

DOI: [10.46793/CIGRE37.C2.06](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.C2.06)**C2.06****UNAPREĐENJE KOORDINACIJE PLANIRANJA ISKLJUČENJA KORIŠĆENJEM
SOFTVERSKOG REŠENJA RAZVIJENOG U OKVIRU R2D2 PROJEKTA****IMPROVEMENT OF OUTAGE PLANNING COORDINATION USING SOFTWARE
SOLUTION DEVELOPED WITHIN R2D2 PROJECT****Kristina Janošević, Andrijana Prešić, Dušan Prešić, Predrag Simić, Jovica Vidaković,
Petar Petrović, Stefan Tirnanić, Marija Popović, Marko Batić***

Kratak sadržaj: Koordinacija planova isključenja (*Outage Planning Coordination – OPC*) predstavlja jedan od najbitnijih procesa operativnog planiranja rada elektroenergetskog sistema (EES). Ovaj proces se koordiniše na nacionalnom nivou od strane operatora prenosnog sistema, ali i na regionalnom i panevropskom nivou od strane regionalnih koordinacionih centara. U okviru R^2D^2 projekta, finansiranog kroz *Horizon Europe* program, razvijen je *Outage Planning (OP)* alat koji se sastoji od 2 dela: koordinacione platforme putem koje korisnici mogu da prijavljuju planove isključenja i upravljačkog modula putem koga koordinatori procesa mogu da manipulišu isključenjima i zadaju komande za analizu sigurnosti na mrežnim modelima za neki specifični scenario. Korišćenjem datog alata postignuto je da se informacije o predloženim planovima isključenja mogu lako prikupiti, kao i da se simulacija uticaja datih isključenja na EES može jednostavno sprovesti. *OP* alat je dizajniran tako da može da se koristi i za potrebe nacionalnog i za potrebe regionalnog *OPC* procesa. U radu je opisana softverska implementacija *OP* alata, najbitnije funkcionalnosti alata, kao i njegova primena u okviru nacionalnog i regionalnog *OPC* procesa.

Ključne reči: *Koordinacija planiranja isključenja, R2D2, Horizon Europe, Operator prenosnog sistema, Regionalni koordinacioni centar*

Abstract: Outage Planning Coordination (OPC) represents one of the most important processes in operational planning of the Electrical Power and Energy Systems (EPES).

* Kristina Janošević, Security Coordination Centre SCC Ltd. Belgrade, kristina.janosevic@scc-rsci.com
Andrijana Prešić, Security Coordination Centre SCC Ltd. Belgrade, andrijana.presic@scc-rsci.com
Dušan Prešić, Security Coordination Centre SCC Ltd. Belgrade, dusan.presic@scc-rsci.com
Predrag Simić, Security Coordination Centre SCC Ltd. Belgrade, pedjasimke1@gmail.com
Jovica Vidaković, Elektromreža Srbije EMS AD, jovica.vidakovic@ems.rs
Petar Petrović, Elektromreža Srbije EMS AD, petar.petrov@ems.rs
Stefan Tirnanić, Elektromreža Srbije EMS AD, stefan.tirnanic@ems.rs
Marija Popović, Institut Mihajlo Pupin, marija.popovic@pupin.rs
Marko Batić, Institute Mihajlo Pupin, marko.batic@pupin.rs

This process is coordinated at the national level by the transmission system operator, but also at the regional and Pan-European level by the regional coordination centers. As part of the R^2D^2 project, funded through the Horizon Europe program, an Outage Planning (OP) tool was developed that consists of 2 parts: a coordination platform through which users can submit outage plans and a control module through which process coordinators can manipulate outages and issue commands for the security analysis using network models for a specific scenario. By using this tool, it was achieved that information on the proposed outage plans can be easily collected, as well as the simulation of the impact for the given outages on the EPES can be easily executed. The OP tool is designed so that it can be used both for the needs of the national and for the needs of the regional OPC process. The paper describes the software implementation of the OP tool, the most important functionalities of the OP tool, as well as the application of this tool within the national and regional OPC process.

Key words: OPC, R2D2, Horizon Europe, TSO, RCC

1 UVOD

Proces koordinacije planova isključenja (*Outage Planning Coordination – OPC*) elektroenergetske mreže igra važnu ulogu u operativnom planiranju rada elektroenergetskog sistema (EES). Kako bi se EES održao u bezbednom operativnom stanju potrebno je redovno izvoditi radove na održavanju elemenata koji zahtevaju povremena isključenja elemenata. Zahteve za isključenja dostavljaju korisnici različitih službi u okviru nacionalnog operatora prenosnog sistema (*Transmission System Operators – TSO*) – u slučaju Elektromreže AD (EMS, srpskog TSO-a) to su: Direkcija za održavanje prenosnog sistema, Direkcija za upravljanje sredstvima, Direkcija za investicije, Centar za telekomunikacione sisteme, Direkcija za kapitalne projekte. TSO-i za potrebne nacionalnog nivoa OPC procesa imaju obavezu da razmotre i odobre predloge planova remonta elemenata prenosnog sistema, proizvodnih jedinica i elemenata distributivnog sistema. Pored toga, TSO mora koordinisati isključenja sa susednim TSO-ima i sa RCC-ima (*Regional Coordination Centres*) te se ovaj proces godinama sprovodi i na regionalnom i na panevropskom nivou. OPC proces se obavlja u nekoliko vremenskih horizonta: godišnji, kvartalni, mesečni i sedmični.

Najveći izazov na nacionalnom nivou, pored komunikacije pri odobravanju termina isključenja, predstavlja i to što ne postoji automatski način optimizacije planiranih isključenja na osnovu kojeg bi TSO-i mogli da odluče koja se tražena isključenja mogu odobriti sa stanovišta sigurnog rada sistema, već se ove odluke donose na osnovu rezultata analiza sigurnosti i iskustva inženjera. U slučaju regionalnog OPC procesa najčešći izazov predstavlja komunikacija, posebno prilikom usaglašavanja planova isključenja za predstojeću godinu, kada je potrebno više iteracija pregovora da bi se došlo do optimalnog plana isključenja.

