

UPOTREBA PROGRAMSKOG JEZIKA MATLAB/TOMLAB KAO INFORMACIONA PODRŠKA PLANIRANJU I RESTAURACIJI DISTRIBUTIVNIH MREŽA

USE OF PROGRAMING LANGUAGE MATLAB/TOMLAB TO INFORMATION SUPPORT PLANNING AND RESTORATION OF DISTRIBUTION NETWORKS

mr Vojin Đ. Kerleta, dipl. inž. el.

University of Novi Sad, Technical faculty "Mihajlo Pupin"

ul. Đure Đakovića bb, 23000 Zrenjanin, Serbia

e-mail: vojinkerleta@gmail.com

Sadržaj – U ovom radu je pokazano da TOMLAB kao dodatni MATLAB-ov modul za optimizaciju efikasno i vremenski brzo rešava probleme celobrojnog-mešovito programiranja kod distributivnih mreža realnih dimenzija, a MATLAB-ov programski jezik omogućuje izradu aplikativnog softvera koji kvalitetno rešava problem, kako upisa koeficijenta u matrice velikih dimenzija, tako i generisanje rezultata proračuna odnosno potrebnih izveštaja i grafičkog prikaza proračunom dobijenih distributivnih mreža. Sve ovo omogućuje značajno unapređenje unosa potrebnih podataka za ovakve proračune u elektroenergetici, kao i kvalitetniji pregled dobijenih rezultata koji služe za generisanje alternativa odnosno definisanje «prostora rešenja» plana restauracije/planiranja distributivnih mreža (DM).

Ključne reči – MATLAB, TOMLAB, celobrojno-mešovito programiranje, sistem donošenja odluke, planiranje DM, restauracija DM, optimizacija, korisnički softver.

Abstract – This work shows that MATLAB, as TOMLAB additional optimization module can efficiently and quickly solve problems of mix-integer programming in real size distribution networks (DN), while MATLAB's programming language makes it possible to create an applicative software which successfully solves the problems of typing coefficients into big size matrixes, generating the calculations' results and necessary reports and graphics description of distribution networks obtained by means of calculations. All of this provides for a significant increase of necessary data input in power engineering. It also give a new quality to the insight of the obtained results, the purpose of which is generating the alternatives and defining "the solution area" of the restoration/planning of distribution networks.

Keywords: MATLAB, TOMLAB, mix-integer programming, decision-making system, planning of DN, restoration of DN, optimization, user software

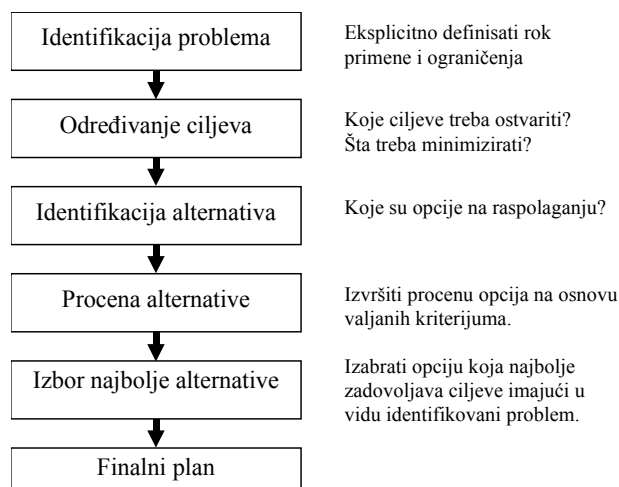
1. UVOD

Primena informacionih tehnologija u elektroenergetici poslednjih decenija dobija sve veću primenu, naročito kada je potrebna obrada velikog broja podataka, izračunavanje velikih proračuna, zatim vizuelizacija rezultata i sl. Problem restauracije opterećenja i planiranja

novih kapaciteta u elektroenergetici se često rešava kao problem donošenja odluke. Ovaj problem definisanja plana restauracije odnosno planiranja novih kapaciteta je u suštini višekriterijumski, kombinatorni, nelinearni problemu sa ograničenjima u prisustvu neizvesnosti. Zbog toga mnogi predloženi algoritmi za rešavanje ovih problema kombinuju heuristiku, teoriju fazi skupova, mešovito-celobrojno programiranje i teoriju odlučivanja, odnosno metode upravljanja rizikom [1]. Zbog ovakve zahtevane računске složenosti, primena informacionih tehnologija je postala neizostavna podrška pri rešavanju ovakvih problema.

