

Davor Sokač, dipl. ing.  
HEP-Operator distribucijskog sustava d.o.o.  
Elektra Čakovec  
[davor.sokac@hep.hr](mailto:davor.sokac@hep.hr)

Anđelko Tunjić, dipl. ing.  
HEP-Operator distribucijskog sustava d.o.o.  
Sektor za investicije i izgradnju  
[andelko.tunjic@hep.hr](mailto:andelko.tunjic@hep.hr)

Krešimir Ugarković, dipl. ing.  
HEP-Operator distribucijskog sustava d.o.o.  
Sektor za investicije i izgradnju  
[kresimir.ugarkovic@hep.hr](mailto:kresimir.ugarkovic@hep.hr)

## PRIMJENA ANALITIČKOG HIJERARHIJSKOG PROCESA U ODREĐIVANJU PRIORITETA INVESTICIJSKIH ULAGANJA UZ POMOĆ PROGRAMSKOG PAKETA EXPERT CHOICE

### SAŽETAK

Vrijednosti investicija tijekom jedne investicijske godine u HEP-Operator distribucijskog sustava d.o.o. nisu male. Uvijek se postavlja pitanje kako i na koji način najbolje optimizirati investicijska ulaganja. Koji su i kakvi učinci investicijskih ulaganja? Na koji način je moguće izmjeriti i kvantificirati sve utjecaje koje pojedina investicija ima ne samo na elektrodistribucijski sustav nego i na okolinu koja nas okružuje?

U referatu se želi pokazati kako se pomoću Analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP) vrednuje učinak ulaganja u rekonstrukcije niskonaponskih mreža uvažavajući istovremeno kriterije; pad napona, broj ispada na niskonaponskoj mreži, prigovore kupaca, itd.

U referatu se prikazuju dostupni programski paketi za primjenu Analitičkog hijerarhijskog procesa, te kako se sama metoda može uz pomoć programskog paketa Expert Choice primjeniti na određivanje liste prioriteta investicijskih ulaganja.

**Ključne riječi:** prioriteti ulaganja, primjena kriterija, mjerjenje učinka investicija, programski paket

## APPLICATION OF THE ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS IN SETTING PRIORITY OF THE INVESTMENT BY SOFTWARE EXPERT CHOICE

### SUMMARY

Worth of the capital and other investment in the HEP-Distribution system operator Ltd. during one year are not so small. One always put a question which way is the best way to optimize that investment. What are the effects of capital investment, how one can measure and quantify all influences which each capital investment has not only on the distribution system but also on environment which encompasses us?

This paper shows how one can synchronously evaluate efficiency of the investment in the distribution system by the Analytic hierarchy process in deference to: voltage drop, number of drop outs on LV network, complaints of customers, etc.

This paper presents which software are available for application of the Analytic hierarchy process and how one can use method by software Expert Choice for determinability priority list of capital or other investments.

**Key words:** priority of the investment, application of criterion, measuring efficiency of the investment, software

## 1. UVOD

### 1.1. Analitički hijerarhijski proces

Pojam višekriterijsko odlučivanje (engl. Multiple Criteria Decision Making – MCDM) odnosi se na donošenje odluka u prisustvu mnogih, u najviše slučajeva, konfliktnih kriterija [1]. Odluke povezane sa situacijama iz svakodnevnog ili poslovнog okruženja poput izbora strategije tvrtke, tehničkog rješenja, mesta, visine i dinamike ulaganja ovise o velikom broju međusobno povezanih i često potpuno konfliktnih kriterija. Problem se javlja kako ispravno procijeniti važnost tih faktora, kako izvesti sustav prioriteta koji može dovesti do dobre odluke o izboru najbolje alternative.

### 1.2. Teorijska koncepcija Analitičkog hijerarhijskog procesa

*Analitički Hijerarhijski Proces* ili kraće AHP pristup utemeljio je 1980 godine Thomas I. Saaty. AHP predstavlja jednu od najpoznatijih metoda stručne analize scenarija i donošenja odluka konzistentnim ocjenjivanjem hijerarhija koje se sastoje od ciljeva, scenarija, kriterija i alternativa.

Prema mnogim mišljenjima AHP je metoda za podršku u odlučivanju. Kako je riječ o korektnom matematičkom modelu koji realiziran kao softver za PC platforme sa punom tehničkom podrškom, u informatičkoj varijanti Expert Choica može se primjenjivati u višekriterijskom odlučivanju [2].