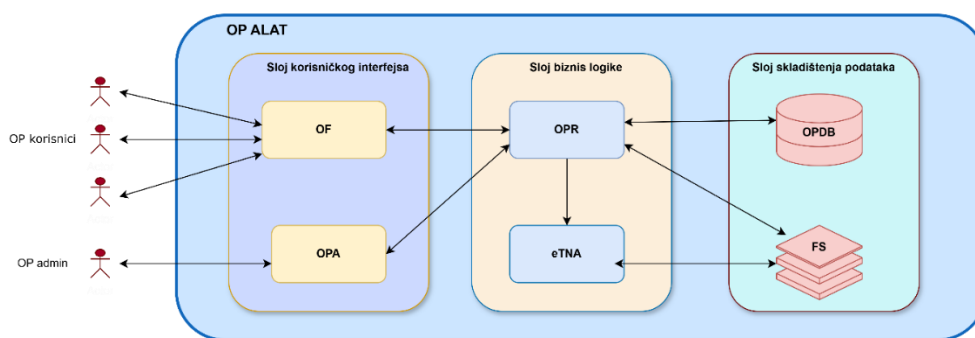
U okviru *Horizon Europe* projekta skraćenice R^2D^2 (*Reliability, Resilience and Defense technology for the grid*) razvijaju se četiri nova proizvoda posvećena prevenciji, zaštiti i obnavljanju EES-a u dva različita nezavisna, ali komplementarna scenarija u energetskom lancu vrednosti – od regionalne koordinacije između TSO-a, do privatnosti krajnjih kupaca električne energije [1]. Ovi proizvodi pokrivaju širok spektar Use Case-ova, među kojima su i oni definisani sa ciljem unapređenja regionalne koordinacije. Jedan od modula je i *EMMA* (*Enhanced Assets Maintenance And Management Toolkit*) u okviru koga je razvijen alat *Outage Planning (OP)* koji za cilj ima da doprinese rešavanju gore pomenutih izazova.

Po pitanju optimizacije plana isključenja ovaj alat nudi mogućnost brzog pokretanja analiza sigurnosti za moguće kombinacije prijavljenih isključenja i uvid u rezultate. Za poboljšanje komunikacije razvijena je koordinaciona platforma *Operator Fabric (OF)* gde korisnici mogu da prijavljuju planirana isključenja. *OP* alat pruža i poboljšanu vizuelizaciju u okviru *Outage Planning Application (OPA)* interfejsa, gde se automatski prikazuju gantogrami isključenja učitavanjem *Unavailability Plan (UAP)* fajlova koji sadrže sve zahteve za isključenja.

U Poglavlju 2 je opisana arhitektura *OP* alata i način kako je povezan sa ostalim alatima, dok Poglavlje 3 predstavlja implementirani algoritam optimizacije isključenja. Poglavlje 4 predstavlja funkcionalnosti i primenu *OP* alata u nacionalnom i regionalnom *OPC* procesu. Poglavlje 6 daje zaključke rada, a poslednje dve celine predstavljaju Zahvalnicu i Literaturu.

2 SOFTVERSKA IMPLEMENTACIJA I ARHITEKTURA *OP* ALATA

OP alat je implementiran kao skup modula koji prate server-klijent arhitekturu, pri čemu se moduli mogu podeliti u 3 tehničke celine (Slika 1):



Slika 1 : Arhitektura *OP* alata

1. Sloj korisničkog interfejsa

OP alat poseduje dve glavne korisničke aplikacije, to su *Operator Fabric (OF)* i *Outage Planning Application (OPA)*.

OF se koristi za prikupljanje zahteva isključenja i dobijanje liste planiranih isključenja nakon završetka procesa optimizacije.

OPA je aplikacija na kojoj su vizuelno prikazani zahtevi za planirana isključenja, gde se može manipulirati zahtevima i gde se prikazuju rezultati procesa optimizacije. Korisnik *TSO*-a može imati ulogu *OP* admina koji će nadgledati proces optimizacije.

2. Sloj biznis logike

Outage Planning Processor (OPR) – interni modul, koristi se za obradu isključenja, manipulisanje softverom *Enterprise Transmission Network Analyzer (eTNA)*, pripremu različitih scenarija isključenja *Outage Planning Scenario (OPS)* i prikazivanje rezultata analiza sigurnosti *Outage Planning Incompatibility (OPI)*.

eTNA – eksterni softver specijalizovan za operativno planiranje, korišćen u okviru *OP* alata za pouzdano i brzo izvršenje analize sigurnosti.

3. Sloj skladištenja podataka

Outage Planning Database (OPDB) modul je zadužen za čuvanje, upravljanje i preuzimanje strukturiranih podataka dok *File Server (FS)* pruža iste funkcionalnosti u radu sa fajlovima.

2.1 OperatorFabric (OF)

OF je eksterni modul namenjen za koordinaciju i saradnju između učesnika u poslovnim procesima u različitim industrijskim domenima [2]. U kontekstu integracije sa *OP* alatom, ova platforma se pokazala kao veoma pogodna za komunikaciju između učesnika *OPC* procesa – entiteta koji prijavljuju željena isključenja, kao i operatora prenosnog sistema koji je zadužen za pokretanje i zatvaranje prozora za *OPC* proces i za prikupljanje samih zahteva (optimizacija zahteva se vrši preko drugog interfejsa – *OPA*).

Komunikacija u okviru *OF*-a se zasniva na sistemu kartica – koje se mogu posmatrati kao određene informacije ili akcije koje učesnici treba da razmene ili izvrše tokom određenog procesa. Kartice koje se razmenjuju u okviru *OF* platforme koriste *handlebars – templating engine* koji kombinuje *HTML* i *Javascript* [3], omogućavajući definisanje i implementaciju specifičanog dizajna i funkcionalnosti kartica.

Modularna arhitektura *OF* pruža jednostavnu integraciju sa eksternim komponentama, putem *REST API*-ja, čime je omogućena standardizovana razmena poruka između dve softverske aplikacije.

2.2 Outage Planning Application (OPA)

OPA modul je interna veb aplikacija implementirana koristeći *React* tehnologiju [4], koja pruža korisnički interfejs za obradu zahteva za isključenje u nacionalnom i regionalnom procesu. Korisnici mogu da se uloguju na *OPA* putem *Keycloak*-a [5], servisa integrisanog u *OF*, čime je autentifikacija i autorizacija delegirana ovom servisu. Konfiguracija korisnika *OP* alata je ostvarena kroz odgovarajuće konfiguracione fajlove podržane od *OF*.