2. PROCES DONOŠENJA ODLUKE

U praksi većina problema odlučivanja zahteva rešavanje niza situacija koje su po pravilu konfliktne. Donošenjem odluke se uvek želi postići neki cilj, a cilj jeste željeno stanje sistema koji je predmet odlučivanja. U najvećem broju slučajeva rešavanja problema, cilj predstavlja minimizaciju gubitaka i maksimiziranje dobiti. Tako je cilj ovih procedura minimizacija rizika od značajnih troškova restauracije odnosno planiranja novih kapaciteta u EES. Uloga donosioca odluke je da na osnovu nekog od kriterijuma izabere optimalno rešenje datog problema od niza mogućih izvodljivih rešenja (alternativa). Proces donošenja odluke može se podeliti u pet koraka kao što je prikazano na slici 1.1 [2].



Slika 1.1 – Proces donošenja odluke

3. ZAHTEVI PROCEDURA ZA GENERISANJE ALTERNATIVA

Korak definisan kao identifikacija (generisanje) alternativa predstavlja jedan od najznačajnijih u procesu odlučivanja [2]. Naime, u ovom koraku se generisanjem alternativa definiše mogući »prostor rešenja« problema odlučivanja. U ovom koraku se koriste procedure (manualne ili kompjuterizovane) čiji je cilj da se generiše što više alternativa koje su moguće za dati problem koji se rešava. Idealna procedura bi bila ona procedura koja bi uspela da generiše sve moguće alternative za dati problem. Na ovaj način donosilac odluke uvek može doći do optimalnog rešenja u odnosu na upotrebljeni kriterijum i način procene generisanih alternativa.

Ukoliko procedura neobuhvata neke od alternativa, ove alternative ne ulaze u »prostor rešenja«. Na taj način, što je veći broj neobuhvaćenih alternativa povećava se i rizik da se optimalno rešenje (alternativa) nalazi van »prostora rešenja« datog problema, a time i van domašaja donosioca odluke. Usled toga procedure moraju često da pretražuju veoma veliki broj alternativa koji je definisan samom prirodom problema koji se rešava. Samim tim se javlja potreba za velikom brzinom pretraživanja alternativa što daje prednost kompjuterizovanim procedurama.

S obzirom da ove procedura obrađuje određene podatke, javlja se problem unosa ulaznih parametara kojih može, u zavisnosti od prirode problema, biti toliko mnogo da procedura postane skoro neupotrebljiva. Ovi podaci treba da definišu koeficijente u optimizacionom modelu, kriterijumsku funkciju, ograničenja, kao i druge parametre koji su potrebni za opis modela koji se rešava.

Zbog svega gore navedenog, dobra procedura za identifikaciju alternativu u procesu odlučivanja generalno mora da zadovolji tri zahteva [3]:

1. *Kompleksnost*: Metod mora skenirati sva izvodljiva rešenja, a ne samo većinu njih
2. *Brzina*: Pretraživanje mora biti obavljeno brzo.
3. *Minimalni ulaz*: Korisnik unosi malu količinu podataka.

Takođe na osnovu našeg praktičnog iskustva treba izdvojiti još jedan zahtev, a to je:

4. *Manipulativnost izlaza*: Korisnik na lak način dolazi do izlaza koji je upotrebljiv za dalju manipoulaciju.

Prva dva zahteva su direktno određena matematičkim modelom kojim se problem tretira, kao i solverom koji vrši optimizaciju, dok ostala dva zahteva rešava kreirana aplikacija koja je ovde prezentovana.

