi za namensko vizualizacijo podatkov.

V nadaljevanju članka je SUMO predstavljen z vidika funkcionalnosti in izvedbe. V drugem poglavju opišemo področje in izzive, ki so spodbudili razvoj sistema in dogajanje, ki vplivajo na njegovo uveljavitev in širitev v produkcijskih sistemih. V tretjem poglavju je podan opis SUMO, ki je zgrajen kot storitveno usmerjena arhitektura. Podprta sta protokol SOAP in tehnologija RESTful. Pomembna sestavna dela sta še Nagios XI za sprotni nadzor ter Grafana za vizualizacijo podatkov in podpora analitiki. V četrtem poglavju predstavimo nekaj primerov iz dosedanje uporabe. Peto poglavje je namenjeno izzivom, ki so bili deležni največje pozornosti pri razvoju SUMO 3. V zaključku strnemo dosedanje izkušnje in izpostavimo nekaj načrtov za prihodnost.

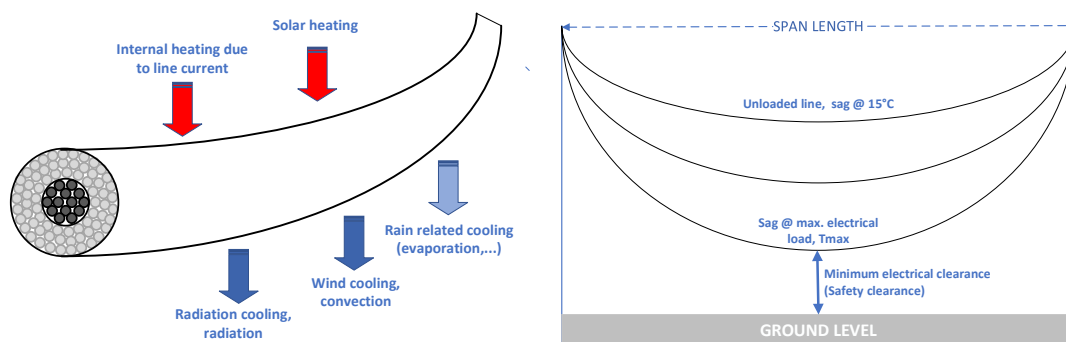
2 Zeleni prehod energetike

V skladu z evropskim zelenim dogovorom, cilja Evropska unija na 55 % zmanjšanje emisij toplogrednih plinov do 2030 in ogljično nevtralnost do 2050 [6]. Ti cilji so zelo ambiciozni in tako zahtevajo precejšnje spremembe tudi v evropskem elektroenergetskem sistemu. Množična integracija obnovljivih virov energije, ob sočasnem izklapljanju nekaterih vrst konvencionalnih virov in vzpostavljanjem evropskega notranjega energetskega trga, povzroča

številne težave povezane z nestanovitnostjo proizvodnje električne energije, stabilnosti sistema, inercijo sistema, sistemskimi rezervami, zamašitvami v omrežju, itd.

Trenutno je hitrost nastajanja težav večja od hitrosti uvajanja rešitev, kar predstavlja visoko tveganje za visoko kakovost oskrbe z električno energijo, ki smo je vajeni v EU. Hitro inoviranje in uvajanje naprednih rešitev je zato ključnega pomena pomen za pravočasno reševanje problemov. Ukrepanje je potrebno za vse deležnike, tudi za sistemske operaterje prenosih omrežij. Za njih je ključno vprašanje, kako obratovati sistem fleksibilno in hkrati varno, stabilno ter ekonomsko učinkovito. Posledično to tudi pomeni, da moramo obstoječo infrastrukturo čim bolj izkoristiti. Tu igrajo ključno vlogo sistemi za dinamično ocenjevanje zmogljivosti (DRS, angl. dynamic rating systems), ki rezultate izračuna dinamičnega ocenjevanja prenosnih zmogljivosti uvajajo v produkcijska okolja.

Osnovna ideja DRS je upoštevati vremenske razmere vzdolž vodnikov in ob transformatorjih tako, da omogočimo čim večji prenos energije ob še varnem obratovanju [1]. Varnost obratovanja je pri daljnovodu na primer pogojena s tem, koliko se zaradi segrevanja vodnika poveča njegov povese (slika 1) oziroma s tem, da se ne zgodi deformacija materiala vodnika. Z uporabo DRS povečamo prenosno zmogljivost v primerjavi s situacijo, ko za obratovanje ves čas uporabljamo statično mejo, ki je izračunana na osnovi za hlajenje vodnikov najbolj neugodnih pogojev, kot so zunanja temperatura 35 °C, hitrost vetra 0,6 m/s s pravokotnim vpadnim kotom in sončno obsevanje 900 W/m² [2]. Daljnovodi so projektirani tako, da tudi pri tako neugodnih vremenskih pogojih ne pride do kršenja varnostnih višin. Ker pa so v večini časa vremenski pogoji ugodnejši od navedenih, lahko ta dodaten pas izkoristimo za povečanje prenosne zmogljivosti, ob predpostavki seveda, da imamo dobre modele, ki nam pravilno izračunajo dinamično termično mejo, ki zagotavlja, da vodnik ne bo presegel kritične temperature oziroma povesa.



Slika 1: Tehnologija DTR omogoča obratovanje z dinamičnim prilagajanjem vremenskim razmeram.

Vir: lasten.

Nekoliko manj očitna, a pomembna komponenta zelenega preboja v energetiki je povečati odpornost elektroenergetskega sistema tako, da se je zmožen prilagajati ne samo na povečane obremenitve s strani uporabnikov, ampak tudi na povečane grožnje s strani ekstremnih vremenskih pojavov zaradi podnebnih sprememb. Vedno silovitejše vremensko dogajanje lahko prizadene posamezne odseke omrežja in takrat mora preostali del prevzeti večje obremenitve. Zelo poučen primer take situacije v Sloveniji se je zgodil med žledom leta 2014, ko je bilo poškodovanih okoli 52 km daljnovodov (slika 2) [3].