AHP najprije omogućuje interaktivno strukturiranje (oblikovanje hijerarhije) problema kao pripremu scenarija odlučivanja, a zatim ocjenjivanje u parovima elemenata hijerarhije (ciljeva, kriterija i alternativa). Na kraju se vrši analiza svih ocjenjivanja i po strogo utvrđenom matematičkom modelu određuju se težinski faktori svih elemenata hijerarhije.

Vrijednost ove metode je tome što se kroz postupak izvodi zaključak i sintetiziraju informacije od donosioca odluke i drugih sudionika koji posjeduju saznanja o problemu, da bi se identificirao problem i da se usuglase stavovi o njegovoј strukturi.

AHP strukturira problem u razinama, tj. poredaju se odabrani faktori od najvažnijeg cilja na kriterije, podkriterije i alternativе. Razbijanjem problema u nivoе donosilac odluke može se usmjeriti na manje skupove odluka. Psiholоška istraživanja pokazuju da čovjek može istovremeno uspoređivati  $7 \pm 2$  jedinice istovremeno (Millerov zakon, 1956). Zbog toga je bitno u kompleksnim situacijama organizirati hijerarhiju.

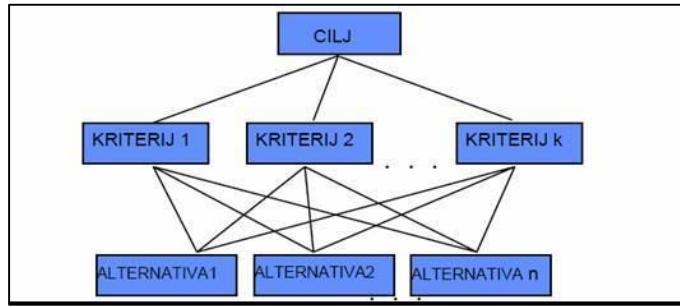
AHP je vrlo fleksibilna metoda jer dozvoljava da kod složenih problema sa mnogo kriterija i dovoljno velikim brojem alternativa (kapitalnih projekata) relativno lako pronađu odnos između kriterija i alternativa, te da se prepozna njihov eksplicitni ili relativni utjecaj i značaj u realnom okruženju i da odredi dominantni utjecaj jednog kriterija na drugi. Ova metoda uzima u obzir činjenicu da se i najsloženiji problemi mogu razgraditi na hijerarhiju i to na način da se u analizu uključe kvantitativni i kvalitativni aspekti problema. AHP povezuje i drži povezane sve dijelove hijerarhije, pa je lako moguće uočiti na koji način promjena jednog kriterija utječe na ostale kriterije i alternativе.

Dakle, AHP je moguće primijeniti u raznim dijelovima strateškog menadžmenta u kojima odluke imaju dalekosežan značaj i gdje donositelji odluka rado biraju kvalitetnog i pouzdanog savjetnika u fazi analize mogućih alternativa i utvrđivanja njihovog utjecaja na postavljene ciljeve.

Hijerarhijski strukturiran model odlučivanja sastoji se od cilja, kriterija, nekoliko mogućih nivoa podkriterija i alternativa (slika 1.). Cilj je uvijek na vrhu i nije ga moguće uspoređivati s niti jednim drugim elementom. U prvom nivou imamo n kriterija koji se u parovima svaki sa svakim uspoređuju u odnosu na prvi nadređeni element na višem nivou, ovdje je to cilj na nultom nivou. Potrebno je  $n^*(n-1)/2$  usporedbi. Ova se procedura primjenjuje kroz hijerarhiju prema dolje.

Primjenu Analitičkog hijerarhijskog procesa možemo promatrati kroz četiri koraka:

1. Razvije se hijerarhijski model problema odlučivanja s ciljem na vrhu, kriterijima i podkriterijima na nižim razinama, te alternativama na dnu modela.
2. U svakom čvoru hijerarhijske strukture pomoću Saatyeve skale u parovima se međusobno uspoređuju elementi tog čvora koji se nalaze neposredno ispod njega i izračunaju se njihove lokalne težine. Pritom se kriteriji međusobno uspoređuju u parovima u odnosu na to koliko puta je jedan od njih važniji za mjerjenje postizanja cilja od drugog. Alternative se međusobno uspoređuju u parovima po svakom od kriterija procjenjujući u kojoj mjeri se po tom kriteriju jednoj od njih daje prednost u odnosu na drugu.
3. Iz procjena relativnih važnosti elemenata odgovarajuće razine hijerarhijske strukture problema izračunaju se lokalne težine kriterija i podkriterija, a na posljednjoj razini prioriteti alternativa. Ukupni prioriteti alternativa izračunaju se tako da se njihovi lokalni prioriteti ponderiraju s težinama svih čvorova kojima pripadaju gledajući od najniže razine u hijerarhijskom modelu prema najvišoj i zatim zbroje.
4. Provodi se analiza osjetljivosti. [3]



