

Željko Plantić  
Energetski institut Hrvoje Požar  
[zplantic@eihp.hr](mailto:zplantic@eihp.hr)

Anđelko Tunjić  
HEP Operator distribucijskog sustava  
[andelko.tunjic@hep.hr](mailto:andelko.tunjic@hep.hr)

Domagoj Milun  
HEP Operator distribucijskog sustava  
[domagoj.milun@hep.hr](mailto:domagoj.milun@hep.hr)

Tomislav Baričević  
Energetski institut Hrvoje Požar  
[tbaricevic@eihp.hr](mailto:tbaricevic@eihp.hr)

Mladen Vuksanić  
HEP Operator distribucijskog sustava  
[mladen.vuksanic@hep.hr](mailto:mladen.vuksanic@hep.hr)

Krunoslav Baćani  
HEP Operator distribucijskog sustava  
[krunoslav.bacani@hep.hr](mailto:krunoslav.bacani@hep.hr)

## METODOLOGIJA PLANIRANJA OBNOVE DALEKOVODA 35(30) KV

### SAŽETAK

Dalekovodi 35(30) kV su važan element distribucijske mreže Republike Hrvatske. Usprkos strateškoj odrednici uvođenja izravne transformacije, za pretpostaviti je da će u nekim dijelovima distribucijske mreže dugoročno ostati u pogonu na 35(30) kV ili 20 kV te je potrebno osmisliti kriterije obnove i zamjene njihovih elemenata.

U referatu je opisana primjena i unapređenje AIM/CBRM metodologije određivanja prioriteta ulaganja u distribucijsku mrežu. Modeliranjem pojedinih komponenata dalekovoda (stupova, ovjesne i spojne opreme te vodiča) vremenski i prostorno je optimirana obnova ili zamjena na razini dionica. Zahvaljujući intenzivnoj suradnji s HEP ODS-om obuhvaćeni su svi dalekovodi 35(30) kV na području Hrvatske te dobiveni rezultati predstavljaju kvalitetnu podlogu za planiranje njihove obnove u pogledu ocjene potrebnih godišnjih ulaganja i popisa prioriteta u pogledu rizika pridruženog pojedinoj dionici.

**Ključne riječi:** dalekovod 35(30) kV, obnova dalekovoda, distribucijska mreža, AIM/CBRM metodologija

## METHODOLOGY FOR PLANNING OF 35(30) KV OHL REFURBISHMENT

### SUMMARY

Overhead lines of 35(30) kV nominal voltage are an important element of the Croatian distribution network. Despite the strategic goal of the introduction of direct transformation, it is to be assumed that in some parts of the distribution network it will remain in operation in the long run at 35(30) kV or 20 kV and it is necessary to devise criteria for renewal and replacement of their elements.

The paper describes the application and improvement of the AIM/CBRM methodology for determining investment priorities in the distribution network. By modelling individual components of the overhead line (poles, suspension and connecting equipment and conductors), the renovation or replacement at the section level is optimized in time and space. Thanks to intensive cooperation with HEP ODS, all 35(30) kV overhead lines in Croatia are included and the obtained results represent a quality basis for planning of their reconstruction in terms of assessment of required annual investments and a list of priorities in terms of risk associated with each section.

**Key words:** Overhead Line 35(30) kV, Overhead Line Refurbishment, Distribution Network, AIM/CBRM Methodology

## 1. UVOD

Složenost strukture i veliki broj objekata, složenost poslovnih procesa te sve raznovrsniji i brojniji zahtjevi korisnika mreže za većom kvalitetom usluge zahtijevaju uspostavu sve složenijih sustava planiranja razvoja i učinkovitog praćenja stanja elemenata distribucijske mreže. Suvremeni sustavi temelje se na konceptu upravljanja imovinom kojim se ostvaruje veće povezivanje poslovnih aktivnosti održavanja elemenata mreže i ulaganja u mrežu, te sustavno utvrđivanje rizika i donošenje odluka o zahvatima kojima se rizici smanjuju. Takav je koncept primijenjen i reorganizacijom HEP ODS-a, kojom je uspostavljen jedinstveni Sektor za upravljanje imovinom.

Prioritete ulaganja u imovinu dalekovoda 35(30) kV moguće je odrediti na jednostavniji način, praćenjem važnosti pojedinog voda prema prenesenoj energiji ili na složeniji način, izradom modela koji će obuhvatiti stanje svakog pojedinog elementa dalekovoda 35(30) kV i odrediti rizičnost pojedinačnog elementa, kao i pojedine dionice u cjelini.

U ovom referatu je prikazana složenija AIM (eng. Asset investment Management) / CBRM (eng. Condition Based Risk Management) metodologija [1] koja se temelji na ocjeni stanja i rizika imovine. Inicijalno je razvijena kao pilot projekt unapređenja upravljanja imovinom u HEP ODS-u [2]-[5], dovršen 2019. godine u suradnji Energetskog instituta Hrvoje Požar i EA Technology iz Ujedinjenog Kraljevstva. Sljedeći korak primjene u HEP ODS-u bio je razvoj metodologije obnove dalekovoda 35(30) kV u suradnji Energetskog instituta Hrvoje Požar i Dalekovod projekta [6]. Tijekom tog projekta uvedena su unapređenja primjene AIM/CBRM metodologije u HEP ODS-u u pogledu sljedećih značajki:

- pregleda ulaznih i kalibracijskih podataka te rezultata po distribucijskim područjima radi lakšeg ujednačavanja pristupa ocjenjivanju stanja i kalibraciji modela
- usporedbe troškova intervencija (investicija ili obnova) i troškova rizika metodom diskontiranja
- načina dodatnog optimiranja ulaganja uvođenjem mogućnosti zamjena i obnova (umjesto samo zamjena)
- integralnog planiranja zamjene vodiča te ovjesne i spojne opreme na razini dionice
- detaljnog pregleda svih rezultata na razini pojedinog elementa te sumarno na razini dionice
- analize omjera koristi i troškova te rangiranje intervencija i po tom kriteriju.

Radi lakšeg i sveobuhvatnijeg uključivanja specifičnih parametara koji se odnose na pojedinačnu kategoriju imovine, spomenuta metodologija je kroz izradu zasebnih modela primijenjena na pojedinačnim elementima dalekovoda 35(30) kV (armiranobetonskim stupovima, čelično-rešetkastim stupovima, ovjesnoj i spojnoj opremi te vodičima) koji čine dionicu kao cjelinu. Pri tome je dionica definirana kao dio dalekovoda koja se od ostalog dijela dalekovoda razlikuju u pogledu vrste (materijala i presjeka) i starosti vodiča.

Prije određivanja prioriteta ulaganja u imovinu dalekovoda 35(30) kV potrebno je upoznati postojeću strukturu dalekovoda. Prema dostupnim podacima, distribucijska mreža Republike Hrvatske sadrži 422 dionice dalekovoda 35(30) kV ukupne duljine 3.141,1 km s prosječnom duljinom dionice 8,1 km. Od 422 dionice, njih 18 su dvostruki vodovi, odnosno vodovi s dva sustava vodiča. Stupovi koji se upotrebljavaju kod dalekovoda 35(30) kV su armiranobetonski (u nastavku AB stupovi, ukupno 3.517 komada) i čelično-rešetkasti (u nastavku ČR stupovi, ukupno 11.826 komada). Budući da neki od stupova nose i po dva sustava vodiča, sveukupni broj setova ovjesne i spojne opreme iznosi 15.860.

## 2. STRUKTURA DALEKOVODA 35(30) KV

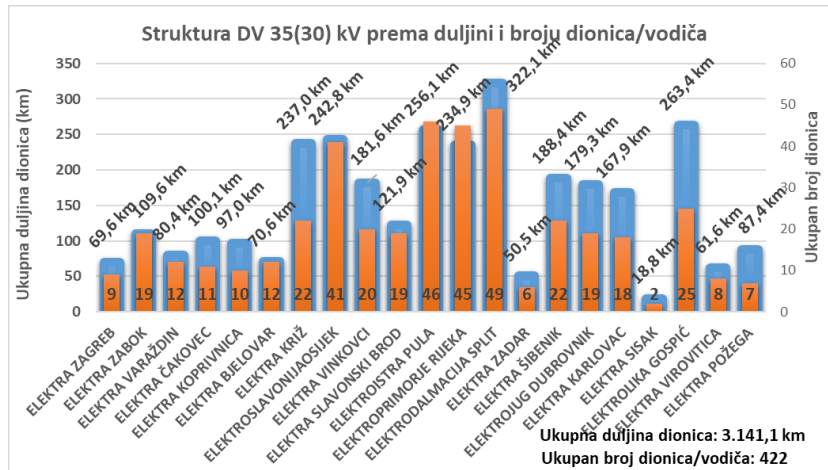
Na temelju dostavljenih podataka o dionicama i njihovim komponentama analizirane su osnovne značajke strukture dalekovoda 35(30) kV za svako distribucijsko područje i za svaku kategoriju imovine: AB stupove, ČR stupove, ovjesnu i spojnu opremu te vodiče. U nastavku prikazani rezultati provedene analize obuhvaćaju sljedeće karakteristike elemenata dionice:

- i) broj i/ili duljina pojedinačne imovine
- ii) godina izgradnje pojedinačne imovine.