4. KORIŠĆENI SOFTVERSKI ALATI

MATLAB (*MATrix LABoratory*) je moćan jezik visokog nivoa koji uključuje rad sa strukturama podataka baziranih na matricama, koji integriše numeričku analizu,

matrični račun i grafiku, poseduje širok katalog funkcija, mogućnost za unos i eksportovanje mnogo vrsta podataka, objektno orijentisanu mogućnost programiranja i mogućnost povezivanja sa programima pisanim u programskim jezicima Fortran i C. MATLAB poseduje i veliki broj ugrađenih paleta alata koji mu omogućuju različite vrste složenih tehničkih izračunavanja i vizualizaciju, kao i obradu različitih tipova podataka.

Report Generator je integrisani softverske paket u MATLAB-u koji može da uzima različite podatke iz MATLAB-ovih datoteka i eksportuje ih dokument u formi izveštaja. Izveštaji koji se mogu kreirati sa Report generatorom mogu uključiti promenljive, dijagrame, podatke, funkcije iz modela ili M-fajla. Jedna od ključnih osobina Report generatora da on može kreirati izveštaje u različitim formatima kao što su: RTF (*Rich Text Format*), XML (*Extensible Markup Language*), HTML (*Hypertext Markup Language*).

TOMLAB je poseban modul koji se integriše sa MATLAB-om, i služi za optimizaciju različitih vrsta matematičkih problema preko jednostavnog pristupa odgovarajućim automatizovanim rešavačima (*Solver*). Takođe, TOMLAB omogućuje da bude potpuno kontrolisan preko MATLAB-ovog okruženje i komandi. TOMLAB efikasno rešava probleme mešovito-celobrojnog linearnog programiranja, kvadratni problem, primalni dualni i mrežni problem, kao i mnoge druge različite probleme linearnog i nelinearnog programiranja.

5. PROCEDURE ZA GENERISANJE ALTERNATIVA KOD PLANIRANJA I RESTAURACIJE U ELEKTROENERGETICI

Konkretna procedura koja se u ovom radu prezentuje u najvećoj meri zadovoljava nevedene zahteve pri identifikaciji alternativa u procesu odlučivanja. Ona je realizovana korisničkom softverskom aplikacijom u MATLAB-u i standardnog programa za optimizaciju TOMLAB-a.

TOMLAB je namenska aplikacija koja između ostalog koristi i mešovito-celobrojni metod (*Mixed integer method*), koji rešava problem mešovito-celobrojno programiranja. Ovakav metod se koristi za probleme optimizacije kod kojih postoje dve vrste varijabli po svojoj prirodi, a to je slučaj kada su neke od varijabli celobrojne, a neke kontinualne veličine.

Matematička formulacija problema mešovito-celobrojnog programiranja u TOMLAB-u je data kao:

$$\min_x f(x) = c^T x \quad (5.1)$$

$$x_L \leq x \leq x_U \quad (5.2)$$

$$b_L \leq Ax \leq b_U \quad (5.3)$$

$$x_j \in N \quad \forall j \in I$$

gde su: $c, x, x_L, x_U \in R^N$, $A \in R^{m_1 \times n}$ i $b_L, b_U \in R^{m_1}$. Promenljive $x \in I$ sa indeksom od 1...n su definisane kao celobrojne.

U konkretnom slučaju restauracije odnosno planiranja distributivnih mreža (DM), TOMLAB kao izlaz daje na poseban način uskladištene matrice (*structures*), koje predstavljaju osnovne podatke o DM dobijenoj optimizacijom, i ovi podaci predstavljaju moguće alternative (restauracije odnosno planiranja) koje se u narednom koraku procenjuju, a zatim na osnovu nekog od kriterijuma donosilac odluke između njih bira optimalnu alternativu (slika 1.1).

Za potrebe upisa određenih koeficijenata u datoteke koje koristi program TOMLAB, napravljena je nova softverske aplikacija *MatlabDM*, koja je urađena u programskom jeziku MATLAB. Takođe, ista aplikacija iz dobijenih rezultata TOMLAB proračuna kreira izveštaj istih, kao i grafički prikaz optimizacijom dobijene DM.