2.3 Outage Planning Processor (OPR)

OPR modul je interna *backend* aplikacija implementirana koristeći *Node.js* [6] platformu, okruženje koje omogućava izvršavanje *javascript*-a na serverskoj strani. Dodatno, korišćena je *Nest.js* [7] platforma, zasnovana na modularnoj arhitekturi i koja koristi *typescript* – pružajući tipizaciju, bolju organizaciju koda i veću otpornost na greške pri razvoju.

Predstavlja *core* modul *OP* alata i izvodi sledeći set funkcionalnosti:

- obrada zahteva isključenja što podrazumeva kreiranje *OPC CON* fajlova (fajlovi sa izabranim isključenjima) na osnovu zahteva isključenja za referentni sat, kao i obrada rezultata analiza sigurnosti;
- komunikacija sa *OF* (preuzimanje zahteva isključenja i slanje konačne liste planiranih isključenja);
- komunikacija sa *eTNA* (razmenjene komande neophodne za izvršavanje analize sigurnosti);

- komunikacija sa *OPA* (primanje zahteva za ručni ili automatski režim rada *OPI* proračuna, slanje *OPI* rezultata);
- komunikacija sa FS (učitavanje *UAP* fajlova, izvoženje *OPC CON* i *UAP* fajlova i učitavanje rezultata analiza sigurnosti).

2.4 eTNA

eTNA je eksterna softverska aplikacija za operativno planiranje, korišćena u okviru *OP* alata za izvršavanje analize sigurnosti [8]. Komunikacija sa *eTNA* alatom je ostvarena pomoću razmenjenih komandi: komanda za učitavanje ulaznih fajlova spojenog modela *CGM* (*Common Grid Model*), *CON* listi (elementi čija se isključenja simuliraju tokom analize sigurnosti) i *MON* listi (monitoring lista sa elementima koji se prate u cilju otkrivanja preopterećenja), komande za učitavanje *OPC CON* fajla, zatim komande za izvršenje *OPC Scale* funkcije koja primenjuje isključenja iz *OPC CON* fajla na *CGM*, komande za izvršenje analize sigurnosti i komande za izvoženje rezultata analize sigurnosti. Pomenute komande su objedinjene u *powershell* skriptu, radi jednostavnije upotrebe, konzistentnosti i automatizacije u komunikaciji sa *eTNA*.

2.5 Outage Planning Database (OPDB)

OPDB je relacionalna baza podataka implementirana u *MySQL*-u, koja sadrži sve podatke neophodne za izvršenje *OPC* procesa: elemente mreže, mapiranje *EIC* – *CIM* kodova (*EIC* kodovi su definisani kroz *UAP* fajl, a *CIM* kodovima su dati elementi predstavljeni u mrežnim modelima na kojima se rade analize sigurnosti), zahteve za isključenje, *OPI* scenarije, kao i *OPI* rezultate. Komunikacija sa *OPR* je ostvarena putem *TypeORM*-a [9], koji omogućava objektno-relaciono mapiranje – u *OPR*-u se definišu entititeti koji se mapiraju na tabele u bazi, čime je omogućen rad sa podacima na apstraktnijem nivou, bez direktnog pisanja *SQL* upita.

2.6 File Server (FS)

Korišćenje fajlova od strane različitih modula je realizovano preko razmene fajlova u okviru FS sistema, što je adekvatno za trenutne potrebe manjeg broja korisnika. Međutim, sa rastom broja korisnika i količine podataka, planiran je prelazak na namenski fajl server kako bi se dobilo rešenje koje će omogućiti centralizovano upravljanje fajlovima, veću skalabilnost i poboljšanu kontrolu pristupa.

3 ALGORITAM OPTIMIZACIJE ISKLJUČENJA U OP ALATU

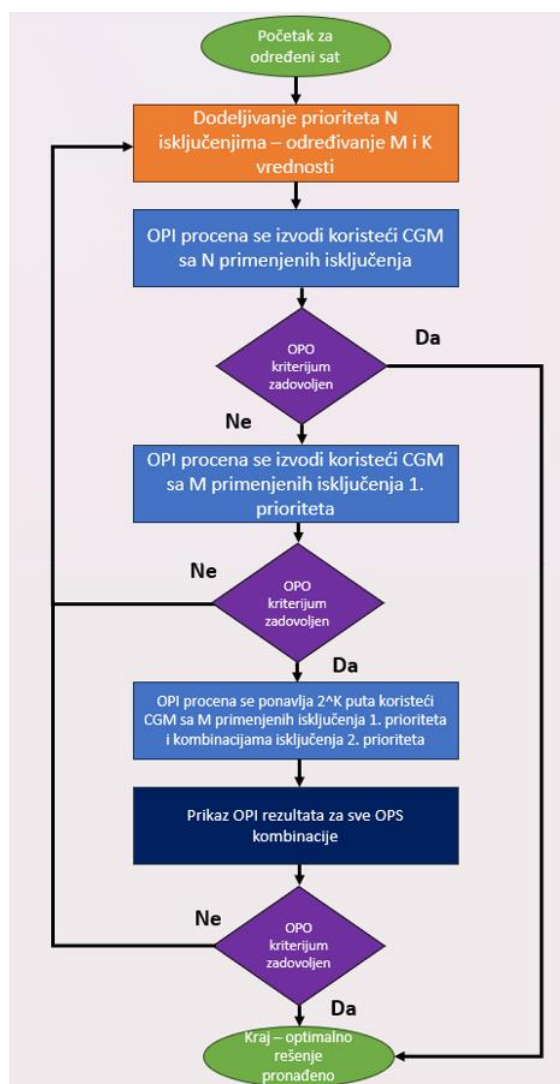
OP alat nudi mogućnost automatizacije i optimizacije procesa odabira planiranih isključenja koji za sad *TSO*-i sprovode ručno, odrađivanjem analiza sigurnosti za neke od kritičnih sati, a finalne odluke donose inženjeri sa iskustvom u planiranju isključenja. Proces automatizacije se bazira na komunikaciji sa softverom *eTNA* koji nad izabranim modelom proverava da li je primenom izabranih isključenja zadovoljena sigurnost u mreži. Ovaj postupak se može primeniti kako za nacionalni, tako i za regionalni *OPC* proces. *OP* alat ima dva režima rada za *OPI* proračune: ručni i automatski režim.