### 2.1. Struktura dalekovoda 35(30) kV prema broju i duljini pojedinačne imovine

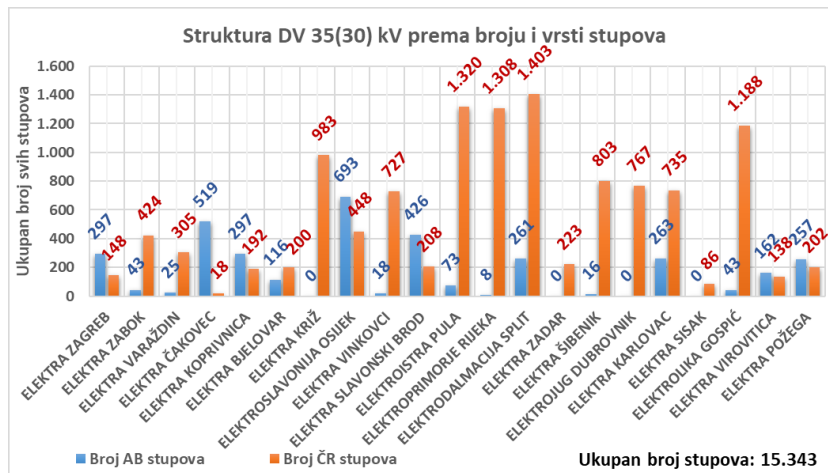
U nastavku su prikazani podaci o broju dionica/vodiča, AB stupova, ČR stupova te ovjesne i spojne opreme kao i duljini dionica/vodiča. Broj i duljina vodiča, koji su jednaki broju i duljini dionice, u stvari odgovaraju broju i duljini trojki vodiča. Jednako vrijedi i za broj ovjesne i spojne opreme, koji

odgovara broju spojnih mjesta trojki vodiča i stupa. Ukupna duljina sve 422 dionice dalekovoda 35(30) kV iznosi 3.141,1 km, a Slika 1 prikazuje razdiobu duljina i broja dionica po distribucijskim područjima.



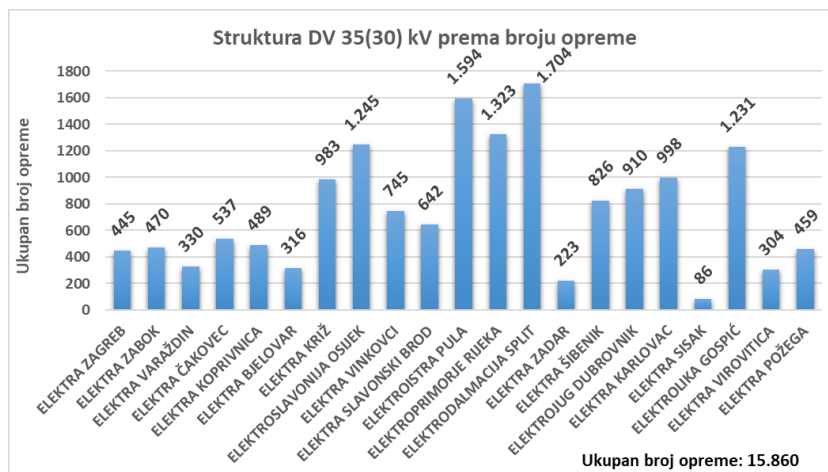
Slika 1. Struktura dalekovoda 35(30) kV prema duljini i broju dionica/vodiča

Ukupan broj svih stupova je 15.343 komada, od čega 3.517 AB stupova i 11.826 ČR stupova. Slika 2 prikazuje strukturu dalekovoda 35(30) kV prema vrsti i broju stupova po distribucijskim područjima.



Slika 2. Struktura dalekovoda 35(30) kV prema broju i vrsti stupova

Struktura dalekovoda 35(30) kV prema broju ovjesne i spojne opreme (Slika 3) slijedi strukturu dalekovoda 35(30) kV prema ukupnom broju stupova, uz razliku kod onih dalekovoda koji sadrže dva sustava vodiča i time dvostruki broj ovjesne i spojne opreme u odnosu na stupno mjesto te je ukupni broj ovjesne i spojne opreme 15.860 komada.

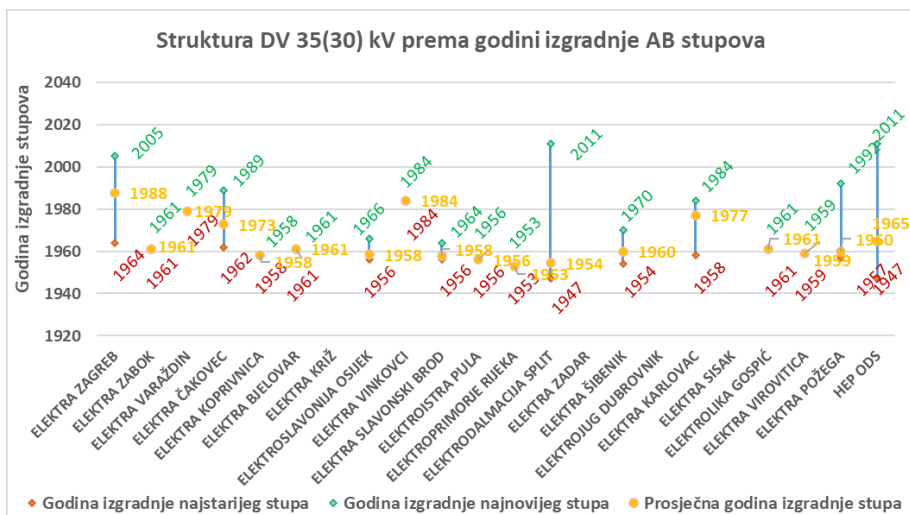


Slika 3. Struktura dalekovoda 35(30) kV prema broju ovjesne i spojne opreme

## 2.2. Struktura dalekovoda 35(30) kV prema godini izgradnje imovine

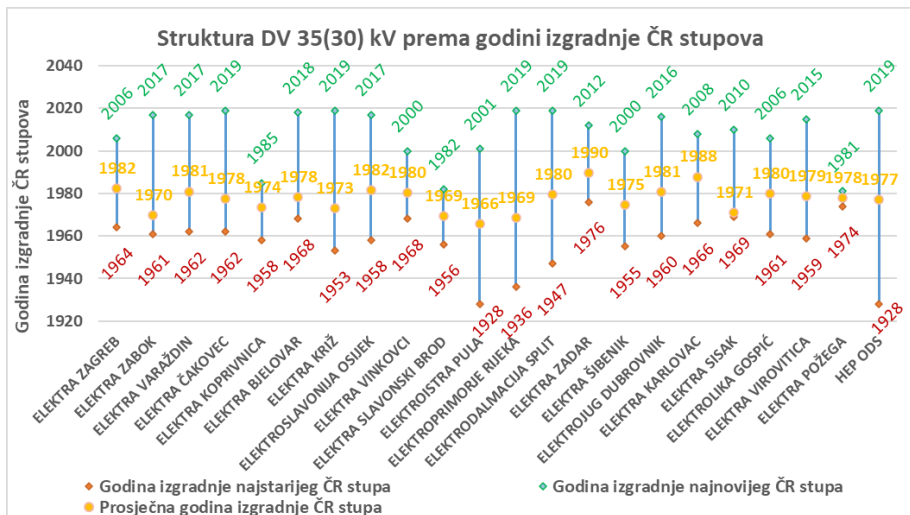
U nastavku su prikazani podaci o godini izgradnje pojedinog elementa dionica prema najstarijoj i najnovijoj godini izgradnje te prosječnoj godini pojedinačne imovine za pojedino distribucijsko područje, kao i za sva distribucijska područja (na razini HEP ODS-a).