Cilj pravljenja aplikacije *MatlabDM* je u tome da se definiše dobar korisnički interfejs (*user freindly*) koji omogućuje jednostavan i brz unos podataka, minimizira broj podataka koji se unose i izbegne ponavljanje unosa istih podataka. Značaj ove aplikacije još više dolazi do izražaja s obzirom da konkretni problemi koji se rešavaju imaju velike dimenzije, pa time i zahtev za unosom velikog broja podataka. Tako jedna relativno mala distributivna mreža sa 17 grana i 14 čvorova, zahteva unos podataka koji čini matricu A dimenzija 139x112 (br.vrst=139, br.kolona=112). Ova matrica predstavlja ulaz za program TOMLAB koji rešava problem celobrojno-mešovito programiranja. Odatavde se vidi jasna potreba za jednom automatizovanom procedurom

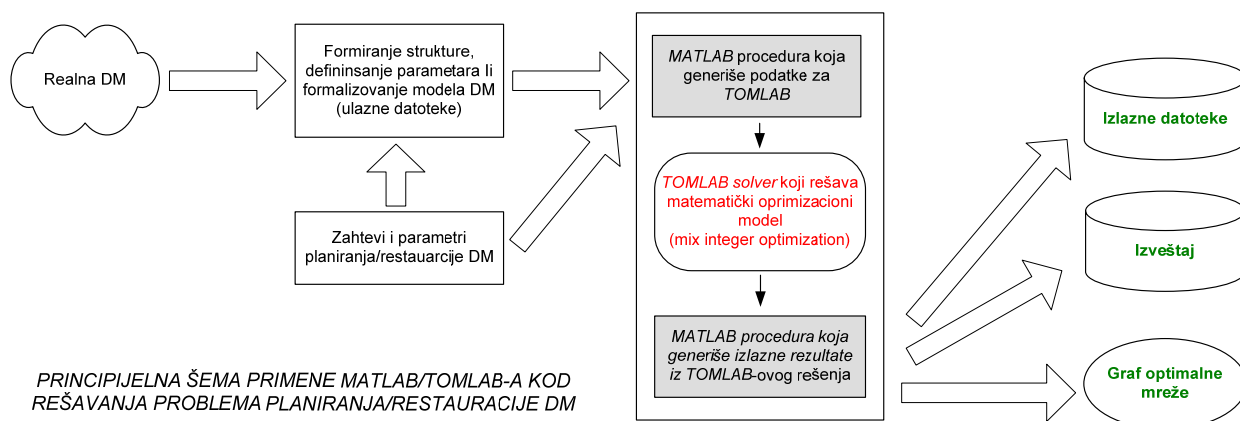
koja treba da rešava problem unosa velikog broja podataka što je realizovano kreiranjem aplikacije *MatlabDM*. Takođe rezultat TOMLAB proračuna je u konkretnom slučaju vektor velikih dimenzija 139x1 koji u sebi sadrži vrednost kriterijumske funkcije, kao i sve ostale parametre optimizacijom dobijene DM (tokovi snage, pojačani i izgrađeni kapaciteti DM i uklopno stanje DM, naponi čvorova itd.). Na osnovu ovih podataka (ovog vektora) ista aplikacija automatski kreira pregledan izveštaj i grafički prikaz optimizacijom dobijene DM.

Sve ove opisane funkcije navedene aplikacije na kvalitetan način rešavaju zahteve postavljene pred dobrom procedurom za identifikaciju alternativu u procesu odlučivanja.

6. PROCEDURA ZA UPIS KOEFICIJENATA U DATOTEKE, REŠAVANJE CELOBROJNO-MEŠOVITOG MODELA I OBRADA IZLAZNIH PODATAKA

U ovom poglavlju je bliže opisana kompletna procedura upisa određenih koeficijenata u datoteke koje koristi program za rešavanje problem celobrojno-mešovito programiranja, kao i obrada dobijenih rezultata u procesu planiranja/restauracije DM.

Na slici je data principijelna šema informacione podrške u procesu planiranja/restauracije DM.



Algoritam za primenu procedure je sledeći:

1. Formiranje strukture distributivne mreže (DM);
2. Definisanje parametara za svaku granu i čvor DM;
3. Definisanje zahteva i parametara planiranja/restauracije DM (cena neipsoručenog opterećenja, cene pojačanja vodova itd.)
4. Formiranje ulaznih datoteke *POTROSNJACENA*, *DELTA* i *MREŽA*;
5. Startovanje programa *MatlabDM* i dobijanje izlaznih datoteka u formi izveštaja (pomoću *Report Generatora*) i grafa optimizacijom dobijene DM.