Slika 1. Osnovni AHP model s ciljevima, kriterijima i alternativama

### 1.3. Saatyeva skala

U procjeni vrijednosti omjera težina kriterija i važnosti alternativa pomaže nam Saaty-eva skala koja nam pomaže procijeniti omjere važnosti dvaju kriterija kada se njihove vrijednosti izražavaju kvantitativno, kvalitativno i u različitim mernim jedinicama. Saaty-eva skala je omjerna skala koja ima pet stupnjeva intenziteta i četiri međustupnja, a svakom od njih odgovara vrijednosni sud o tome koliko puta je jedan kriterij važniji od drugog.

Tablica I. Saaty-eva skala

Intenzitet važnosti	Definicija	Objašnjenje
1	Jednako važno	Dva kriterija ili alternative jednako doprinose cilju
3	Umjereno važnije	Na temelju iskustva i procjena daje se umjerena prednost jednom kriteriju ili alternativi u odnosu na drugu
5	Strogo važnije	Na temelju iskustva i procjena strogo se favorizira jedan kriterij ili alternativa u odnosu na drugi
7	Vrlo stroga, dokazana važnost	Jedan kriterij ili alternativa izrazito se favorizira u odnosu na drugi; njegova dominacija dokazuje se u praksi
9	Ekstremna važnost	Dokazi na temelju kojih se favorizira jedan kriterij ili alternativa u odnosu na drugi potvrđeni su s najvećom uvjerljivošću
2,4,6,8	Međuvrijednosti	

Ista skala koristi se i kod uspoređivanja dviju alternativa, ali u tom slučaju se vrijednosti sa skale interpretiraju kao prosudbe koliko puta veća prednost (prioritet) se daje jednoj alternativi u odnosu na drugu.

Iz tablice I. se vidi da je vrijednost 9 maksimalna vrijednost koja se može dati omjeru važnosti kriterija. Može se postaviti pitanje imamo li mi u svom sustavu vrijednosti pravi osjećaj za tu i ostale vrijednosti sa Saatyeve skale?

Puno više o metodologiji višekriterijskih odlučivanja, kao i o samoj AHP metodi opisano je u [4].

## 2. RAČUNANJE TEŽINA KRITERIJA (PRIORITYA ALTERNATIVE) NA TEMELJU USPOREĐIVANJA U PAROVIMA PRIBLIŽNIM POSTUPKOM

Matematički koncept Analitičkog hijerarhijskog procesa sa detaljnim obrazloženjem iskazan je u [5]. U nastavku je opisan pojednostavljen postupak određivanja važnosti tri objekta/alternatife na temelju poznate procjene omjera njihovih vrijednosti.

Neka su važnosti tri objekta  $w_1, w_2, w_3$  i vrijedi da je:

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1 \quad (1)$$

a procjene međusobnih omjera važnosti za 3 objekta su  $w_1/w_2=3, w_1/w_3=2, w_2/w_3=1$ .

Tablica II. Usporedba relativnih važnosti (prioriteta) tri objekta

Kriterij	w1	w2	w3
w1	1	3	2
w2	1/3	1	1
w3	1/2	1	1

Tada se može formirati kvadratna matrica A u kojoj su elementi matrice vrijednosti međusobnih omjera važnosti tri objekta.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 \\ 1/3 & 1 & 1 \\ 1/2 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Postupak za približno računanje važnosti  $w_1$ ,  $w_2$ , i  $w_3$  bio bi sljedeći:

1. *Korak:* Odrede se sume stupaca (11/6, 5, 4)
2. *Korak:* Normalizira se matrica A (svaki stupac podijeli se sa sumom elemenata tog stupca)

$$A = \begin{bmatrix} 6/11 & 3/5 & 1/2 \\ 2/11 & 1/5 & 1/4 \\ 3/11 & 1/5 & 1/4 \end{bmatrix} \quad (3)$$