Slika 4 prikazuje strukturu dalekovoda 35(30) kV prema godini izgradnje AB stupova. Najstariji AB stupovi su iz 1947. godine, a najnoviji iz 2011. godine, dok je na razini svih distribucijskih područja prosjek godine izgradnje 1965. godina, odnosno njihova prosječna starost je 55 godina.



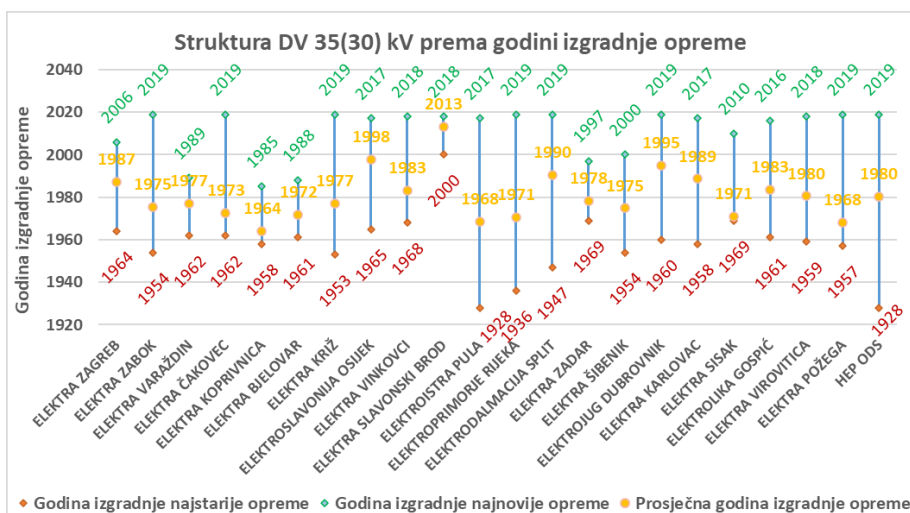
Slika 4. Struktura dalekovoda 35(30) kV prema godini izgradnje AB stupova

Slika 5 prikazuje strukturu dalekovoda 35(30) kV prema godini izgradnje ČR stupova. Najstariji ČR stupovi su izgrađeni 1928. godine, a najnoviji 2019. godine, dok je prosječna godina izgradnje na razini svih distribucijskih područja 1977. godina, odnosno njihova prosječna starost je 43 godine.



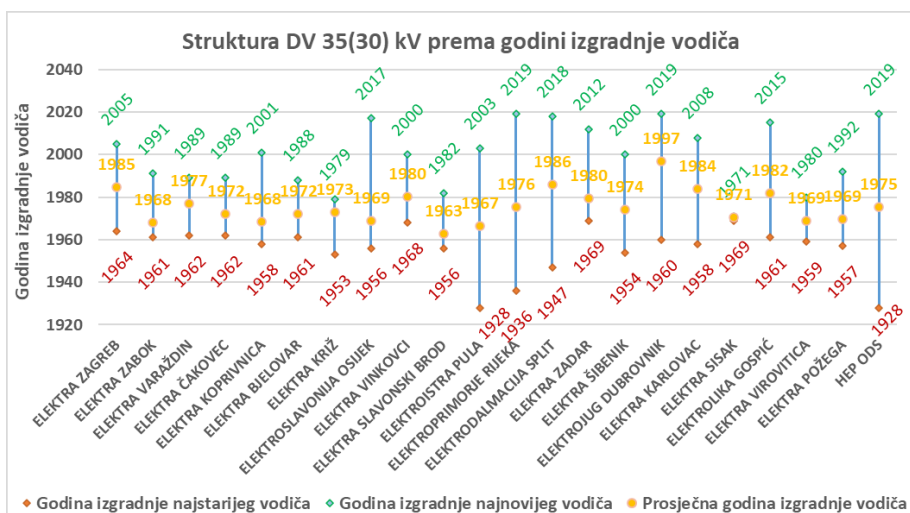
Slika 5. Struktura dalekovoda 35(30) kV prema godini izgradnje ČR stupova

Slika 6 prikazuje godinu ugradnje ovjesne i spojne opreme. Najstarija ovjesna oprema je evidentirana iz 1928. godine, a najnovija 2019. godine. Prosječna godina ugradnje ovjesne i spojne opreme na razini svih distribucijskih područja je 1980. godina, čemu odgovara prosječna starost 40 godina.



Slika 6. Struktura dalekovoda 35(30) kV prema godini izgradnje ovjesne i spojne opreme

Slika 7 prikazuje godinu ugradnje najstarijeg i najnovijeg vodiča te prosječnu godinu ugradnje vodiča. Najstariji vodič datira iz 1928. godine, a najnoviji iz 2019. godine. Prosječna godina ugradnje vodiča je 1975. godina, čemu odgovara prosječna starost 45 godina.



Slika 7. Struktura dalekovoda 35(30) kV prema godini izgradnje vodiča

### 3. METODOLOGIJA ZA ODREĐIVANJE PRIORITETA ULAGANJA

Radi određivanja prioriteta ulaganja u nadzemnu distribucijsku mrežu 35(30) kV primijenjena je metodologija upravljanja ulaganjima u imovinu (engl. Asset Investment Management – AIM) [1] koju je razvila tvrtka EA Technology iz Ujedinjenog Kraljevstva (UK), a u obvezi su se njome koristiti za donošenje odluka o svim zahvatima na postojećoj imovini svi operatori distribucijskih mreža na području UK. AIM metodologija se zasniva na platformi prethodno razvijene metodologije upravljanja rizikom na temelju praćenja stanja (engl. Condition Based Risk Management – CBRM).

- Uključivanjem informacija o imovini, inženjerskog znanja i praktičnog iskustva modelom se definira sadašnje i buduće stanje imovine (ocjena zdravlja), pokazatelji pogona (vjerojatnost kvara) te rizik imovine. Osnovna načela metodologije obuhvaćena su sljedećim ključnim pitanjima:
- Koja imovina mora biti hitno zamijenjena?
- Kako predvidjeti zdravlje imovine sada i u budućnosti?
- Kako se mogu smanjiti troškovi bez utjecaja na buduće pokazatelje poslovanja?
- Gdje su značajni sigurnosni rizici na imovini (distribucijskoj mreži)?

- Kakav je utjecaj ako se ne ulaže u imovinu (odlažu se svi potrebni izdaci)?
- Kako modelirati stečena iskustva osoblja tvrtke (HEP ODS-a)?

### 3.1. Kratki osvrt na AIM/CBRM metodologiju

AIM/CBRM metodologiju moguće je primjenjivati na mnogo različitih vrsta imovine, primjerice nadzemne vodove, kabele, rasklopnu opremu, transformatore itd. Unatoč primjeni jednakog generičkog pristupa pri procjeni zdravlja i kritičnosti, odnosno rizika za svaku pojedinu imovinu, potrebno je ovisno o vrsti imovine definirati različite ulazne podatke i kalibracijske vrijednosti kojima se model koristi za proračune. Imovina za koju se radi specifikacija ulaznih podataka i kalibracija razvrstava se prema kategoriji imovine (engl. Asset Category). Strukturu modela za pojedinu kategoriju imovine dalekovoda 35(30) kV prema AIM/CBRM metodologiji prikazuje Slika 8, na kojoj su crvenom bojom navedena unaprjeđenje u odnosu na originalni model metodologije.. Dakle, kategorije imovine za koje su zasebno razvijeni AIM/CBRM modeli predstavljaju četiri promatrane komponente (AB stupovi, ČR stupovi, Oprema i Vodiči) koje čine dionicu u cjelini, obrađenu kao sumarni dio svih navedenih komponenti.