U ručnom režimu *OP* admin odlučuje koja isključenja će biti primenjena u *CGM*-u, i to admin odrađuje ručno. To se može odraditi tako što se u gantogramu na *OPA* označe sva polja za elemente za koje admin želi da budu isključeni u posmatranom satu. U gantogramu za svaki sat postoji dugme kojim je moguće izvršiti analizu sigurnosti nad modelom mreže sa izabranim isključenjima uz relevantne podatke i nakon njenog završetka će biti prikazani rezultati. Na

osnovu tih rezultata, *OP* admin može da odluči da li treba izvršiti analize sa drugim izabranim isključenjima za taj sat i ponovo pokrenuti analizu.

Automatski režim obezbeđuje adminu da uporedi rezultate analiza sigurnosti za više scenarija sa različitim kombinacijama isključenja na osnovu kojih bi alat mogao da predloži optimalno rešenje. Za formiranje kombinacija isključenja postoje dva nivoa prioriteta zahteva za isključenjima: zahtevi za isključenja 1. prioriteta su obavezni i oni se primenjuju na *CGM*, dok se zahtevi 2. prioriteta mogu menjati. Od ukupnog broja *N* zahteva za isključenja, admin određuje *M* broj elemenata 1. prioriteta koji će u svim kombinacijama biti isključeni, a *K* broj elemenata 2. prioriteta koji će menjati status.

Na Slici 2 [10] je prikazan algoritam za automatski način rada.



Slika 2: Algoritam automatskog načina rada OP alata

Scenario za koji se *OPO* kriterijum zadovolji smatra se rešenjem optimizacije i prikazuje se na *OPA*. *OPO* kriterijum je zadovoljen ako je $KPI_1 \geq 0$, gde KPI_1 (*KPI* – *Key Performance Indicators*, srp. ključni pokazatelji učinka) predstavlja minimalnu vrednost preostalog opterećenja monitorisanog elementa (iz *MON* liste) nakon simulacije ispada najuticajnijeg elementa (iz *CON* liste). Nakon što *OP* admin odredi prioritete vrši se proračun za najoptimističniji scenario, tako što se svih *N* isključenja primeni u *CGM*-u i nad tim modelom

se sprovodi analiza sigurnosti. Ukoliko *OPO* kriterijum nije ispunjen procena se vrši nad modelom sa *M* isključenih elemenata. Ukoliko ni tada nije ispunjen kriterijum, proces se vraća na drugi korak gde admin treba da izabere različite kombinacije za *M* i *K*. Nakon što se utvrdi da je *OPO* kriterijum zadovoljen za *M* planiranih isključenja, vrši se proračun za različite scenarije čiji je ukupan broj 2^k-2 (izuzimaju se slučajevi da su svi *K* elementi isključeni i svi *K* elementi uključeni).

4 FUNKCIONALNOSTI I PRIMENA *OP* ALATA U OKVIRU NACIONALNOG I REGIONALNOG *OPC* PROCESA

4.1 Koordinaciona platforma *OF*

Zahtevi za planiranje isključenja se prikupljaju putem koordinacione platforme, dela na *OF* platformi, prilagođenog potrebama ovog procesa. Proces kreiranja zahteva se obavlja putem kreiranja kartica koje predstavljaju glavni vid komunikacije na *OF*. Kartice je moguće kreirati za sledeće korake koji predstavljaju ujedno i zahteve u *OPC* procesu:

- Početak procesa prijavljivanja planiranih isključenja;
- Završetak procesa prijavljivanja planiranih isključenja;
- Kreiranje i izmene zahteva za isključenja;
- Slanje rezultata *OPC* procesa.

Korisnik *TSO*-a ima ulogu *OP* admina na koordinacionoj platformi u procesu nacionalnog *OPC* procesa.

Sam proces počinje kada *OP* admin pošalje informativnu poruku o početku procesa prijave planiranih isključenja. Proces kreiranja te kartice je prikazan na Slici 3. U ovom slučaju opisan je proces za godišnji plan isključenja. U gornjem delu slike su prikazani detalji procesa – koji je proces u pitanju i koji korak izabranog procesa, u ovom slučaju početak prijave isključenja. Kartica sadrži osnovne detalje: tip procesa – godišnji i rok do kada je moguće podnositi zahteve. U drugom delu kartice se nalaze primaoci ove poruke i, kao što se može videti, nabrojane su sve organizacije koje imaju prava da podnesu zahteve za isključenja planirana tokom sledeće godine.

Treći deo kartice, koji se vidi neposredno pred slanje, se sastoji iz predefinisanoog teksta sa informacijama o predstojećim akcijama za primaoca. Ovo je prikazano na Slici 4.

Unošenje zahteva je jednostavno, kroz padajući meni se izaberu željeni elementi i vremenski periodi isključenja.

U zahtevu za isključenje je potrebno uneti i ime elementa, opis (ovo je opciono polje), tip isključenja (zbog čega je element isključen), početak i završetak isključenja, potrebno vreme za vraćanje u pogon (opciono), da li je isključenje dnevno ili trajno, kao i da li je planirano i za dane vikenda.

Slika 3: Kreiranje kartice – početak procesa prijavljivanja planiranih godišnjih isključenja

Slika 4: Prikaz poruke pred slanje početka procesa prijavljivanja planiranih godišnjih isključenja

Na kraju se unose primaoci koji će dobiti ovu notifikaciju. Moguće je promeniti i tip kartice, u ovom slučaju kartica je informativnog karaktera i to je za sada predefinisano. Vreme *Start date* označava vreme kada je kartica kreirana, a *End date* do kada će kartica biti aktivna. Na Slici 5 je prikazan primer prijave zahteva za isključenje elementa u EMS-ovoj mreži 400 kV TS Leskovac – TS Niš 2 u periodu od 12. do 16. maja 2025.

Na Slici 6 je prikazan zahtev sa prethodne slike, ali sada u vidu kartice na nalogu korisnika koji je postavljen kao primalac na prošloj slici. Može se uočiti da u desnom donjem uglu kartice postoji dugme *Acknowledge and Close* koje primalac može kliknuti što predstavlja vid potvrđivanja ove notifikacije. Takođe, u levom delu prikaza, gde su izlistane sve notifikacije, može se videti sa kog naloga je poslata kartica kao i vreme njenog slanja. U okviru jedne kartice zahteva, korisnik može prijaviti više isključenja istog ili različitih elemenata što doprinosi ubrzanju procesa prijave isključenja.