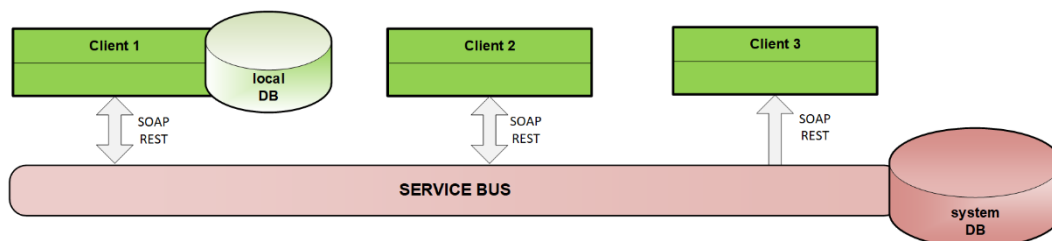


Slika 2: Posledice žleda leta 2014 v Sloveniji.

Vir: [3].

3 Sistem za ugotavljanje meja obratovanja

Uveljavljen pristop pri izgradnji velikih porazdeljenih sistemov je storitveno usmerjena arhitektura (angl. service-oriented architecture, SOA), kot je prikazana na sliki 3. Njen osrednji del je integracijsko vodilo, ki ponuja enovit in univerzalen vmesnik. Za izmenjavo podatkov lahko izberemo različne tehnologije, najpogosteje so to spletne storitve SOAP in REST.

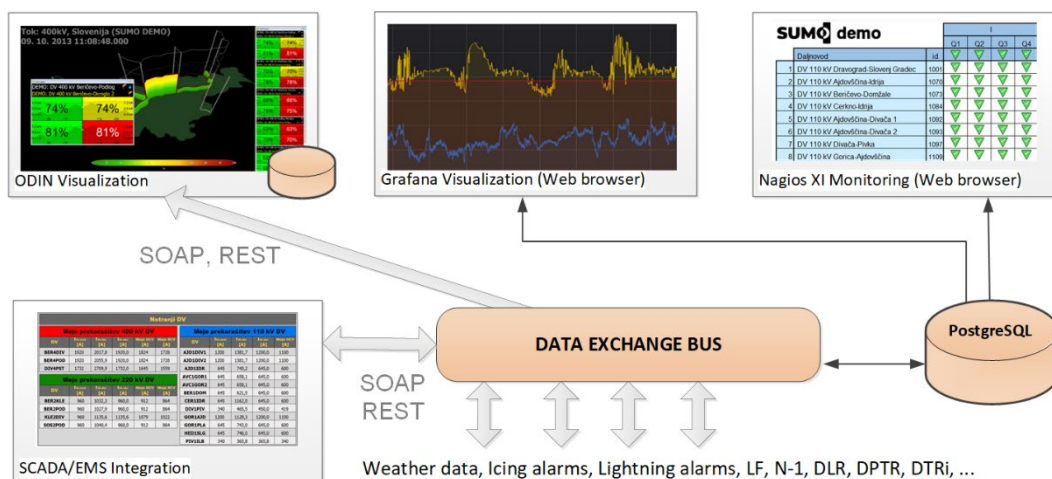


Slika 3: Arhitektura s servisnim vodilom.

Vir: [5].

Sistem za ugotavljanje meja obratovanja SUMO je v osnovi storitveno usmerjena arhitektura, okoli katere so postavljene druge komponente [4][5]. Jedrni del sestavljata integracijsko vodilo zgrajeno s tehnologijama Apache Karaf in Apache CXF in baza podatkov PostgreSQL. Integracijsko vodilo uporabniki dojemajo kot skupek povezanih spletnih storitev. Vse ostale komponente so postavljene izven jedra in morajo za komunikacijo z vodilom ali bazo izpolnjevati predpisane zahteve, ki so povezane predvsem z zagotavljanjem varnosti. Izpostavimo lahko, da je tudi proces za izračun DTR obravnavan enako kot drugi uporabniki storitvenega vodila. Vizija SUMO je, da postane splošen gradnik za povezovanje IT in OT elementov v elektroenergetskih sistemih, izračun DTR je tako le ena od podprtih funkcionalnosti.

Na sliki 4 je dejanska arhitektura SUMO. Zaradi učinkovitosti določenim komponentam dovoljujemo branje podatkov neposredno iz baze, pisanje podatkov gre vedno preko integracijskega vodila.



Slika 4: Dejanska arhitektura SUMO.

Vir: lasten.

Najpomembnejše komponente, ki so v trenutni izvedbi zbrane okoli jedrnega dela, so:

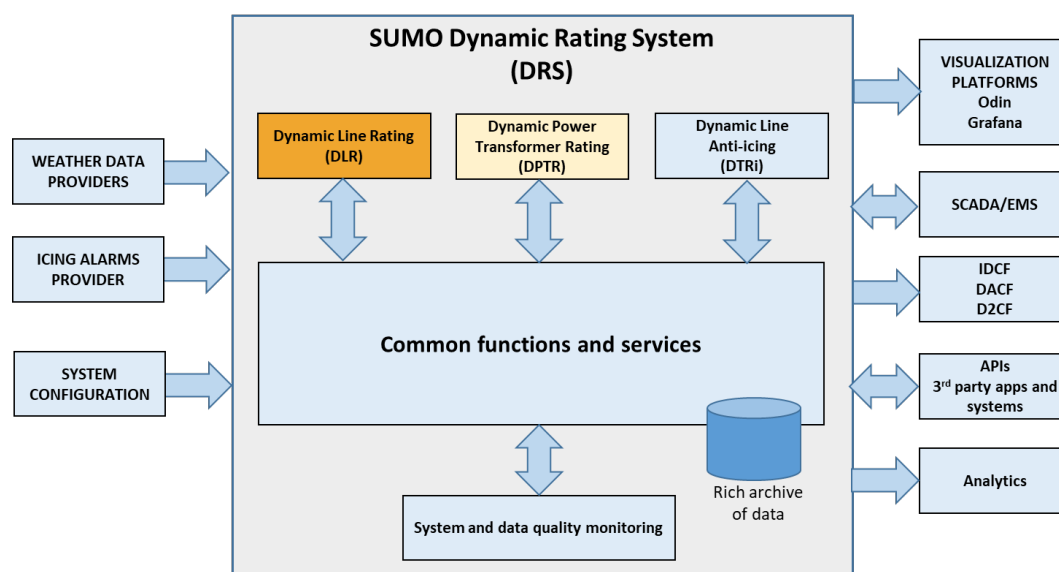
- SCADA/EMS integracija – Običajno je izvedena s posebnimi procesnimi protokoli kot so IEC 104 (standard IEC 60870-5-104), ICCP/TASE.2 (standard IEC 60870-6), OPC UA in drugimi. V ta namen uporabljamo posebne prehode, ki pretvarjajo med temi protokoli in SOAP/REST storitvami SUMO.
- Sistem za vizualizacijo in analitiko Grafana – Omogoča spremljanje podatkov v živo, je pa njegova osnovna vloga podpora analitiki. Poleg podatkov iz SUMO so vključeni tudi rezultati iz drugih neodvisnih

virov in podatki, ki so izračunani na osnovi podatkov iz SUMO v drugih sistemih. Najbolj zanimiv primer je izvoz podatkov iz baze SUMO v računalniški oblak, kjer se obdelajo z metodami strojnega učenja in umetne inteligence, rezultate pa potem prikažemo poleg izvornih podatkov. Kot celota predstavlja ta komponenta zaključen podsistem IT, pri katerem je potrebno poskrbeti predvsem za povezovanje z drugimi sistemi, upravljanje z množico uporabnikov in skrbno spremljati varnostno stanje. Zaradi učinkovitosti črpa Grafana podatke neposredno iz baze.

- Sistem za nadzor NagiosXI – Ima več ločenih funkcionalnosti. Njegovo bistvo je v zmožnosti obveščanja in alarmiranja uporabnikov preko elektronske pošte, preko kratkih sporočil SMS, preko kanalov na raznih platformah in podobno. V osnovi se nadzira delovanje strojne in systemske programske opreme na vseh strežnikih ter dotok in kvaliteta podatkov, ki prihajajo v bazo SUMO. Dodatno pa lahko, na primer, ta podsistem skrbi za centralizirano zbiranje dnevnikov, obveščanje o dogajanju na sistemu in podobno. Tudi ta sistem ima omogočeno branje nekaterih podatkov neposredno iz baze.
- ODIN – Je namenska vizualizacija, ki je namenjena operaterjem v centru vodenja. Kot taka sledi smernicam sistemov OT in je osredotočena na prikaz najpomembnejših informacij v zelo nazorni obliki podprti s 3D OpenGL vizualizacijo.
- Pridobivanje vremenskih podatkov in raznih modelskih napovedi ter pošiljanje rezultatov – to so podatkovni tokovi, ki so na sliki prikazani pod storitvenim vodilom. Nekatere rezultate in modelske napovedi pripravijo strežniki, ki so postavljeni poleg jedrnega dela SUMO (na primer DLR in LF), nekateri od teh podatkov pa pridejo z interneta. Za pridobivanje podatkov iz interneta se uporabljajo strežniki v coni DMZ. Podatki prihajajo na zunanje strežnike z uporabo različnih protokolov, recimo preko HTTPS, FTPS, z uporabo komunikacije s sporočili MQTT in še kako drugače. Za branje podatkov iz SUMO (imajo le nekateri procesi) in za nalaganje podatkov na SUMO se vedno uporabljajo podprti spletni vmesniki.

SUMO je velik sistem, ki teče na skupku od 4 do 8 virtualiziranih računalnikov. Operacijski sistem na vseh računalnikih je Red Hat Linux (v razvojnih instancah ga včasih nadomestimo s CentOS Stream). Velikost SUMO lahko ilustriramo z naslednjimi podatki:

- Integracijsko vodilo ima okoli 30 spletnih vmesnikov in več kot 100 metod.
- Baza podatkov ima okoli 30 tabel, ki imajo skupaj približno 400 stolpcev.
- Za izvedbo posameznih komponent SUMO uporabljamo Java, C++ in Python. Analitiko izvajamo z uporabo Python in R.
- SUMO ima modularno zgradbo tako, da je omogočena integracija in sočasna uporaba več algoritmov. Na primer, za delovanje učinkovitega DRS (slika 5) so potrebni izračuni trenutne prenosne zmogljivosti daljnovodov in trenutne obremenljivosti transformatorjev, kratkoročna in srednjeročna napoved prenosne zmogljivosti daljnovodov in obremenljivosti transformatorjev za potrebe vodenja sistema ter za potrebe planiranja kapacitet, izračun ukrepov za preprečevanje žledu in tudi drugi izračuni potrebni za učinkovito vizualizacijo in analitiko.
- V produkciji na Elesu ima nadzorni sistem Nagios XI definiranih več kot 1500 servisov, za katere se redno spremlja status.
- V produkciji na Elesu za vsak daljnovod, ki je vključen v izračun, vsako uro pridobimo od 20.000 do 40.000 podatkov o vremenu in tokovih (količina podatkov je odvisna od dolžine daljnovoda oz. števila stebrov) in izračunamo še precej več rezultatov.