Slika 8. Struktura modela prema AIM/CBRM metodologiji

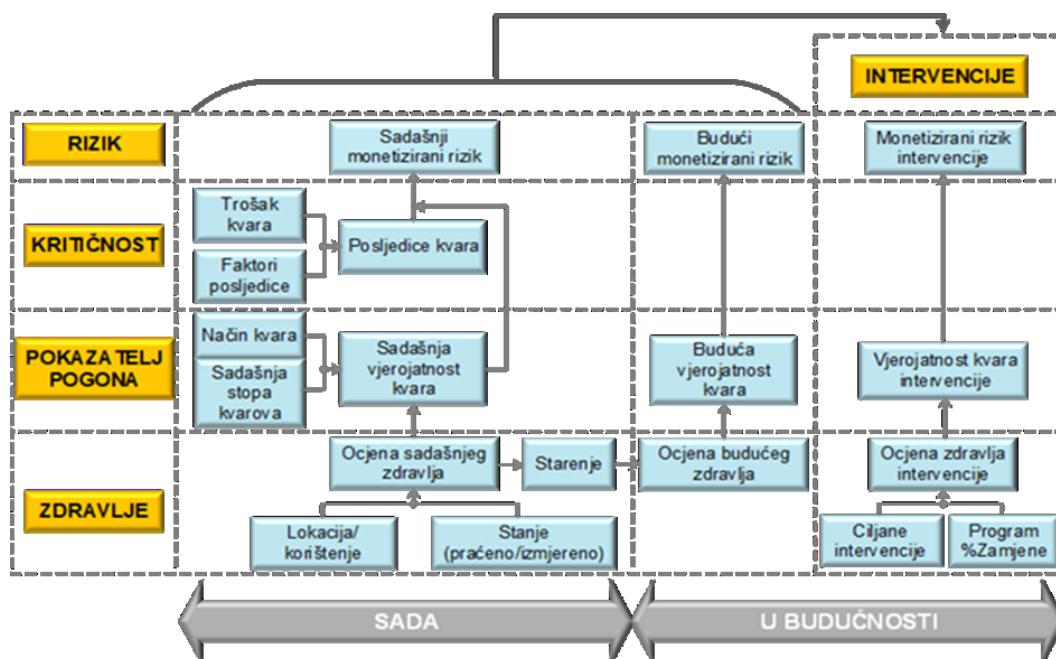
AIM/CBRM metodologija može se sažeti sljedećim nizom ključnih koraka:

- *Određivanje sadašnjeg zdravlja imovine* – ocjena zdravlja (engl. Health Index – HI) dobiva se za pojedinačnu imovinu korištenjem podataka o starosti, lokaciji, korištenju i specifičnim uvjetima. Iskazan je kroz skupinu od deset mogućih ocjena, pri čemu HI1 označava imovinu s najboljom ocjenom zdravlja, a HI10 imovinu koja ima najlošiju ocjenu zdravlja.
- *Povezivanje sadašnjeg zdravlja imovine s njenim pokazateljima pogona* – pokazatelji pogona iskazuju se vjerojatnošću kvara (engl. Probability of Failure – PoF) te su za bilo koju kategoriju imovine određeni podudaranjem profila ocjene zdravlja s prijašnjom stopom kvarova.
- *Procjena budućeg zdravlja imovine i pokazatelja pogona* – stopa starenja za pojedinu imovinu ovisi o stanju imovine i o radnom okruženju. Buduća stopa kvarova zatim se može izračunati iz profila ocjene zdravlja i prethodno određenog omjera HI/PoF.
- *Definiranje posljedica kvarova* – posljedice kvarova (engl. Consequences of Failure – CoF) definirane su četirima najznačajnijim kategorijama: financijskim, sigurnosnim, okolišnim i mrežnim posljedicama. Posljedice kvarova su monetarno izražene odnosno svedene na zajedničku novčanu jedinicu (npr. HRK, EUR, USD, GBP itd.).
- *Određivanje rizika imovine* – rizik pojedinačne imovine određen je kombinacijom, odnosno umnoškom vjerojatnosti kvara i njegovom posljedicom. Sadašnji i budući rizik računa se na jednak način uzimajući u obzir sadašnju vrijednost vjerojatnosti i posljedice kvara za sadašnji rizik i njihovu vrijednost u budućnosti za određivanje rizika u budućnosti. Rizik je također monetarno izražen.



- *Procjena potencijalnih intervencija* – programi potencijalne zamjene i/ili obnove mogu se modelirati za procjenu učinka različitih scenarija ulaganja na zdravlje imovine, njezine pokazatelje pogona i rizik. U svrhu procjene potencijalnih intervencija modelirana su dva scenarija, scenarij postotne zamjene.
- *Pregled i pročišćivanje informacija i procesa* – izgradnja i upravljanje procesom temeljenim na riziku korištenjem određenih informacija nije jednokratni proces. Početna aplikacija daje rezultate na temelju dostupnih informacija i potrebno je identificirati mogućnosti za neprekidno poboljšanje koje se zatim mogu koristiti za progresivno stvaranje poboljšanog okvira informacija o imovini.

Strukturu AIM/CBRM metodologije prema navedenim koracima prikazuje Slika 9.



Slika 9. Struktura AIM/CBRM metodologije

Sa strane stanja imovine, umjesto samo starosti, koncept ocjene zdravlja sa stajališta promatranja vjerojatnosti pojave kvara može uključivati više različitih praćenih i izmjerenih parametara stanja imovine. Posljedice nastalog kvara su pak strukturirane tako da uključuju sve važne aspekte pogonskih karakteristika distribucijske mreže. Ishod metodologije je rizik pojedinačne imovine izražen u novčanim jedinicama da bi bio usporediv s investicijskim troškovima za ostala moguća poboljšanja distribucijske mreže.

AIM/CBRM model izrađen je tako da za njegov rad nije isključivo potrebno poznavati sve ulazne podatke koji se traže kod proračuna. Ocjena zdravlja može se odrediti za bilo koju imovinu na temelju njezine starosti, pri čemu se starost, odnosno godina proizvodnje imovine smatra obaveznim podatkom. Za podatke koji nisu dostupni ili poznati primjenjuje se zadana vrijednost, pri čemu se takva imovina tretira kao prosječna. Kasnijim upotpunjavanjem podataka dobivaju se točniji rezultati koji odgovaraju realnom stanju imovine, što se prije svega izražava na podacima o stopi starenja, pokazateljima pogona (vjerojatnosti kvara) te u konačnici na razinu rizika za pojedinačnu imovinu.

### 3.2. Unaprjeđenje u odnosu na standardne modele prema AIM/CBRM metodologiji

U odnosu na standardne modele koji odgovaraju primjeni AIM/CBRM metodologije [1], koju prikazuje Slika 9, model dalekovoda 35(30) kV sadrži sljedeća unaprjeđenja:

- u modelima pojedinačne kategorija imovine osmišljen je model za određivanje zamjena i obnova na temelju rezultata optimizacije scenarija postotne zamjene (opis u poglavlju 3.2.1.)
- ciljane intervencije u modelima vodiča te ovjesne i spojne opreme uključuju osmišljeno optimiranje ulaganja na razini dionice (integralno planiranje zamjene na razini dionice), te planirani scenarij zamjene ili obnove svih vrsta stupova (opis u poglavlju 3.2.2.)

- unaprijeđen je sumarni model na razini dionice koji sadrži sve ključne rezultate četiriju modela pojedinačnih kategorija imovine (HI, troškovi, rizik tijekom 25 godina, diskontirani pokazatelji troškova, ...)
- u modele pojedinačne kategorije imovine uključena je usporedba troškova intervencija (zamjena ili obnova) i troškova rizika metodom diskontiranja
- u modelu za sumarni prikaz na razini dionica uvrštena je analiza omjera koristi i troškova intervencija predviđenih u scenarijima postotne zamjene i ciljanih intervencija te rangiranje intervencija i po tom kriteriju.

### 3.2.1. Model postotne zamjene

U sklopu modela postotne zamjene (%Zamjena), u kalibracijskim tablicama modela određuje se postotak populacije imovine koji će se zamijeniti svake godine, počevši od najviše rangirane imovine. Imovinu je moguće rangirati prema sljedećim opcijama:

- i) ocjena sadašnjeg zdravlja (HI G0)
- ii) ocjena budućeg zdravlja (HI Gn)
- iii) sadašnji rizik (Rizik G0)
- iv) budući rizik (Rizik Gn)
- v) razlika rizika.

Rangiranje prema razlici rizika predstavlja praćenje razlike očekivanog rizika pojedinačne imovine u nekoj budućoj godini i rizika nove imovine u odabranoj budućoj godini. Zamjena na temelju rangiranja razlike rizika daje najveće moguće smanjenje rizika. Godina u kojoj se pojedinačna imovina zamjenjuje računa se iz rangiranja imovine i time se određuje ocjena zdravlja prema starosti u budućem razdoblju. U ovom slučaju, odabrano je prikazivanje stanja i rizika te rangiranje imovine u desetogodišnjem razdoblju, a dodatno se rizici i troškovi (nominalni i diskontirani) prate u duljem 25-godišnjem razdoblju.