CREATE A NEW CARD

PROCESS

Outage Planning Coordination

STATE

Outage planning - OP Request

Alarm

Action

Compliant

Information

START DATE

01 / 28 / 2025 , 03 : 01 PM

END DATE

01 / 29 / 2025 , 03 : 01 PM

ELEMENT 1

NAME

DV 460 TS LESKOVAC 2 - TS NIŠ 2

DESCRIPTION

Radovi na dalekovodu

BUSINESS TYPE

Outage

START DATE

05 / 12 / 2025 , -- : --

END DATE

05 / 16 / 2025 , -- : --

RESTITUTION TIME [h]

2

DAILY / PERMANENT

Daily

WEEKEND WORK

No

Add outage element

RECIPIENTS

EMS

CANCEL

SEE BEFORE SENDING

Slika 5: Kreiranje zahteva za isključenje dalekovoda 400 kV TS Leskovac – TS Niš 2

Nakon završetka roka za prijavu isključenja *OP* admin šalje obaveštenje korisnicima o završetku prijave isključenja – tekst notifikacije na Slici 7.

Ova akcija automatski pokreće kreiranje *UAP* fajla koji sadrži sve prethodno prijavljene zahteve za isključenja. Ovaj fajl je struktuiran tako da odgovara zvaničnom formatu koji koristi ENTSO-e. Generalno, ovaj fajl se može učitati u zvanični ENTSO-e alat za *OPC* proces i izvesti iz njega. Ovakvim generisanjem *UAP* fajla od strane *OP* alata se postiglo da *OP* alat bude kompatibilan sa panevropskim alatom za *OPC* proces.

28/01/25 15:00

28 January 2025

13h 13:30 14h 14:30 15h 15:30 16h 16:30 17h 17:30 18h 18:30 19h 19:30 20h 20:30 21h 21:30 22h 22:30 23h 23:30 00h 00:30 01h

Hide Timeline

OUTAGE PLANNING REQUEST

Create a copy

OUTAGE PLANNING REQUEST

(15:01 28/01/2025 - 15:01 29/01/2025)

From : DIREKCIJA ZA ODRŽAVANJE PRENOSNOG SISTEMA

OPENING GATE

(09:43 28/01/2025 - 12:00 28/02/2025)

OUTAGE PLANNING REQUEST

(09:51 28/01/2025 - 09:51 29/01/2025)

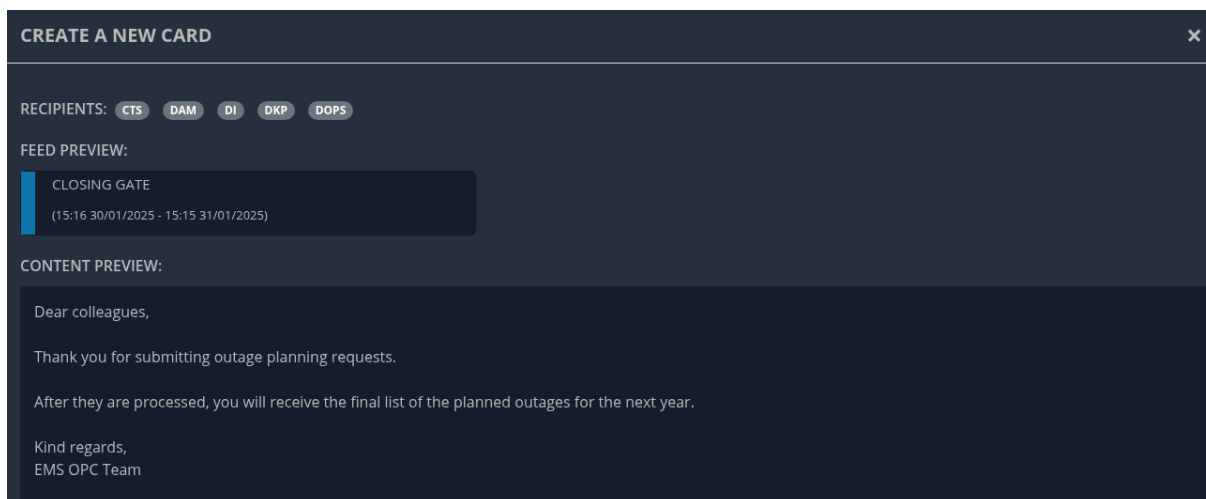
Acknowledge all cards

Element	Description	Business type	Start date	End date	Daily	Weekend work	Restoration time
347460-LE2-NIZV	Radovi na dalekovodu	B81	2025-05-12T08:00	2025-05-16T16:00	Daily	No	2

Received : 28/01/2025 at 3:06 PM from Direkcija za održavanje prenosnog Sistema

ACKNOWLEDGE AND CLOSE

Slika 6: Prikaz zahteva za isključenje u vidu notifikacije na korisničkom nalogu primaoca