Slika 5: Struktura sistema SUMO.

Vir: lasten.

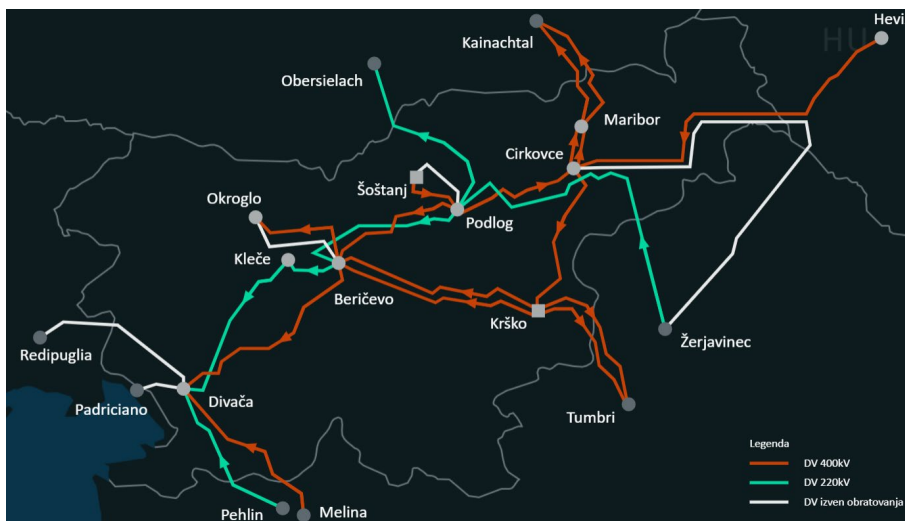
Če se poglobimo v tokove podatkov v SUMO, iz SUMO in znotraj SUMO, ki jih prikazuje slika 5, lahko opazimo tudi varnostno - tehnične izzive, ki niso povezane z velikostjo sistema. Omenimo le nekaj najbolj očitnih:

- sistem je hkrati IT (veliko uporabnikov, zunanji uporabniki) in OT (obdeluje procesne podatke in s svojimi rezultati vpliva na obratovanje elektroenergetskega sistema);
- sistem se hkrati povezuje z nekaterimi storitvami preko interneta (dobava vremenskih podatkov), kot tudi z varnostno kritičnimi procesnimi sistemi, kar zahteva skrbno načrtovanje, izvedbo in obratovanje tudi z vidika zahtev kibernetске varnosti;
- sistem se dinamično konfigurira in uporablja neodvisne vire vhodnih podatkov, hkrati pa mora biti robusten za vodenje procesnih sistemov;
- v sistem vstopajo aplikacije neodvisnih razvijalcev, hkrati pa ima sistem dostop do kritične infrastrukture.

4 Uporaba sistema SUMO

Najdlje trajajoča uporaba SUMO je na področju obratovanja slovenskega prenosnega omrežja. Prenosni operater Eles ima v sistem vključenih 29 daljnovodov in 11 transformatorjev. Med novjšimi uporabami SUMO pa izpostavimo še projekt TrafoFlex, katerega nosilec je SODO – Sistemski operater distribucijskega omrežja z električno energijo in ki se ukvarja z dinamičnim ocenjevanjem prenosnih zmogljivosti distribucijskih transformatorjev.

Eles upravlja prenosno omrežje, ki deluje na 400, 220 in 110 kV napetostnih nivojih. Slika 6 prikazuje 400 in 220 kV omrežja ter povezave teh omrežij z omrežji sosednjih držav. Pomembno je poudariti, da mora prenosni operater zaradi specifične lege Slovenije obvladovati tudi čezmejne pretoke energije. Prenos energije je skrbno planiran za do dva dni vnaprej, pri čemer so zelo pomembne napovedi razpoložljivih prenosnih kapacitet in s tem povezane sigurnostne analize. SUMO je bil na Eles vključen v produkcijo leta 2017. Razpoložljive prenosne kapacitete se računajo za topologijo N in N-1, slednja označuje situacijo, ko izpade eden (najbolj neugoden) element, sistem pa mora to vseeno preživeti. V produkciji je tudi modul za preprečevanje nastanka žleda, ki tehnologijo DLR uporablja v nasprotni smeri (namesto vzdrževanja temperature pod zgornjo mejo se osredotočimo na vzdrževanje temperature nad spodnjo mejo, v tem primeru nad lediščem), ki ga leta 2014 žal še ni bilo, so pa naknadne analize pokazale, da bi lahko z njim pri nekaterih daljnovodih preprečili škodo.



Slika 6: Omrežje Elesa z označenimi smermi toka energije za izbrani dan.

Vir: eles.si.