### 3.2.2. Model ciljanih intervencija

Opcija ciljanih intervencija omogućava odabir određene imovine za koju je planirana zamjena ili obnova u nekoj narednoj godini. Prema AIM/CBRM metodologiji, u slučaju zamjene, ocjena zdravlja zamijenjene imovine vraća se na vrijednost ocjene zdravlja koja odgovara za novu imovinu, dok se ocjena zdravlja u slučaju obnove upisuje kao ulazna vrijednost.

U modelu izrađenom za dalekovode 35(30) kV napravljene su izmjene u odnosu na standardni model pa je kod ciljanih intervencija koje se odnose na zamjenu pojedinačne imovine moguć unos vrste, godine i troška zamjene te u slučaju obnove unos podatka o vrsti, godini i trošku obnove te ocjeni zdravlja nakon obnove. Ako podatak o trošku zamjene ili obnove nije unesen, onda se iznos računa iz kalibracijskih vrijednosti primjerenih za tipičnu potkategoriju imovine ovisno o pristupačnosti do lokacije.

Osim mogućnosti unosa pojedinih ciljanih intervencija, u modelima pojedinačne kategorije imovine primijenjen je scenarij ciljanih intervencija na temelju rezultata optimiranja scenarija postotnih zamjena. Ovisno o primijenjenoj kalibraciji minimalne vrijednosti sadašnje ocjene zdravlja (HI G0), sva ili dio imovine predviđene za zamjenu u scenariju postotne zamjene raspoređen je u plan zamjene ili obnove u scenariju ciljanih intervencija.

Ciljane intervencije za modele AB stupova i ČR stupova provode se u sljedećim koracima:

- 1) Kalibracijom je potrebno odrediti sljedeće dvije granice:
  - a. najmanja ocjena sadašnjeg zdravlja imovine iznad koje se stupovi predviđeni za zamjenu u scenariju postotne zamjene uvrstavaju u plan zamjene kroz ciljne intervencije
  - b. najmanja ocjena sadašnjeg zdravlja imovine iznad koje se stupovi predviđeni za zamjenu u scenariju postotne zamjene uvrstavaju u plan obnove kroz ciljne intervencije.
- 2) Nakon odabira kalibracijskih granica računaju se ciljne intervencije zamjene one imovine čija je zamjena predviđena scenarijem postotne zamjene i čija je ocjena sadašnjeg zdravlja veća ili jednaka od kalibracijske vrijednosti pod točkom 1) a.



- 3) Nakon odabira kalibracijskih granica računaju se ciljane intervencije obnove one imovine čija je zamjena predviđena scenarijem postotne zamjene i čija je ocjena sadašnjeg zdravlja veća ili jednaka od kalibracijske vrijednosti pod točkom 1) b. i manja od kalibracijske vrijednosti pod točkom 1) a.

Ciljane intervencije za modele ovjesne i spojne opreme te vodiče optimiranje su na razini dionice (integralno planiranje zamjene na razini dionice) i provode se u sljedećim koracima:

- 1) Kalibracijom modela za ovjesnu i sponu opremu je potrebno definirati sljedeće vrijednosti:
  - a. najmanja ocjena sadašnjeg zdravlja ovjesne i spojne opreme iznad koje se ovjesna i spojna oprema predviđa za zamjenu u scenariju postotne zamjene i razmatra se za plan zamjene kroz ciljane intervencije na razini dionice
  - b. udio ovjesne i spojne opreme dionice koja zadovoljava gornji uvjet (minimalni HI G0) kako bi se ovjesna i spojna oprema na cijeloj dionici okarakterizirala lošom te se dionica uvrstila u plan kompletne zamjene ovjesne i spojne opreme i vodiča.
- 2) U scenariju ciljanih intervencija se izračuna indikator dionice kod koje je potrebno zamijeniti vodič i svu ovjesnu i spojnu opremu zbog lošeg stanja ovjesne i spojne opreme, te se taj podatak prenosi u model za vodiče.
- 3) Godina zamjene ovjesne i spojne opreme na cijeloj dionici jednaka je prosječnoj godini zamjene pojedine ovjesne i spojne opreme određenoj u scenariju postotne zamjene ovjesne i spojne opreme.
- 4) Kalibracijom u modelu za vodiče treba odabrati vrijednost najmanje ocjene sadašnjeg zdravlja vodiča iznad koje se vodiči predviđeni za zamjenu u scenariju postotne zamjene uvrštavaju se u plan zamjene u scenariju ciljanih intervencija.
- 5) U ciljanim intervencijama izračuna se godina zamjene vodiča koja uključuje one vodiče koji su predviđeni za zamjenu scenarijem postotne zamjene i čija je ocjena sadašnjeg zdravlja veća ili jednaka određenoj kalibracijskoj granici iz točke 4 te onih vodiča za koje je u modelu ovjesne i spojne opreme identificirana ovjesna i spojna oprema za zamjenu na razini cijele dionice.
- 6) Na temelju točke 5) identificiraju se vodiči koje je scenarijem ciljanih intervencija potrebno zamijeniti i oni se prenose u model za ovjesnu i spojnu opremu.
- 7) Na temelju identificiranih vodiča za zamjenu, u modelu za ovjesnu i spojnu opremu izračuna se godina zamjene ovjesne i spojne opreme te je time određeno koja će se ovjesna i spojna oprema mijenjati kroz scenarij ciljanih intervencija.
- 8) Godina zamjene vodiča i cjelokupne ovjesne i spojne opreme na razini dionice u scenariju ciljanih intervencija jednaka je godini zamjene komponente koja je uzrok uvrštavanja u plan zamjene na razini dionice (godina zamjene vodiča ili prosječna godina zamjene ovjesne i spojne opreme).

### 3.2.3. Usporedba troškova ulaganja i rizika metodom diskontiranja

Ocjena različitih scenarija ulaganja u obnovu DV 35(30) kV temelji se na usporedbi rizika sadašnjeg stanja imovine i očekivanog stanja u odabranoj budućoj godini promatranja (u modelu 10, kako bi analizom bio obuhvaćen 10G plan ulaganja) te ukupnih kumulativnih diskontiranih troškova ulaganja i rizika tijekom promatranog razdoblja (u modelu 25 godina).

Odabrani scenarij ulaganja treba omogućiti zadržavanje zadovoljavajuće razine rizika uz minimalne troškove ulaganja, koji se promatraju svedeni na početnu godinu (diskontirani). Takvo svođenje budućih ulaganja i rizika na početnu godinu metodom diskontiranja omogućuje odabir scenarija ulaganja na temelju izravne usporedbe iznosa ulaganja i iznosa rizika. Strogo promatrano, ekonomski isplativ plan ulaganja bi imao kumulativni zbroj diskontiranih troškova ulaganja i rizika manji od odgovarajućeg troška samo rizika bez ikakvih ulaganja u imovinu. No, kako ulaganja u obnovu mrežne infrastrukture često nisu ekonomski opravdana, ali su nužna radi tehničkih ili regulatornih ograničenja, odabire se scenarij ulaganja koji rezultira najmanjim kumulativnim troškovima ulaganja i rizika, koji mogu biti i veći od troškova samo rizika bez ikakvih ulaganja u imovinu.

Svođenje troškova ulaganja i rizika na početnu godinu promatranog razdoblja planiranja  $N$  temeljem diskontne stope  $a$  provodi se uzevši u obzir njihovu preostalu vrijednost na kraju razdoblja promatranja, sukladno životnom vijeku opreme  $T$ .