Slika 6: Notifikacija o završetku procesa prijave isključenja

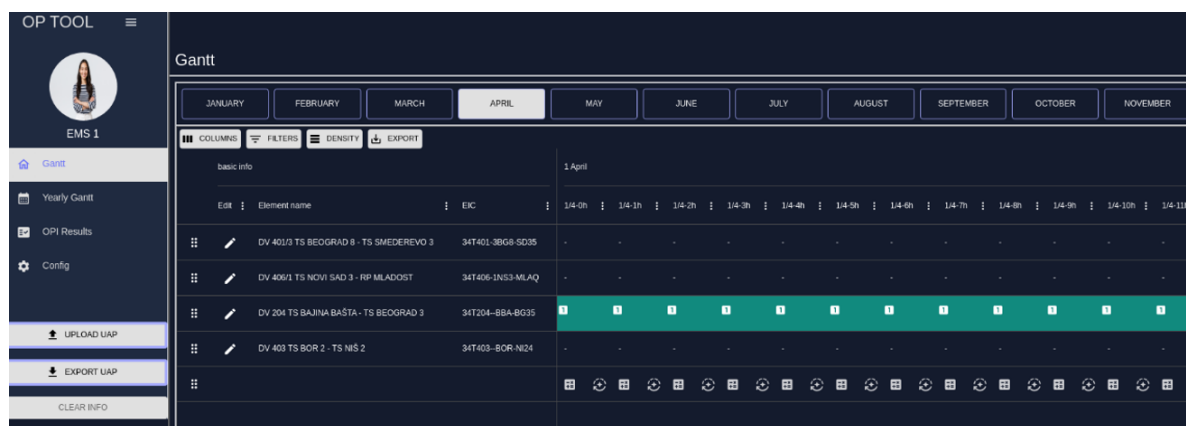
4.2 OPA

Ova aplikacija predstavlja vizuelni prikaz *OP* alata. Napravljena je kao veb aplikacija koja obezbeđuje vizuelni prikaz planiranih isključenja, konfigurisanje elemenata mreže i rukovanje podacima koji će se obrađivati u analizi sigurnosti u *eTNA* softveru. Takođe, na ovoj aplikaciji se mogu prikazati rezultati nakon odrađene analize.

Na Slici 8 je dat izgled početnog ekrana *OPA* i to za slučaj kada je ulogovan korisnik EMS-a. Može se uočiti da postoje dva glavna dela ekrana, levi deo koji sadrži ime aplikacije, ime i sliku ulogovanog korisnika, tri dugmeta i meni sa četiri opcije.

Dugme *Upload UAP* služi za dostavljanje *UAP* fajlova na *OPA*; jedna od mogućnosti je da se iskoristi fajl koji je nastao kao rezultat koordinacije u *OF*, a druga mogućnost je da se koristi *UAP* fajl koji je preuzet sa ENTSO-e alata za *OPC* proces.

Dugme *Export UAP* služi za preuzimanje *UAP* fajl sa *OPA*, može se aktivirati u bilo kojoj fazi optimizacije planiranja isključenja kako bi se sačuvao trenutni prikaz isključenja. *Clear Info* je dugme kojim se resetuju sve promene nakon učitavanja *UAP* fajla.



Slika 8: OPA početni ekran

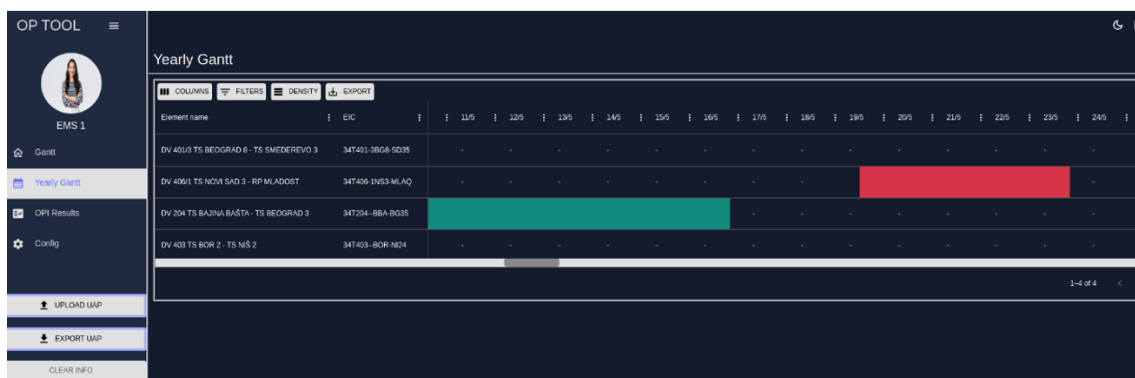
Najveći deo ekrana u aplikaciji zavisi od izabrane stavke iz menija. Ukoliko korisnik ima odabran *Gantt*, sa desne strane se pojavljuju isključenja iz *UAP* fajla na satnoj rezoluciji. Čelije tabele mogu biti: označene crticom što znači da nema zahteva za isključenje tog elementa u tom satu ili obojene jednom od boja (crvena, zelena ili crna – zavisi od naponskog nivoa elementa 400, 220 ili 110 *kV*, respektivno) što znači da je planirano isključenje tog elementa u tom satu. Čelije mogu biti popunjene sa brojevima 1 ili 2, u zavisnosti od izabranog prioriteta zahteva.

Za odabir odgovarajućeg prikaza planiranih isključenja se koristi dugmad koja korisniku omogućava filtriranje isključenja po mesecima, a moguće je istovremeno filtrirati i više meseci, što je posebno korisno za isključenja koja obuhvataju duži vremenski period. Ova funkcija olakšava korisnicima da se fokusiraju samo na vremenske okvire koji su im od interesa.

Informacije o planiranim isključenjima je moguće menjati u samoj aplikaciji klikom na ikonicu olovke u koloni *edit*. Na Slici 9 je prikazano koja se polja dodatno mogu izmeniti: početno i krajnje vreme trajanja isključenja, da li je isključenje dnevno ili trajno, da li je isključenje aktivno i tokom dana vikenda, a moguće je i čekirati prioritet isključenja.

Slika 9: Izmene zahteva za isključenje

Drugi prikaz isključenja je godišnji prikaz (Slika 10) na kom korisnik može videti zahteve za isključenja koji su prikazani u dnevnoj rezoluciji.



Slika 10: Prikaz godišnjeg gantograma

Stavka iz menija *OPI Results* ima funkciju prikazivanja izračunatih *KPI*-jeva nakon odrađene analize sigurnosti. Ukoliko je izabran ručni režim biće prikazane vrednosti za jedan scenario, a ukoliko je automatski, biće prikazane vrednosti za sve *OPS*. *Config* ima ulogu u definisanju liste svih elemenata čija se isključenja prikazuju na gantogramima. Ovo registrovanje elemenata je bitno jer se na ovaj način povezuju *EIC* kodovi prethodno definisani kroz *UAP* fajl sa *CIM* kodovima kojima su dati elementi predstavljeni u mrežnim modelima na kojima se rade analize sigurnosti pomoću *eTNA* alata – Slika 11.