3. *Korak:* Težine se odrede kao prosječne vrijednosti suma elemenata odgovarajućih redova

$$w_1 = (6/11 + 3/5 + 1/2) / 3 = 0,5485 \quad (4)$$

$$w_2 = (2/11 + 1/5 + 1/4) / 3 = 0,2106 \quad (5)$$

$$w_3 = (3/11 + 1/5 + 1/4) / 3 = 0,2409 \quad (6)$$

Teorijsko objašnjenje ovog postupka:

$$Aw=nw \rightarrow \sum_j a_{ij} w_j = n w_i, \quad (7)$$

Iz (1) slijedi da je

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_j a_{ij} w_j. \quad (8)$$

Zbog

$$\sum_i a_{ij} = \frac{w_1 + w_2 + \dots + w_n}{w_j} \quad (9)$$

vrijedi

$$w_j = \frac{1}{\sum_i a_{ij}} \quad (10)$$

pa je

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_i \frac{a_{ij}}{\sum_i a_{ij}}. \quad (11)$$

### 3. RAČUNANJE TEŽINA KRITERIJA NA TEMELJU USPOREĐIVANJA U PAROVIMA ZA REKONSTRUKCIJU NISKONAPONSKE MREŽE

#### 3.1. Određivanje kriterija i njihovih međusobnih omjera

Definiranje kriterija je svakako najvažniji i najteži dio posla kako bi se mogla primjenjivati bilo koja od poznatih metoda za potporu u odlučivanju. Stoga je potrebno unaprijed definirati prihvatljive kriterije na temelju kojih će se odrediti ulazni podaci za odabranu metodu. Sljedeći, nimalo lakši korak je određivanje međusobnih omjera odabranih kriterija.

Primjena metode će se pokazati na problemu određivanja prioriteta rekonstrukcije niskonaponskih mreža. Da bi se mogao utvrditi redoslijed odnosno prioriteti ulaganja nužno je odrediti kriterije, njihove težine te vrijednosti kriterija za sve mreže koje se razmatraju.

Odabrani su sljedeći kriteriji:

- a) naponske prilike (pad napona),
- b) broj ispada (duži od 3 min),
- c) broj kupaca priključenih na niskonaponsku mrežu,
- d) broj prigovora kupaca,
- e) presjek vodiča  $< 50 \text{ mm}^2$  i
- f) dužina strujnog izvoda.

U tablici IV. dana je procjena omjera važnosti navedenih kriterija, na temelju kojih ćemo rangirati niskonaponske mreže. Podaci su dobiveni uvidom u stanje na terenu i potrebnim mjeranjima čije se vrijednosti mogu vidjeti u tablici III.

Tablica III. Podaci o niskonaponskim mrežama

	Najviši i najniži napon (V)	Broj ispada	Broj kupaca	Broj prigovora kupaca	Presjek $< 50 \text{ mm}^2$	Dužina strujnog izvoda (m)
MREŽA NN 1	220	195	13	11	6	25
MREŽA NN 2	245	212	7	63	15	70
MREŽA NN 3	241	220	10	16	2	35
MREŽA NN 4	239	230	4	5	1	35
MREŽA NN 5	245	232	1	40	0	35
MREŽA NN 6	222	205	2	24	3	35
						1165

Tablica IV. Omjeri važnosti kriterija

	Pad napona	Broj ispada	Broj kupaca	Broj prigovora kupaca	Presjek $< 50 \text{ mm}^2$	Dužina strujnog izvoda
Pad napona	1	3	2	3	1	1
Broj ispada	1/3	1	3	2	2	1
Broj kupaca	1/2	1/3	1	3	2	2
Prigovori Kupac	1/3	1/2	1/3	1	1/3	1/3
Presjek $< 50 \text{ mm}^2$	1	1/2	1/2	3	1	1/2
Dužina strujnog izvoda	1	1	1/2	3	2	1

Ukoliko primijenimo prije objašnjeni postupak za približno računanje težina kriterija kao rezultat ćemo dobiti slijedeće vrijednosti težina kriterija

Tablica V. Vrijednosti težina kriterija

KRITERIJ	TEŽINA
Pad napona	0,25
Broj ispada	0,20
Broj kupaca	0,18
Prigovori Kupac	0,06
Presjek $< 50 \text{ mm}^2$	0,13
Dužina strujnog izvoda	0,18

Nakon dobivanja ocjene mora se istražiti je li matrica omjera težine kriterija konzistentna. Matrica je u potpunosti konzistentna ako je ispunjen uvjet da je procjena omjera kriterija A i C jednaka  $A/B * B/C$ .

Sljedeći korak je da se po svakom od kriterija uspoređivanjem u parovima procijene omjeri prioriteta odabranih niskonaponskih mreža, te da se izračunaju ti prioriteti po svakoj od navedenih niskonaponskih mreža.