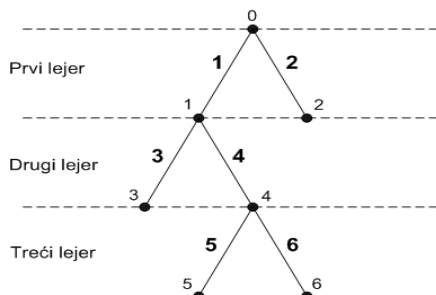
6.1 FORMIRANJE STRUKTURE MREŽE

Numeracija deonica, odnosno čvorova distributivne mreže je osnovni korak pri pravljenju njenog modela.

Neka se razmatra mreža sa jednim izvorom i $(n+1)$ čvorova. Prvi čvor je izvor mreže i još se naziva «koren». On je numerisan sa 0. Preostali čvorovi su numerisani od 1 do n. Svaka deonica je određena sa dva čvora. Prvo se numerišu deonice koje polaze od izvora mreže, počevši sa jedinicom i scrpljujući sve prirodne brojeve do ukupnog broja tih deonica. Čvorovi na drugim krajevima tih deonica numerišu se istim brojem kao i deonice. Skup tih deonica i odgovarajućih čvorova na drugim krajevima, čine prvi lejer mreže.

Ako nisu iscrpljene sve deonice mreže, nastavlja se s numeracijom deonica koje polaze iz čvorova lejera koji je poslednji numerisan, prema istim principima s kojim je vršena dotadašnja numeracija.

Primer ovakve numeracije za mrežu sa sedam čvorova i šest deonica raspoređenih po lejerima je dat na slici:



Slika 6.1. Radijalna mreža numerisana po lejerima

Na slici su čvorovi označeni ciframa malog, a deonice ciframa velikog formata.

6.2 DEFINISANJE PARAMETARA ZA DM I ZAHTEVA ZA PLANIRANJE/RESTAURACIJU

Za svaku granu se na osnovu realne DM, koja je predmet planiranja/restauracije, definišu ulazni parametri i to: dužina grane, aktivni i reaktivni otpor grane, početni i krajnji čvor grane, maksimalni termički kapacitet grane.

Za svaki čvor je potrebno definisati opterećenje čvora, kao i cenu neisporučene električne energije nakon restauracije/planiranja.

Parametri i zahtevi koji se tiču planiranja/restauracije DM su: izbor matematičkog modela koji tretira problem planiranja/restauracije DM, cene pojačanja i izgradnje novih grana, minimalni napon mreže, stepen relaksacije termičkih i naponskih ograničenja itd..

6.3 FORMIRANJE ULAZNIH DATOTEKA

Da bi se program u MATLAB-u mogao startovati neophodno je prethodno formirati sledeće ulazne datoteke (matrice) koje nećemo sve prikazati zbog obima:

- **POTROSNJACENA** – sadrži središnje vrednosti fazi snaga opterećenja svih potrošačkih čvorova, leve i desne širine tih fazi brojeva, kapacitet napojne TS VN/SN , kao i cene neisporučene električne energije nakon restauracije i cene manipulacije rasklopne opreme u mreži.
- **DELTA** – sadrži određene nivoe izvesnosti za termička ograničenja vodova i napojnih transformatora.
- **MREŽA** – sadrži osnovne podatke mreže za koju se radi planiranje razvoja i ova datoteka u odnosu na ostale matrica najveće dimenzije. Njen izgled je dat na slici 6.2.