Elements						
+ ADD ELEMENT						
EIC_ID	Name	ISOCode	voltage	elementType	CIM_ID	Actions
10T-BA-RS-000041	DV 103 TS MALI ZVORNIK - granica/TS ZVORNIK	RS	110	Internal OHL	_4b54363-b7a8-2e48-3949-67554ebba0c	 
10T-RO-RS-00004P	DV 1207 TS SIP - granica/TS GURA VAN	RS	110	Internal OHL	_dc977004-219f-140b-5157-8aad44abdad	 
10T-RO-RS-00002T	DV 1209 RP DERDAP 2 - granica/TS OSTROVUL MARE	RS	110	Internal OHL	_ce8951b-9309-c8e7-f5da-085b3699508	 
10T-BA-RS-000033	DV 1214 TS LEŠNICA - granica/TS JANJA	RS	110	Internal OHL	_be988e87-62ce-8c71-7382-5a6f93d49a3	 
10T-HR-RS-000017	DV 1215 TS APATIN - granica/TS BELI MANASTIR	RS	110	Internal OHL	_4501622-9193-2b2c-79d-129f78947dd	 
34T134-4POT-PLIZ	DV 134/4 HE POTPEČ - granica/TS PLJEVLJA 1	RS	110	Internal OHL	_42991bc1-79c1-972a-0295-14d7536f3c7	 
10T-BG-RS-00003B	DV 140 HE VRLA 1 - granica/TS BREZNIK	RS	110	Internal OHL	_30295b0-e5e-9445-7a98-118444580ff	 
10T-RO-RS-00003R	DV 145 TS KIKINDA 1 - granica/TS ŽIMBOLJA	RS	110	Internal OHL	_71e62d4-e348-274d-39e6-e5e94905d19f	 
10T-BG-RS-00002D	DV 149 TS ZAJEČAR 1 - granica/TS KULA	RS	110	Internal OHL	_0d5e6a1b-4b01-538c-9301-69a63dc5b02	 
34T203-3BBA-TBH	DV 203/3 TS BAJINA BAŠTA - TS BISTRICA	RS	220	Internal OHL	_cc3c9e8f-3e6a-9844-abd9-9dbd79d553e3	 
34T204-3BBA-BG35	DV 204 TS BAJINA BAŠTA - TS BEOGRAD 3	RS	220	Internal OHL	_2c7d78ca-884-d7d6-788f-e1ba9a4118cc	 
34T205-2POD-KS1B	DV 205/2 TS PODUJEVO - TS KRUŠEVAC 1	RS	220	Internal OHL	_1e3c5f77-0bd-48c8-e4ae-8c3b76728b59	 

Slika 11: Registrovanje elemenata u Config odeljku

Na osnovu informacija iz gantograma *OP* admin priprema ulazne podatke koji će se koristiti za proračune analiza sigurnosti. Za proračun se koristi *CGM* i *OPC CON* lista koja predstavlja listu izabranih isključenja. Integracijom *OPC CON* liste u *CGM* se dobija izmenjeni *CGM* sa izabranim isključenjima u tom referentnom satu. Pored ovih ulaznih podataka koriste se još i *CON* i *MON* lista.

OPI proces je predviđen da se vrši i pokretanjem direktno iz *OP* aplikacije.

Za svrhu nacionalnog *OPC* procesa *TSO* može učitati *UAP* fajl direktno u *OPC* alat, dok za potrebe regionalnog procesa *RCC* može da preuzme *UAP* fajl sa *OPC* alata i importuje ga u *OP* alat. Alat je specifikiran da zadovolji i potrebe *RCC*-a i potrebe *TSO*-a. Funkcionalnosti alata kao što su brza manipulacija, kreiranje različitih kombinacija isključenja, brzo pokretanje analiza sigurnosti doprinose i *RCC* inženjerima kojima nedostaje iskustvo iz dispečarskog centra.

Za potrebe regionalnog *OPC* procesa korišćene su funkcionalnosti aplikacije *OPA*. U aplikaciju je učitani *UAP* fajl, preuzet sa *OPC* alata, a koji sadrži ne samo EMS-ove elemente već i regionalne, elemente koji pripadaju mrežama okolnih *TSO*-a. Primer jednog korišćenog *UAP* fajla je dat na Slici 12. Konkretno dat je primer zapisa isključenja 400 kV dalekovoda Pljevlja 2 – Ribarevine u *UAP* fajlu koji je preuzet sa *OPC* panevropskog alata.

```

252 <psrType.psrType>A02</psrType.psrType>
253 <psrType.powerSystemResources.highVoltageLimit unit="KVT">400.0</psrType.powerSystemResources.highVoltageLimit>
254 </RegisteredResource>
255 </TimeSeries>
256 <TimeSeries>
257 <mRID>ME_0611_10</mRID>
258 <description>Maintenance</description>
259 <businessType>B81</businessType>
260 <outage_Period.timeInterval>
261 <start>2025-09-19T06:00Z</start>
262 <end>2025-09-19T08:00Z</end>
263 </outage_Period.timeInterval>
264 <lastChange_MarketAgreement.createdDateTime>2024-11-06T10:29:00Z</lastChange_MarketAgreement.createdDateTime>
265 <noRestitution_ConstraintDuration.type>N</noRestitution_ConstraintDuration.type>
266 <marketObjectStatus.status>A36</marketObjectStatus.status>
267 <coordination_MarketObjectStatus.status>A29</coordination_MarketObjectStatus.status>
268 <measurement_Unit.name>MAW</measurement_Unit.name>
269 <day_MarketObjectStatus.status>A05</day_MarketObjectStatus.status>
270 <week_MarketObjectStatus.status>A05</week_MarketObjectStatus.status>
271 <saturday_MarketObjectStatus.status>A03</saturday_MarketObjectStatus.status>
272 <sunday_MarketObjectStatus.status>A03</sunday_MarketObjectStatus.status>
273 </RegisteredResource>
274 <mRID_codingScheme>A01</mRID_codingScheme>35T-4-RIB-FV2--W</mRID>
275 <name>DV 400kV Pljevlja 2 - Ribarevine</name>
276 <psrType.psrType>A02</psrType.psrType>
277 <psrType.powerSystemResources.highVoltageLimit unit="KVT">400.0</psrType.powerSystemResources.highVoltageLimit>
278 </RegisteredResource>
279 </TimeSeries>
280 <TimeSeries>
281 <mRID>ME_0611_12</mRID>
282 <description>Maintenance</description>
283 <businessType>B81</businessType>
284 <outage_Period.timeInterval>
285 <start>2025-10-06T06:00Z</start>
286 <end>2025-11-02T17:00Z</end>
287 </outage_Period.timeInterval>
288 <lastChange_MarketAgreement.createdDateTime>2024-11-06T10:29:00Z</lastChange_MarketAgreement.createdDateTime>
289 <maximumRestitution_ConstraintDuration.duration>FODT1H0M</maximumRestitution_ConstraintDuration.duration>
290 <marketObjectStatus.status>A36</marketObjectStatus.status>
291 <coordination_MarketObjectStatus.status>A29</coordination_MarketObjectStatus.status>
292 <measurement_Unit.name>MAW</measurement_Unit.name>
293 <day_MarketObjectStatus.status>A05</day_MarketObjectStatus.status>
294 <week_MarketObjectStatus.status>A05</week_MarketObjectStatus.status>