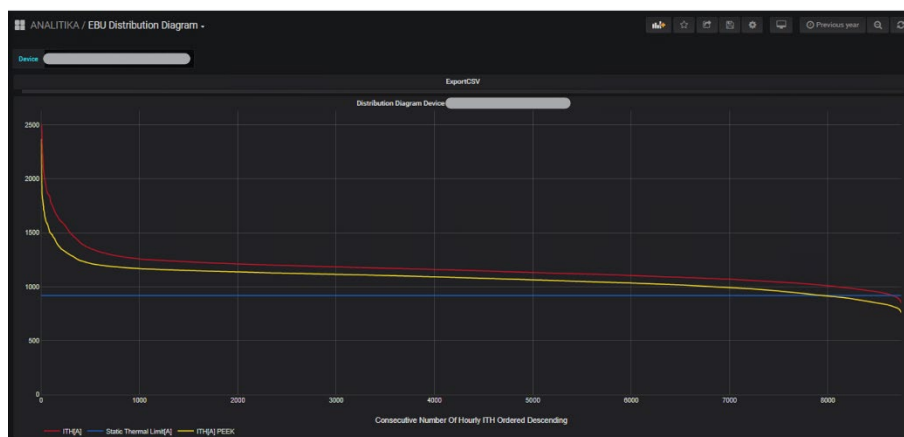
Eles s pomočjo SUMO med obratovanjem omrežja vsako leto v povprečju reši 50 primerov prekoračitev statične meje v topologiji N in več kot 500 primerov prekoračitev statične meje v topologiji N-1. To pomeni, da ko obremenitev prekorači statično mejo, izračun SUMO pa pokaže na dovolj veliko prenosno zmogljivost nad statično mejo, operaterjem ni potrebno odreagirati s predvidenimi mehanizmi odziva, ki so lahko tudi finančno obremenjujoči za družbo Eles.

Bogat arhiv podatkov, ki se je na Elesu skozi leta zbral v bazi SUMO, omogoča kompleksne vizualizacije in analize. Na slikah 7, 8 in 9 so nekateri zanimivi analitični prikazi v Grafani. Ti rezultati, ki nastajajo z uporabo naprednih IT rešitev, imajo poleg neposredne vključenosti v dnevno vodenje omrežja tudi veliko vrednost pri načrtovanju nadgradenj omrežja in pri planiranju obratovanja in zato neposredno pripomorejo k doseganju ciljev zelenega prehoda v energetiki.



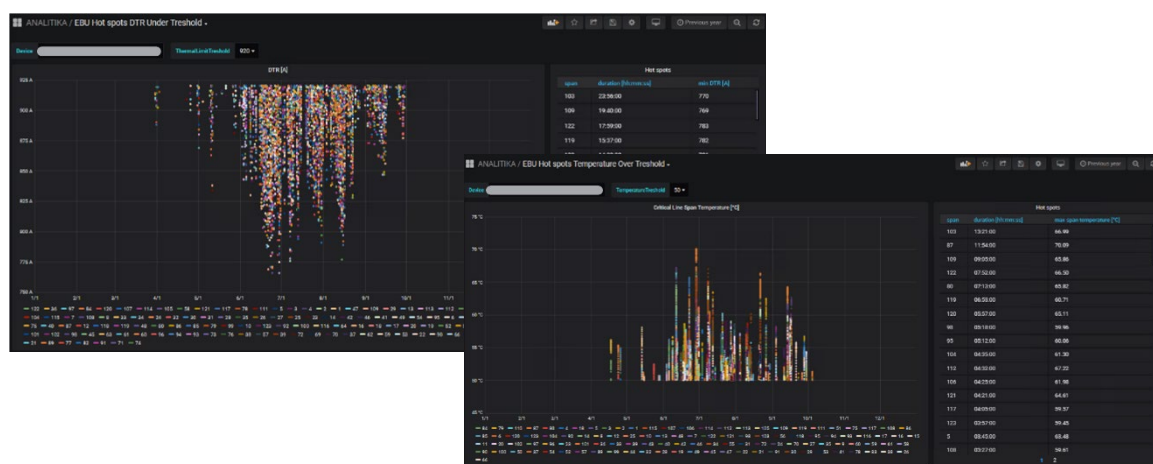
Slika 7: Analiza razmer vzdolž vodnika.

Vir: lasten.



Slika 8: Distribucijski diagram

Vir: lasten.



Slika 9: Različne »hot-spots« analize.

Vir: lasten.

Cilj projekta **TrafoFlex** je dinamično določanje termične obremenljivosti transformatorjev za potrebe obratovanja, trga prožnosti in upravljanja s sredstvi. Želimo torej povečati zmožnost obremenjevanja transformatorjev na varen način, brez škodljivega vpliva na življenjsko dobo. Rešitev bo hkrati predstavljala nov in zelo učinkovit način ocenjevanja dejanske obremenjenosti transformatorjev, kar je pomembno z vidika spremljanja t.i. »zdravstvenega stanja« naprav za potrebe upravljanja s sredstvi.

V projektu je bil razvit nov splošen algoritem za izračun dinamične ocene prenosne zmogljivosti distribucijskih transformatorjev. Distribucijski transformatorji se namreč precej razlikujejo med seboj, predvsem po načinu umestitve v transformatorske postaje. V projekt smo vključili vse najpomembnejše oblike izvedb v Sloveniji, ki smo jih označili kot: zidana izvedba, pločevinasta izvedba, izvedba v stavbi in jamborska izvedba. Glavna ideja je izdelati model, ki izračuna dopustni tok brez uporabe drage senzorske opreme in samo z uporabo živih vremenskih podatkov ter zgodovinskih podatkov o obnašanju transformatorja. Projekt traja od decembra 2021 do marca 2023, uporabljena pa je instanca SUMO, ki teče na infrastrukturi Operato.