MREŽA								
N_E	N_F	M_E	M_{EP}	M_F	U_{nom}	U_{kor}	$\cos\varphi$	
1	$CV1_1$	$CV2_1$	TIP_1	T_1	r_1	x_1	l_1	P_1^{max}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
M_{uk}	$CV1_{M_{uk}}$	$CV2_{M_{uk}}$	$TIP_{M_{uk}}$	$T_{M_{uk}}$	$r_{M_{uk}}$	$x_{M_{uk}}$	$l_{M_{uk}}$	$P_{M_{uk}}^{max}$

Slika 6.2. Datoteka MREŽA

gde je:

N_E - ukupan broj čvorova postojeće mreže

N_F - ukupan broj budućih čvorova mreže

M_E - broj grana postojeće mreže

M_{EP} - broj mogućih poveznih grana postojećoj mreži

M_F - broj mogućih novoizgrađenih grana mreže

$M_{uk} = M_E + M_{EP} + M_F$ - ukupan broj grana u mreži

$CV1_i$ - početni čvor grane i , $i \in M_E \cup M_{EP} \cup M_F$

$CV2_i$ - krajnji čvor grane i ($CV2_i < CV1_i$),

TIP_i - tip grane i (postojeća[1], povezna[2], buduća[3]),

T_i - parametar koji ukazuje da li je moguć suprotan tok snage po grani i (ne [1], da [0]),

r_i - redna otpornost voda (grane) [Ω/km],

x_i - redna reaktansa voda (grane) [Ω/km],

P_i^{max} - maksimalna snaga voda (grane)[MVA],

l_i - dužina voda (grane) [km],

U_{nom} - nominalni napon mreže [kV],

U_{kor} - napon korena mreže [kV],

Rezultati korišćenja programa *MatlabDM* su matrica A iz (5.3), vektori: c, x_L, x_U, b_L, b_U iz (5.1), (5.2) i (5.3), koji predstavljaju ulaz za rešavanje mešovito-celobrojnog programiranja u TOMLAB-u, kao i ostali parametri za optimizaciju.

6.4 IZLAZNI REZULTATI U FORMI IZVEŠTAJA I GRAFA DM

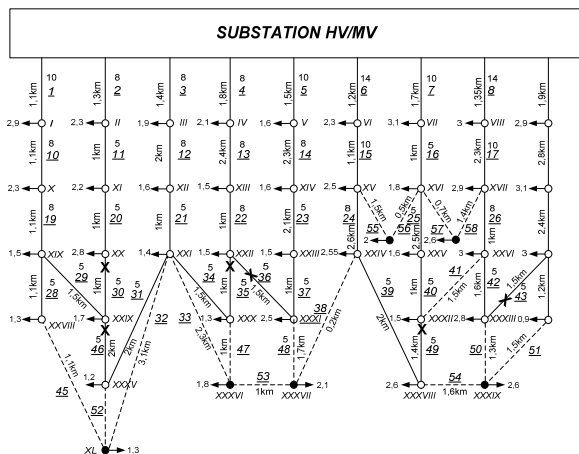
Nakon primene aplikacije *MatlabDM* dobijaju se rezultati u formi izveštaja (koji ovde zbog prostora nije predstavljen) i grafa optimizacijom dobijene DM, čiji se izgled može videti u poglavlju Primer primene. Na osnovu ovakvog izlaza se na jednostavan način može dalje manipulirati dobijenim podacima, u smislu njihove preglednosti, slanja i upoređivanja.

7. PRIMER PRIMENE

Kao primer primene navedene aplikacije uzet je slučaj generisanja (propuštanja) jedne alternative mogućih pojačanja i izgradnje vodova koje se izvodi u sklopu rešavanja problema planiranja distributivne mreže sa 54 grane i 39 čvorova (slika 7.1.) [4]. Konkretni parametri DM za ovaj rad nisu od interesa. Isprekidane deonice su vodovi koji se mogu graditi u toku planiranja (budući

vodovi), dok su ostali vodovi postojeći. Crni čvorovi su opterećenja koja se javljaju u budućnosti.

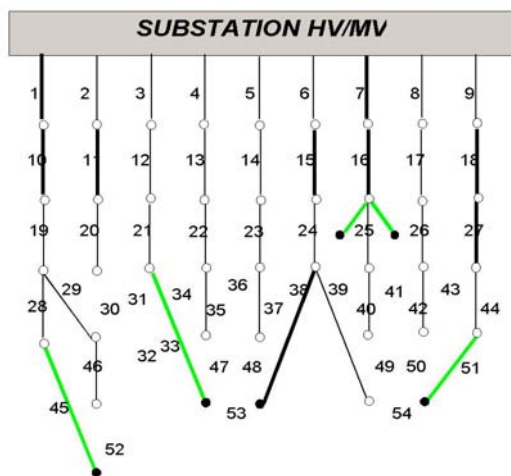
Za ovakvu mrežu najpre je izvršeno formiranje strukture mreže po lejerima, a zatim su kreirane i ulazne datoteke, što zbog obima i ograničenog prostora u ovom radu nije grafički predstavljeno.