```

Slika 12: Primer UAP fajla sa elementima iz regiona

Sam prikaz u *OPA* nakon učitavanja *UAP* fajla je identičan kao u slučaju *OPC* procesa na nacionalnom nivou, a na Slici 13 je prikazana funkcionalnost filtriranja isključenja, što je dodatna funkcionalnost u odnosu na *OF*.

The screenshot shows the 'OP TOOL' interface. On the left is a sidebar with a user profile (SCC 1) and navigation links: Gantt, Yearly Gantt (selected), OPI Results, and Config. At the bottom of the sidebar are buttons for 'UPLOAD UAP', 'EXPORT UAP', and 'CLEAR INFO'. The main area is titled 'Yearly Gantt' and contains a table with columns 'Columns', 'Operator', and 'Value'. A filter overlay is active, showing three filter rules: 'EIC starts with 35', 'Element name contains Filter value', and 'Element name contains Filter value'. Below the filter rules are buttons for 'ADD FILTER' and 'REMOVE ALL'. The table below the filter shows two rows of data: 'OHL 400kV Pljevlja 2 - Ribarevine' with value '35T-4-RIB-PV2--W' and 'OHL 220kV Podgorica 1 - Mojkovac' with value '35T-2-PG1-MOJK-M'.

Slika 13: Filtriranje zahteva za isključenja

U slučaju nacionalnog *OPC* procesa postoji mogućnost da *RCC* korisnik pokrene analize sigurnosti kao *OP* admin. Samo pokretanje analiza sigurnosti u *eTNA* je realizovano preko API skripte u kojoj su definisane sve komande potrebne za proračun, koje su već opisane u prethodnom poglavlju.

Nakon uvida *RCC* inženjera u preopterećenja elemenata mreže posle primenjenih isključenja, proces regionalne koordinacije isključenja se nastavlja izvoženjem *UAP* fajla koji je u *.xml* formatu.

5 ZAKLJUČAK

Ovaj rad pruža detaljnu sliku jednog alata koji može biti od velikog značaja za *OPC* proces u budućnosti kako na nacionalnom, tako i na regionalnom nivou. Opisane funkcionalnosti alata doprinose prevazilaženju trenutnih izazova u ovom procesu i značajno bi mogle da olakšaju koordinaciju, optimizaciju i automatizaciju izbora planiranih isključenja. Sam proces optimizacije i finalnog izbora planiranih isključenja trenutno se uglavnom oslanja na ljudski faktor – iskustvo inženjera, te s obzirom na to, ovaj alat predstavlja napredak ka automatizaciji tog procesa. Različiti moduli ovog alata su za sada testirani tokom preliminarne demonstracije u okviru R^2D^2 projekta. Trenutno se radi na finalizaciji alata, povezivanju svih pomoćnih komponenti i uspostavljanju međusobne komunikacije, a dodatna testiranja se očekuju u narednim mesecima. Buduća unapređenja *OP* alata mogu ići u pravcu:

- Izgradnje robustnog softverskog koda, kako bi se omogućila primena u produkcionom okruženju *TSO*-a i *RCC*-a;
- Ugradnje modula za proračun tokova snaga u okviru *OP* alata kako bi se eliminisala njegova zavisnost prema spoljnom alatu koji trenutno radi ovaj proces za potrebe optimizacije isključenja;
- Usložnjavanja optimizacione funkcije kako bi optimizacija postala efikasnija, brža i kako bi se uvažili drugi bitni aspekti u procesu planiranju isključenja.

ZAHVALNICA

Rad je deo *Horizon Europe* projekta R^2D^2 (*Reliability, Resilience and Defense technology for the grid*, ID: 101075714). Ovaj dokument je urađen uz finansijsku pomoć Evropske Unije. Sadržaj ovog dokumenta je isključivo odgovornost autora i ni pod kojim okolnostima se ne može smatrati da odražava stav Evropske Unije.

6 LITERATURA

- [1] Reliability, Resilience and Defense technology for the grid, <https://r2d2project.eu/>, 30.03.2025;
- [2] “OperatorFabric.” Accessed: Apr. 02, 2025. [Online]. Available: <https://opfab.github.io/>
- [3] “Handlebars.” Accessed: Apr. 02, 2025. [Online]. Available: <https://handlebarsjs.com/>
- [4] “React.” Accessed: Apr. 02, 2025. [Online]. Available: <https://react.dev/>

- [5] K. Team, "Keycloak." Accessed: Apr. 02, 2025. [Online]. Available: <https://www.keycloak.org/>
- [6] "Node.js — Run JavaScript Everywhere." Accessed: Apr. 02, 2025. [Online]. Available: <https://nodejs.org/en>
- [7] "NestJS - A progressive Node.js framework." Accessed: Apr. 02, 2025. [Online]. Available: <https://nestjs.com/>
- [8] "Transmission Network Analyzer | Electricity Coordinating Center - EKC." Accessed: Apr. 02, 2025. [Online]. Available: <https://www.ekc-ltd.com/software/transmission-network-analyzer>
- [9] "TypeORM - Amazing ORM for TypeScript and JavaScript (ES7, ES6, ES5). Supports MySQL, PostgreSQL, MariaDB, SQLite, MS SQL Server, Oracle, WebSQL databases. Works in NodeJS, Browser, Ionic, Cordova and Electron platforms." Accessed: Apr. 02, 2025. [Online]. Available: <https://typeorm.io/>
- [10] R²D² project consortium, „D6.2 Final version of the enhanced maintenance and asset management toolkit", septembar 2024.