Ako je  $I$  nominalna (nediskontirana) vrijednost jednog promatranog ulaganja životnog vijeka  $T$ , predviđenog u godini  $n < N$ , tada je u slučaju da je  $(n+T-N) \geq 0$  diskontirana vrijednost tog ulaganja jednaka

$$I_{act} = \frac{I}{(1+a)^n} \quad (1)$$

a preostala vrijednost tog ulaganja na kraju razdoblja planiranja  $N$  jednaka

$$PV_{act} = \frac{I}{(1+a)^N} \frac{(1+a)^T - (1+a)^{N-n}}{(1+a)^T - 1} \quad (2)$$

Ako je  $(n+T-N) < 0$  tada je preostala vrijednost ulaganja na kraju razdoblja planiranja  $N$  jednaka 0. Doprinos promatranog ulaganja ukupnim troškovima ulaganja promatranog 25-godišnjeg scenarija ulaganja jednak je diskontiranim amortiziranim troškovima promatranog ulaganja  $I_{act} - PV_{act}$ . Diskontirana vrijednost rizika nominalne vrijednosti  $R$  u godini  $n < N$  jednaka je

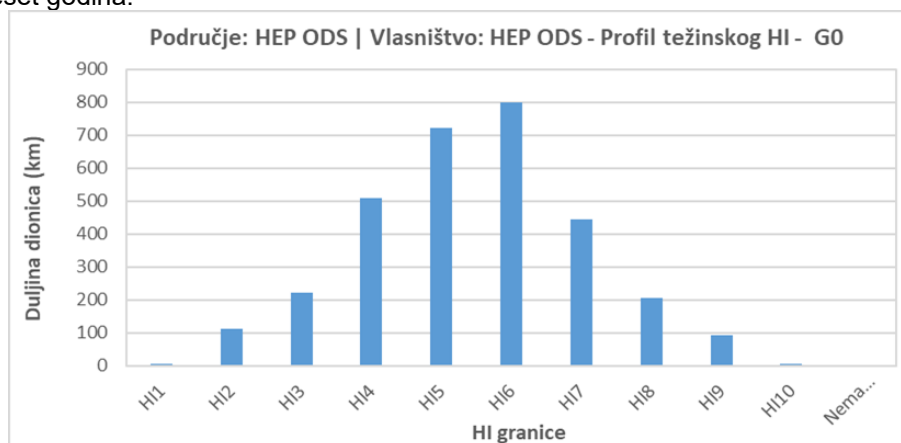
$$R_{act} = \frac{R}{(1+a)^n} \quad (3)$$

a odabir najboljeg od više analiziranih scenarija ulaganja svodi se na minimum zbroja diskontiranih rizika i diskontiranih troškova svih ulaganja tijekom razdoblja planiranja. Prikaz rezultata u ovom referatu dan je uz pretpostavku diskontne stope 5%. Primjena veće diskontne stope rezultirala bi manjom ekonomskom opravdanošću ulaganja, jer je veći dio ulaganja predviđen na početku promatranog 25-godišnjeg razdoblja, dok se rizici povećavaju prema kraju tog razdoblja.

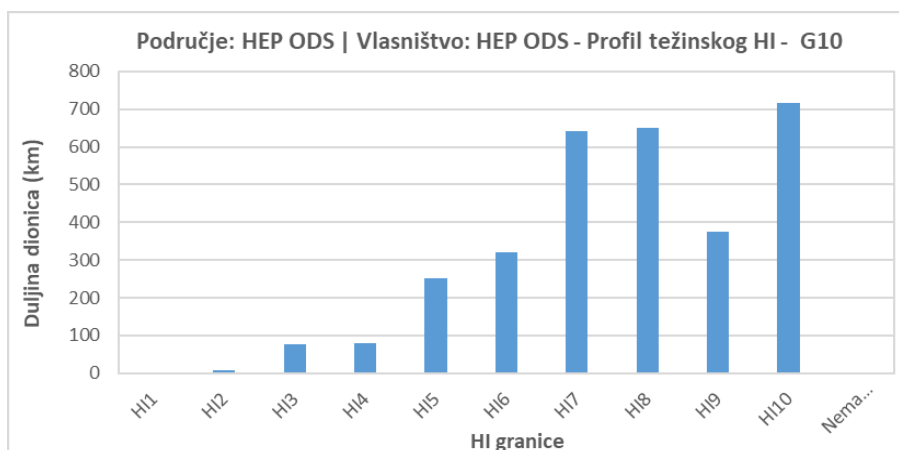
#### 4. REZULTATI MODELA ZA ODREĐIVANJE PRIORITETA ULAGANJA NA RAZINI DIONICA

Rezultati modela pojedinačne kategorije imovine (AB stupovi, ČR stupovi, ovjesna i spojna oprema te vodiči) svedeni su na razinu dionice. Budući da se razlikuje broj elemenata pojedine kategorije dionice, ocjene sadašnjeg i budućeg zdravlja, prikazani u nastavku, računati su kao težinske srednje vrijednosti na temelju težinskih faktora ovisnih o ocjeni zdravlja pojedinačnih elemenata. Težinski faktori množe se s ocjenom zdravlja pojedine kategorije imovine i zatim se umnoški zbrajaju na razini dionice i dijele s brojem imovine na dionicu. Budući da se radi o „linijskoj“ imovini (dionici), težinska ocjena zdravlja na razini dionice svedena je na jedinicu duljine. Na taj način je veća važnost dodijeljena onoj imovini koja je ocijenjena s lošijom ocjenom zdravlja.

Slika 10 prikazuje profil ocjene sadašnjeg zdravlja na razini dionica izračunat pomoću težinskih faktora. Prema prikazu, većini dionica je ocjena zdravlja između HI4 i HI7. Prema AIM/CBRM metodologiji, ocjene zdravlja između HI5 i HI7 karakteriziraju imovinu kod koje postoji potreba za značajnijim održavanjem ili obnovom, a ocjene zdravlja HI8 do HI10 karakteriziraju imovinu kod koje postoji potreba za značajnijom obnovom ili zamjenom novom imovinom. Slika 11 prikazuje profil ocjene budućeg zdravlja, odnosno ocjenu zdravlja dionica za deset godina ako se ne bi ništa ulagalo u imovinu dalekovoda 35(30) kV. U tom slučaju bi se ocjena zdravlja dionica pomaknula u područje ocjena zdravlja između HI7 i HI10. Takvo stanje ukazuje na potrebu za značajnim ulaganjima u obnovu i zamjenu imovine za deset godina.

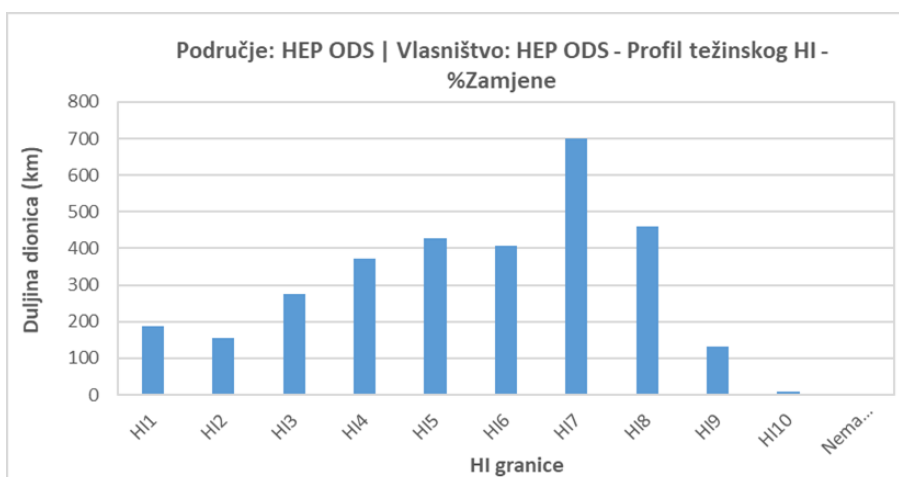


Slika 10. Profil težinske ocjene sadašnjeg zdravlja dionica



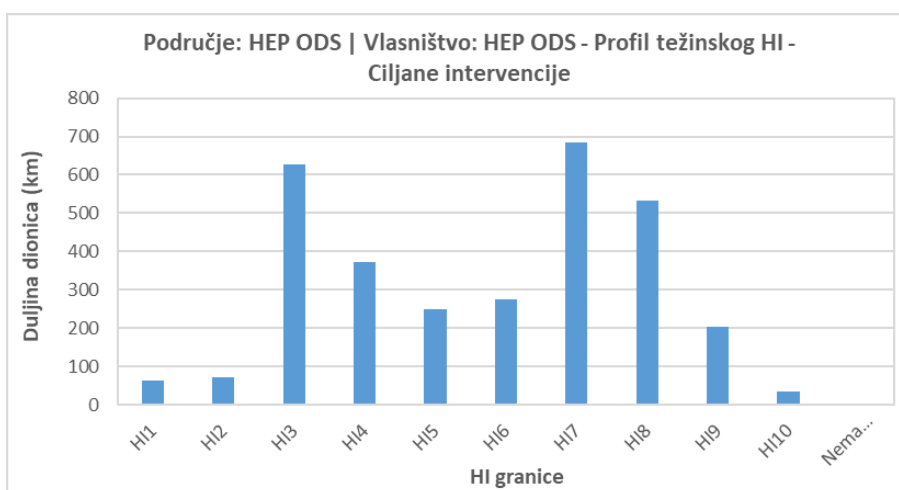
Slika 11. Profil težinske ocjene budućeg zdravlja dionica

Slika 12 prikazuje profil ocjene budućeg zdravlja na razini dionica u slučaju scenarija postotne zamjene raspoređenih u narednom desetogodišnjem razdoblju. Prema prikazu, značajan dio dionica zadržava visoke ocjene HI7 i HI8, no dionice kojima je buduća ocjena zdravlja bez predviđenih intervencija HI9 i HI10 se preraspoređuju u ocjene zdravlja od HI1 do HI7.