Slika 7.1. Test distributivna mreža

Propuštanjem ovih ulaznih datoteka kroz program *MatlabDM* kao izlazne datoteka se dobijaju već opisane matrice ($\dim(A)=316 \times 579$) i vektori ($\dim(c)=1 \times 579$, $\dim(x_L)=\dim(x_U)=579 \times 1$, $\dim(b_L)=\dim(b_U)=316 \times 1$). Ove izlazne datoteke zbog njihove veličine po pitanju sadržaja nisu predstavljene u ovom radu.

Navedene izlazne datoteke sada predstavljaju ulazne datoteke za TOMLAB koji rešava problem celobrojno-mešovito programiranja, a zatim se dobijeni rezultati (vektor mreže dimenzije 579×1 i ostali podaci) predstavljaju u pogodnoj formi izveštaja i grafa dobijene DM koji je predstavljen na slici 7.2. Zelene deonice predstavljaju novo izgrađene vodove, a deonice koje su podebljane, vodove koji su pojačani. Nenacrane postojeće deonice predstavljaju isključene vodove. Kapaciteti pojačanih i novoizgrađenih vodova, naponi čvorova, kao i tokovi snaga su predstavljeni u izveštaju, koji ovde zbog obima nije prikazan.



Slika 7.2. Graf optimizacijom dobijene DM koji generiše aplikacija *MatlabDM*

Na ovakav način se opisanom procedurom generišu moguće alternative planiranja distributivne mreže koje se u narednom koraku procenjuju, što nije tema ovog rada.

8. ZAKLJUČAK

U ovom radu je prezentovana automatizovana procedura u upis određenih koeficijenata u datoteke koje koristi program za rešavanje problem celobrojno-mešovito programiranja, kao i za isčitavanje rezultata u formi pogodnoj za pregled i dalju manipulaciju.

Konkretna aplikacija, koja se u ovom radu prezentuje zajedno sa TOMLAB-om u najvećoj meri zadovoljava zahteve koji se pred nju postavljaju (a naročito 2. i 3.), a to su:

1. *Brzina*: Pretraživanje alternativa mora biti obavljeno brzo.
2. *Minimalni ulaz*: Korisnik unosi malu količinu podataka.
3. *Manipulativnost izlaza*: Korisnik na lak način dolazi do izlaza koji je upotrebljiv za dalje manipulacije.

Ovo je postignuto primenom kreirane MATLAB aplikacije *MatlabDM*, sa instaliranim TOMLAB softverom za optimizaciju, koji se intergrira u MATLAB programski paket.

Na primeru primene procedure pokazano je da se umesto popunjavanja matrica velike dimenzionalnosti (316×579), ulaz jednostavno rešava popunjavanjem 3 ulazne datoteke. Ovo očitoma omogućuje lakšu manipulaciju sa ulaznim podacima. Takođe, izlazni TOMLAB vektor dimezije (579×1), koji opisuje parametre optimizacijom dobijene DM, ovom aplikacijom se na automatizovan način predstavlja u vidu preglednog izveštaja i grafa dobijene DM.

LITERATURA

- [1] D. Popović, Ž. Popović, V. Kerleta "Izbor rizika u procesu restauracije opterećenja u distributivnim mrežama", časopis: Elektroprivreda br.1, 2003.
- [2] H. Lee Willis "Power Distribution Planning Reference Book", Marcel Dekker, Inc. New York, 1997.
- [3] M. E. Čupić, V. M. R. Tummala, "Savremeno odlučivanje: metode i primena", FON, Beograd, 1997.
- [4] Ž. Popović, D. Popović, V. Kerleta: „Risk management based procedure for multi-stage expansion planning of distribution networks under uncertainty“, CIRED, 19th International Conference on Electricity Distribution, Vienna, 21-24 May 2007.