V projekt je vključenih 19 transformatorjev iz območja Elektro Gorenjska in en transformator iz območja Elektro Celje. Vse te naprave smo opremili s senzorji, ki merijo temperaturo na ohišju transformatorja in temperaturo v okolici (oboje lahko v več točkah). Ti podatki služijo za verifikacijo modelov. Komunikacijski prehod je izveden z IoT napravo GW4100 nemškega podjetja IoTmaxx (<https://www.iotmaxx.com/>). GW4100 podpira različne komunikacijske protokole, med drugimi tudi 1-wire, ki se uporablja za priključitev senzorjev. Na njem teče različica Linux sistema primerne za vgrajene sisteme. Operato je izdelal programsko opremo, ki iz senzorjev vsako minuti odčita vrednosti ter jih pošlje preko MQTT protokola do SUMO MQTT posrednika. MQTT je zaščiten s TLS –

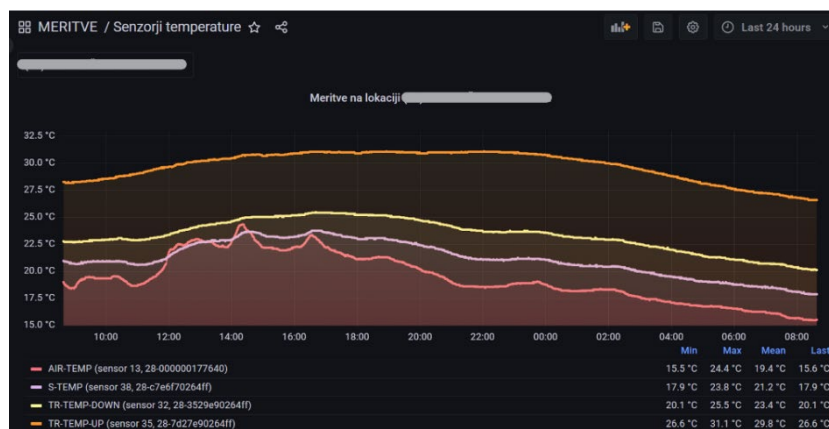
na vsaki napravi je nameščen certifikat, ki zagotavlja avtentikacijo naprave in šifriranje prometa. Za dostop do mobilnega omrežja uporabljamo multi-roaming SIM kartice podjetja 1NCE (<https://www.1nce.com/>). Vsi zajeti podatki se shranjujejo tudi na pomnilniško kartico, tako da ob morebitnem izpadu mobilnega omrežja podatkov ne izgubimo. Temperaturni senzori so DS18B20 digitalni temperaturni senzori vgrajeni v vodoodporno ohišje iz nerjavečega jekla. Temperaturno območje sensorja je od -55°C do $+125^{\circ}\text{C}$, natančnost pa $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ v območju med -10°C to $+85^{\circ}\text{C}$. Senzorji se priključijo na 1-wire vodilo. Vgrajeni so v 3D natisnana ohišja iz PLA HT filameta, ki so jih sami oblikovali in izdelali. V ohišja smo dodali magnete za enostavno pritrditev na kovinsko podlago.

Na sliki 10 je nekaj fotografij s terena, slika 11 pa prikazuje vizualizacijo meritev v Grafani. Največji izziv s strani systemskega vzdrževanja je zagotoviti zanesljiv in stalen zajem podatkov, obveščanje o morebitnih izpadih, varno hranjenje podatkov in njihovo razpoložljivost vsem sodelujočim. Projekt se sedaj bliža polovici in trenutno je v teku produkcijska izvedba algoritmov, ki jih kot prototipe pripravljajo sodelujoči raziskovalci iz IJS in EIMV.



Slika 10: Namestitve merilne tehnike ob transformatorjih.

Vir: lasten.



Slika 11: Vizualizacija meritev v projektu TrafoFlex..

Vir: lasten.

5 Razvoj SUMO 3

Trendi, ki so narekovali pripravo SUMO 3, so povezani predvsem z dvema ciljema:

- obvladovanje varnostnih izzivov, ker ima SUMO v produkciji značilnosti varnostno-kritičnega sistema, pri katerem napačno delovanje oz. nedelovanje lahko povzroči materialno škodo,
- razvoj SUMO v smeri povezovalne platforme, ki poleg DTR omogoča integracijo drugih podsistemov.

Kritična infrastruktura zaradi vedno večje povezanosti z drugimi omrežji postaja pogosta tarča kibernetičnih napadov. Sploh proizvajalci in operaterji bolj popularnih SCADA in industrijskih krmilnih sistemov (angl. Industrial Automation Control System – IACS) poročajo o vedno več poskusov vdora, ker bolj kot je sistem razširjen, bolj je zanimiv zaradi možnosti uporabe enakih napadov na več tarčah.

Povezava poslovnega in tehničnega omrežja povzroči dovzetnost kritičnih sistemov za ranljivosti in njihovo izkoriščanje. Napad na tako omrežje lahko povzroči zaustavitev celotnih sistemov in ogroža varnost v okolici sistema. Industrijski krmilni sistemi se glede zagotavljanja njihove varnosti od tradicionalnih okolij IT bistveno razlikujejo v nekaj kritičnih točkah, kot je npr. daljše življenjsko obdobje sistemov, slabša ozaveščenost glede varnosti, slabše upravljanje z varnostnimi popravki, potrebna 24/7 razpoložljivost, redkejši varnostni testi in redkeje razpoložljiva testna okolja. Iz teh razlogov je zagotavljanje varnosti v tehničnih omrežjih velikokrat težavnejše in obenem izredno pomembno. Izpadi teh sistemov so namreč lahko posledica tako zlonamernih dejanj s strani zunanjih napadalcev, kot tudi posledica malomarnega obnašanja zaposlenih.

SUMO 2.0 je bil zgrajen na predpostavki značilni za starejše sisteme OT, da je varnost sistema zagotovljena z njegovo nepovezanostjo – računalniki, ki tvorijo SUMO 2.0 nimajo dostopa do interneta [4]. Vendar pa se med obratovanjem v produkciji izkaže, da popolna izolacija sistema sama po sebi ne preprečuje napačnih posegov niti realna predpostavka. Funkcionalnosti nadzornega sistema, sistemov za vizualizacijo in predvsem sistemov za izvoz in izmenjavo podatkov zahtevajo, da se do notranjega dela sistema dostopa od zunaj, torej iz drugih delov tehničnega omrežja ali pa celo iz poslovnega omrežja.