Slika 12. Profil težinske ocjene budućeg zdravlja dionica za postotnu zamjenu

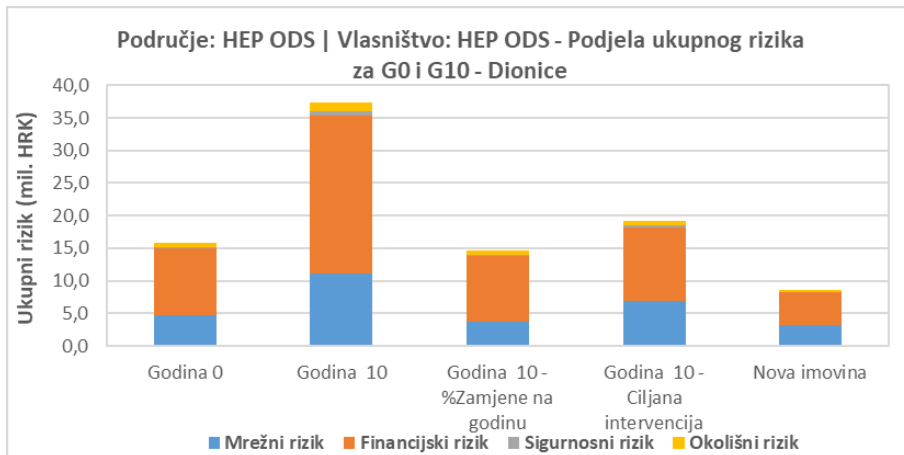
Uz nešto drugačiju raspodjelu, jednako tako vrijedi i za ocjenu budućeg zdravlja za scenarij ciljanih intervencija, što prikazuje Slika 13. U tom slučaju veliki broj imovine ima ocjenu zdravlja HI3 zbog obuhvaćanja obnove jer nakon obnove imovina dobiva ocjenu zdravlja veću nego što je nakon zamjene, kada je ocjena zdravlja jednaka ocjeni zdravlja nove imovine.



Slika 13. Profil težinske ocjene budućeg zdravlja dionica za ciljane intervencije

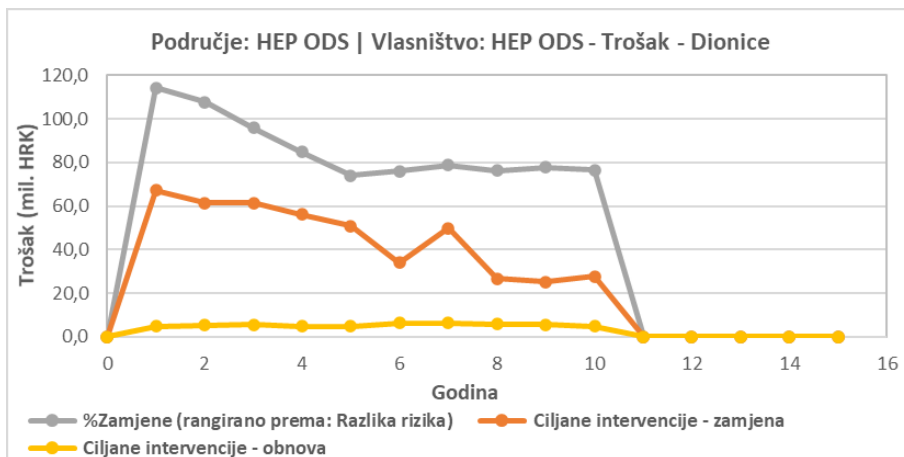
Slika 14 prikazuje podjelu ukupnog rizika svih dionica prema analiziranim komponentama rizika (mrežni, financijski, sigurnosni i okolišni rizik) i za različite scenarije (rizik u sadašnjoj, početnoj godini, rizik u budućoj godini, rizik u budućoj godini za scenarij postotne zamjene, rizik u budućoj godini za scenarij ciljanih intervencija i rizik u budućoj godini ako bi stanje sveukupne imovine odgovaralo novoj imovini).

Moguće je zaključiti da bi, u slučaju da se ne bi ništa ulagalo u imovinu dalekovoda 35(30) kV, godišnji rizik sa sadašnjih 15,8 milijuna HRK narastao na 37,3 milijuna HRK. U slučaju scenarija postotne zamjene rizik ostaje približno jednak sadašnjem riziku imovine, a u slučaju scenarija ciljanih intervencija rizik poraste na 19,1 milijuna HRK. Ukoliko bi sva imovina stanjem odgovarala novoj imovini, ukupni rizik bi iznosio 8,7 milijuna HRK. U strukturi rizika oko 2/3 otpada na financijski rizik, a oko 1/3 na mrežni rizik.



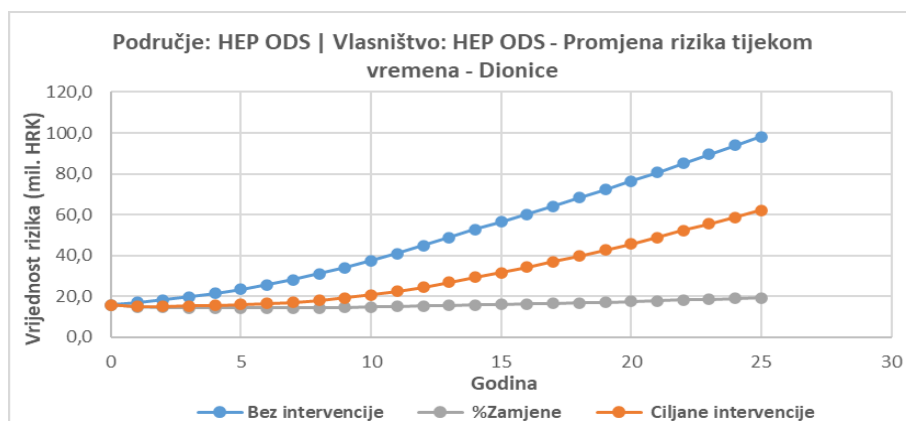
Slika 14. Podjela ukupnog rizika dionica prema komponentama

Slika 15 prikazuje ukupni trošak ulaganja na razini dionica, što odgovara zbroju svih ulaganja u pojedinu komponentu dionice. Ukupni trošak ulaganja prikazan je za naredno desetogodišnje razdoblje za scenarij postotne zamjene te za scenarije ciljanih intervencija zamjene i obnove ukupne imovine. Prema scenariju postotne zamjene, a djelomično je prati i scenarij ciljanih intervencija, u prvoj godini su ulaganja najveća i nakon toga padaju do pete godine nakon čega su ulaganja približno jednaka za svaku narednu godinu.



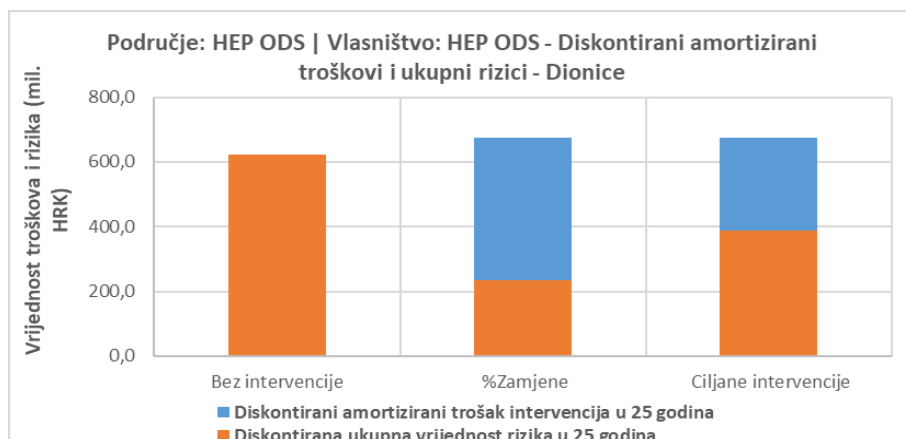
Slika 15. Ukupni trošak ulaganja na razini dionica

Slika 16 prikazuje promjenu rizika u 25-godišnjem razdoblju za scenarije ako se ne bi ništa ulagalo u imovinu, u slučaju postotne zamjene i u slučaju ciljanih intervencija. Prikazani rezultati dobiveni su zbrajanjem rizika iz modela za pojedinačne komponente dionice. Ako se ne bi ulagalo u imovinu, rizik imovine bi u 25-godišnjem razdoblju porastao 6,2 puta, sa sadašnjih 15,8 milijuna HRK na 98,1 milijuna HRK. U slučaju scenarija postotne zamjene rizik ostaje približno jednak u čitavom 25-godišnjem razdoblju. U slučaju ciljanih intervencija rizik bi porastao 3,9 puta, sa sadašnjih 15,8 milijuna HRK na 62,1 milijuna HRK, no porast rizika u 10-godišnjem razdoblju nije značajan u odnosu na slučaj postotnih zamjena.

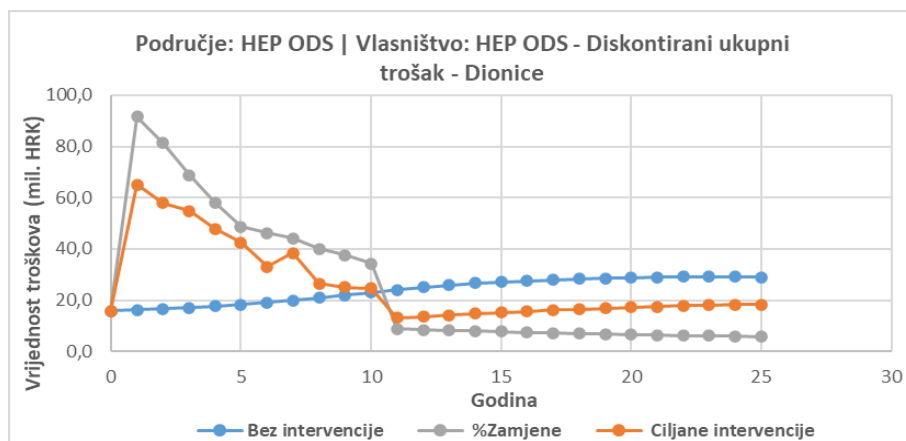


Slika 16. Promjena rizika tijekom 25-godišnjeg razdoblja na razini dionica

Slika 17 prikazuje zbroj diskontiranih amortiziranih troškova ulaganja i rizika na razini svih dionica kumulativno tijekom 25-godišnjeg razdoblja, a Slika 18 godišnje. Kod diskontiranja uzeta je u obzir diskontna stopa od 5 %. U oba slučaja, dakle postotnih zamjena i ciljanih intervencija, njihov zbroj je veći od rizika ako se ne bi ništa radilo, no razlika je relativno malena, pri čemu je ostvareno značajno smanjenje rizika, osobito u slučaju scenarija postotnih zamjena. Oba scenarija ulaganja imaju približno jednake ukupne troškove, a scenarij postotne zamjene ima bitno bolji omjer troškova ulaganja i rizika te bi se moglo zaključiti kako predstavlja optimalni scenarij obnove dalekovoda 35(30) kV. No, potrebno je uzeti u obzir da taj scenarij pretpostavlja potpuno neovisno optimiranje zamjena pojedinih elemenata dalekovoda na razini stupnog mjesta, odnosno nije uključeno integralno planiranje obnove vodiča i opreme na razini cijele dionice. Stoga scenarij postotne zamjene u stvari predstavlja teoretski potencijal smanjenja rizika, dok scenarij ciljanih intervencija predstavlja realno ostvarivo upravljanje rizikom, uz otvorenu mogućnost dodatnog optimiranja.



Slika 17. Kumulativni diskontirani amortizirani troškovi ulaganja i ukupni rizici na razini dionice



Slika 18. Ukupni trošak ulaganja i rizika na razini dionica

#### 4. ZAKLJUČAK

U referatu je dan prikaz dijela rezultata studije [6] u okviru koje su Energetski institut Hrvoje Požar i Dalekovod projekt na temelju vlastitog stručnog znanja te iskustva i intenzivne suradnje HEP ODS-a primijenili i unaprijedili metodologiju planiranja obnove dalekovoda 35(30) kV temeljenu na načelima suvremenog pristupa upravljanju imovinom. Intenzivnom suradnjom i doprinosom svih distribucijskih područja HEP ODS-a u pogledu pružanja velikog broja potrebnih informacija i podataka te aktivnog sudjelovanja u tri višednevne radionice, od inicijalno predviđenog pilot projekta studija je u konačnici prerasla u nacrt plana obnove cijele mreže dalekovoda 35(30) kV na području Hrvatske.

Dan je prikaz razvoja metodologije i modela za planiranje upravljanja rizicima dalekovoda 35(30) kV te ujednačavanje kriterija odabira između manjih ili većih zahvata, sanacija, modifikacija ili zamjena elemenata pojedinih dionica ili cijelog dalekovoda. U svrhu sustavnog planiranja upravljanja rizicima imovine dalekovoda 35(30) kV primijenjena je AIM/CBRM metodologija koja je progresivno razvijena tijekom više godina kao rezultat bliske suradnje s tvrtkama za distribuciju i prijenos električne energije u Ujedinjenom Kraljevstvu kao strukturirani proces koji kombinira informacije o imovini, inženjerska znanja i praktično iskustvo za definiranje sadašnjeg i budućeg stanja, pokazatelja pogona i rizika imovine.

Primjena metodologije u HEP ODS-u započela je pilot projektom unapređenja upravljanja imovinom [2] dovršenim 2019. godine u suradnji Energetskog instituta Hrvoje Požar i EA Technology iz Ujedinjenog Kraljevstva. Modeli temeljeni na spomenutoj metodologiji potpuno su prilagođeni potrebama za cjelovit obuhvat dalekovoda 35(30) kV.

Primjenom napredne AIM/CBRM metodologije za upravljanje imovinom uočena je važnost evidentiranja ulaznih podataka o stanju i upotrebi imovine. Najvažniji, ujedno i obavezni ulazni podatak, je starost pojedine kategorije imovine. Važno je na pravilan način evidentirati svaku intervenciju koja je bila izvršena na pojedinoj komponenti te u skladu s tim ažurirati sve ulazne podatke o starosti pojedine komponente te praćenom i izmjenom stanju, kao i ostale ključne podatke definirane metodologijom. Također, uočena je potreba detaljnijeg praćenja i izrade registra kvarova i ispada te njihovih financijskih i mrežnih posljedica, kako bi se što vjerodostojnije modeliralo stvarno stanje, ocjena zdravlja, vjerojatnost kvara ili ispada i rizičnost pojedinih komponenata.

#### 5. LITERATURA

- [1] DNO Common Network Asset Indices Methodology, Health & Criticality – Version 1.1, EA Technology, UK, 31.01.2017.
- [2] The establishment of an advanced methodology and model of asset management based on condition-based risk management and the role of the distribution network components, EIHP and EA Technology, 2019
- [3] J. Peacock, T. Pears, A. Tunjić, M. Pavelić, T. Baričević, „AIM/CBRM Methodology Applied in HEP ODS - Trial Project Models for Substations MV/LV and MV Cables“, 14. savjetovanje HRO CIGRE, Šibenik, Hrvatska, studeni 2019, C1-09
- [4] G. Vidmar, A. Tunjić, I. Baran, N. Bogunović, Ž. Plantić, „AIM/CBRM metodologija u HEP ODS-u - organizacija projekta i osiguranje podataka“, 14. savjetovanje HRO CIGRE, Šibenik, Hrvatska, studeni 2019, C1-10
- [5] A. Tunjić, M. Vuksanić, T. Tomašić, T. Baričević, M. Biondić, D. Mešić, „Podaci o kvarovima – važan element za utvrđivanje rizika stanja elemenata mreže AIM/CBRM metodologijom u HEP ODS-u“, 14. savjetovanje HRO CIGRE, Šibenik, Hrvatska, studeni 2019, C1-10
- [6] Studija planiranja obnove dalekovoda 35(30) kV kao važne sastavnice distribucijske mreže HEP ODS-a, Energetski institut Hrvoje Požar i Dalekovod Projekt d.o.o., Zagreb, svibanj 2020.