Industrija se je na problematiko zagotavljanja varnosti tehničnih omrežij odzvala s pripravo standardov za pomoč končnim uporabnikom in ponudnikom pri zaščiti teh sistemov. IEC 62443 sta razvila komiteja ISA99 in IEC z namenom izboljšanja varnosti, razpoložljivosti, integritete in zaupnosti komponent oz. sistemov v uporabi v industrijski avtomatizaciji in nadzoru. Družina standardov IEC 62443 je uporabna v vseh segmentih industrijskega nadzora in se razvija v vodilni standard v industriji.

Pri razvoju SUMO 3 smo se osredotočili na pogoje za varnostni nivo SL3, kakor je opredeljen v standardu IEC 62443-3-3: Industrial communication networks - Network and system security - Part 3-3 (slika 12).

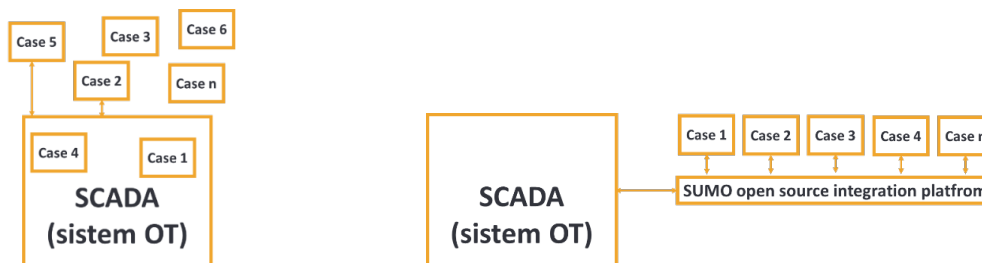
Varnostni nivo	Tarča	Namen	Viri
SL1	Naključna	Nenamerno	Posameznik
SL2	Žrtve kriminala	Preprost	Mali viri, izoliran posameznik
SL3	Teroristične tarče	Sofisticiran napad	Zmerni viri, skupina hekerjev
SL4	Državna varnost	Sofisticirana kampanja	Veliki viri, multidisciplinarne skupine

Slika 12: Tabela varnostnih nivojev po standardu IEC 62443.

Vir: lasten.

Varnostni nivo SL3 predpostavlja tudi izpolnjevanje vseh zahtev nižjih varnostnih nivojev. Ob pregledu zahtev (ki jih je za vsak varnostni nivo okoli 20) smo se osredotočili na najpomembnejše in ugotovili, da jih lahko vse enotno in ustrezno naslovimo z uvedbo podpisovanja prometa. Za podpisovanje se v SUMO 3 uporabljajo certifikati X.509 v navezi s knjižnico Apache CXF, pri vmesnikih REST je uporabljen protokol izmenjave sporočil JOSE.

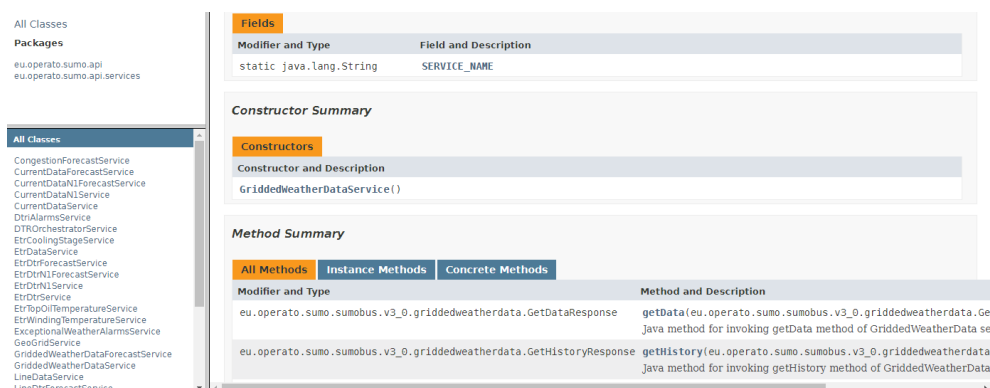
Glede razvoja SUMO v smeri povezovalne platforme je bilo naše izhodišče trenutno stanje na področju OT v energetiki. V praksi se pojavlja veliko različnih rešitev, ki se vsaka po svoje povezuje s kritično infrastrukturo, to je s sistemi SCADA (slika 13, diagram na levi). Posledica je drago in zahtevno vzdrževanje ter varnostna tveganja. SUMO tukaj vstopa kot povezovalna platforma in spremeni pristop tako, kot je prikazano na sliki 13 na desnem diagramu. Da bi to omogočili, je treba API za SUMO 3 narediti kot odprtokodni izdelek in omogočiti nastanek ekosistema aplikacij okoli te integracijske platforme.



Slika 13: Vloga SUMO pri povezovanju s sistemi OT.

Vir: lasten.

SUMO 3 gradi v začrtano smer, trenutno sta na voljo odprtokodna API za Java in C++. Slednji je narejen z uporabo knjižnice gSOAP (<https://www.genivia.com/dev.html>) in razširitve WS-Security za podpisovanje prometa (<https://www.genivia.com/doc/wsse/html/wsse.html>). Na sliki 14 sta prikazana dokumentacija za SUMO 3 Java API primer uporabe SUMO 3 C++ API.



```
const string endpoint = "http://bus.sumo3.operato.eu:7000/sumobus/v3.0/"
const string griddedWeatherDataUrl = endpoint + "griddedweatherdata";
Sumo::GriddedWeatherData griddedweatherdata(&griddedWeatherDataUrl[0]);
griddedweatherdata.setContext(partner, "OPERATO", "PUTGWD-WEATHER");
griddedweatherdata.makeSigned(cert_default0, rsa_privk_default0);
string griddedWeatherDataVersion = griddedweatherdata.getVersionService();
if (griddedweatherdata.error_msg != "")
    cout << griddedweatherdata.error_msg << endl;
else
    cout << "GriddedWeatherData version " << griddedWeatherDataVersion;
```

Slika

14: Dokumentacija za Java API in primer uporabe C++ API za SUMO 3.

Vir: lasten.

6 Zaključek

Namen članka je širši javnosti predstaviti tehnične značilnosti SUMO in podati primere njegove uporabe. Gre za slovenski produkt, ki je nastal z investicijami družbe Eles ob sodelovanju raziskovalnih inštitucij EIMV, IJS in Fakultete za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Leta 2021 je bil predan v skrbništvo in nadaljnji razvoj podjetju

Operato. Osnovni sistem ima tudi ambicijo, da postane odprtokodni povezovalni gradnik za IT in OT v elektroenergetskih podjetjih. V projektu SUMO nastajajo tudi napredni algoritmi za dinamično ocenjevanje prenosne zmogljivosti in druge aplikacije, ki omogočajo uporabo sistema na področju obratovanja elektroenergetskega sistema in trga z energijo.

Uporaba tehnologije DTR v Sloveniji v povprečju omogoča, da daljnovodi v prenosnem omrežju od 92% do 96% časa delujejo nad postavljeno statično mejo z dobitkom kapacitete od 15% do 20%. Pilotni projekt glede uporabe SUMO v distribucijskih omrežjih se je začel konec leta 2021, prvi rezultati pa bodo na voljo konec leta 2022.

SUMO je tudi v svetovnem merilu eden od redkih sistemov za izračun dinamične obremenljivosti daljnovodov in transformatorjev z indirektno metodo, ki je razvit ter preizkušen do stopnje, da se ga lahko vpelje v produkcijsko okolje. Ideja indirektna metode je, da se izračun izvaja na podlagi modelskih vremenskih podatkov in ne z uporabo dragih senzorjev nameščenih na vodnike. Glavna prednost indirektna metode je, da modeli vremena lahko predvidijo tudi razmere v bližnji prihodnosti, česar senzori ne zmorejo. Zato lahko SUMO izvaja tudi napovedi prenosnih kapacitet, do dva dni vnaprej. Globalni modeli za ocenjevanje in napovedovanje vremena se sicer ob podpori satelitov in vremenskih postaj neprestano izboljšujejo ter vključujejo vedno več mikroskalnih značilnosti. Nekateri ponudniki komercialnih vremenskih modelov se danes pohvalijo, da imajo njihovi podatki prostorsko ločljivost 100 metrov, kar je primerno za uporabo v SUMO, ker je večina stebrov daljnovodov od 100 do 300 metrov narazen. Vendar analize pokažejo, da kakovost teh podatkov ni na dovolj visokem nivoju, zato je za sedaj še nujno lastno mikroskalno procesiranje z uporabo vremenskih postaj vzdolž tras daljnovodov.

SUMO ima veliko izzivov tako na področju algoritmov s področja energetike in termodinamike kot tudi glede načrtovanja in vzdrževanja informacijskega sistema. Zaradi povezovanja IT in OT moramo zagotoviti namenske gradnike za varno izmenjavo podatkov. Zbirati, hraniti in analizirati je potrebno velike količine podatkov, na primer, za daljnovode Eles, ki so vključeni v SUMO in imajo skupaj približno 2500 razpetin, vsak dan pridobimo približno 20 milijonov vremenskih podatkov, baza podatkov pa narašča s hitrostjo 2 TB na leto. Tudi oblikovanje odprtokodnega jedra ter usklajevanje vmesnikov API zahteva precej organizacijskih spretnosti.

SUMO je že v uporabi na Hrvaškem, postavljamo pa ga še v Litvi. V prihodnje se nadejamo še več uspešnih namestitev v tujini. Pričakujemo tudi dodatne primere uporabe, ki niso tesno povezani s tehnologijo DTR. V teku je že sodelovanj pri aplikativni nalogi Obvladovanje obratovalnih tveganj v realnem času na Elesu, pri kateri bo SUMO predvsem posrednik med aplikacijami, ki se nahajajo v IT in OT omrežjih.

Za doseg svojih ciljev v družbi Operato aktivno iščemo nove partnerje in tudi sodelovanje z raziskovalnimi in akademskimi inštitucijami.

Literatura

- [1] KOSEC Gregor, MAKSIC Miloš, DJURICA Vladimir. "Dynamic Thermal Rating of Power Lines – Model and Measurements in Rainy Conditions". *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2017.
- [2] MAKSIC Miloš, DJURICA Vladimir, SOUVENT Andrej, SLAK Jure, DEPOLLI Matjaž, KOSEC Gregor. "Cooling of Overhead Power Lines Due to the Natural Convection". *Int. Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2019.
- [3] KOSMAČ Janko, KOSEC Gregor, VERTAČNIK Borut, ZIMA Nejc. »Resilience Improvement Attempts after Severe Icing Storm«, 2nd South East European Regional CIGRE Conference, Kyiv, 2018
- [4] KOLEŽNIK Janko in drugi. "Nadgradnja SUMO BUS z optimizacijo podatkovnega modela in arhitekture vodila: študija št. 2438". *Elektroinštitut Milan Vidmar, Ljubljana*, 2019.
- [5] MEOLIC Robert, KOLEŽNIK Janko, BERANIČ Miroslav. »Testiranje sprejemljivosti izvedbe SOAP spletnih servisov sistema SUMO«. *PIES* 2019.
- [6] Position on incentivising smart investments to improve the efficient use of electricity transmission assets. *ACER*. 2021.