Tablica VI. Prioriteti po kriteriju „Pad napona“

	MR NN 1	MR NN 2	MR NN 3	MR NN 4	MR NN 5	MR NN 6	Prioriteti
MR NN 1	1,0	3,0	4,0	5,0	5,0	2,0	<b>0,36</b>
MR NN 2	0,3	1,0	3,0	5,0	5,0	0,3	<b>0,18</b>
MR NN 3	0,3	0,3	1,0	2,0	2,0	0,3	<b>0,08</b>
MR NN 4	0,2	0,2	0,5	1,0	1,0	0,2	<b>0,05</b>
MR NN 5	0,2	0,2	0,5	1,0	1,0	0,2	<b>0,05</b>
MR NN 6	0,5	3,0	4,0	5,0	5,0	1,0	<b>0,28</b>

Tablica VII. Prioriteti po kriteriju „Broj ispada“

	MR NN 1	MR NN 2	MR NN 3	MR NN 4	MR NN 5	MR NN 6	Prioriteti
MR NN 1	1,0	3,0	2,0	4,0	5,0	5,0	<b>0,37</b>
MR NN 2	0,3	1,0	0,5	3,0	5,0	5,0	<b>0,19</b>
MR NN 3	0,5	0,5	1,0	4,0	5,0	5,0	<b>0,22</b>
MR NN 4	0,3	0,3	0,3	1,0	4,0	4,0	<b>0,11</b>
MR NN 5	0,2	0,2	0,2	0,3	1,0	2,0	<b>0,05</b>
MR NN 6	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	1,0	<b>0,04</b>

Tablica VIII. Prioriteti po kriteriju „Broj kupaca“

	MR NN 1	MR NN 2	MR NN 3	MR NN 4	MR NN 5	MR NN 6	Prioriteti
MR NN 1	1,0	0,2	1,0	2,0	0,3	0,5	<b>0,11</b>
MR NN 2	5,0	1,0	4,0	5,0	2,0	3,0	<b>0,11</b>
MR NN 3	1,0	0,3	1,0	3,0	0,3	0,5	<b>0,04</b>
MR NN 4	0,5	0,2	0,3	1,0	0,2	0,5	<b>0,39</b>
MR NN 5	4,0	0,5	4,0	5,0	1,0	3,0	<b>0,17</b>
MR NN 6	2,0	0,3	2,0	2,0	0,3	1,0	<b>0,17</b>

Tablica IX. Prioriteti po kriteriju „Broj prigovora kupaca“

	MR NN 1	MR NN 2	MR NN 3	MR NN 4	MR NN 5	MR NN 6	Prioriteti
MR NN 1	1,0	0,3	4,0	4,0	5,0	3,0	<b>0,08</b>
MR NN 2	3,0	1,0	4,0	5,0	5,0	4,0	<b>0,37</b>
MR NN 3	0,3	0,3	1,0	2,0	2,0	1,0	<b>0,09</b>
MR NN 4	0,3	0,2	0,5	1,0	1,0	0,5	<b>0,05</b>
MR NN 5	0,2	0,2	0,5	1,0	1,0	0,3	<b>0,28</b>
MR NN 6	0,3	0,3	1,0	2,0	3,0	1,0	<b>0,13</b>

Tablica X. Prioriteti po kriteriju „Presjek < 50 mm<sup>2</sup>“

	MR NN 1	MR NN 2	MR NN 3	MR NN 4	MR NN 5	MR NN 6	Prioriteti
MR NN 1	1,0	5,0	2,0	2,0	2,0	2,0	<b>0,30</b>
MR NN 2	0,2	1,0	0,2	0,2	0,2	0,2	<b>0,04</b>
MR NN 3	0,5	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	<b>0,17</b>
MR NN 4	0,5	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	<b>0,17</b>
MR NN 5	0,5	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	<b>0,17</b>
MR NN 6	0,5	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	<b>0,17</b>

Tablica XI. Prioriteti po kriteriju „Dužina strujnog izvoda“

	MR NN 1	MR NN 2	MR NN 3	MR NN 4	MR NN 5	MR NN 6	Prioriteti
MR NN 1	1,0	1,0	4,0	0,3	0,5	0,5	<b>0,26</b>
MR NN 2	1,0	1,0	4,0	0,3	0,5	0,5	<b>0,41</b>
MR NN 3	0,3	0,3	1,0	0,2	0,3	0,3	<b>0,10</b>
MR NN 4	4,0	3,0	5,0	1,0	3,0	3,0	<b>0,06</b>
MR NN 5	2,0	2,0	4,0	0,3	1,0	1,0	<b>0,06</b>
MR NN 6	2,0	2,0	4,0	0,3	1,0	1,0	<b>0,11</b>

U tablici XII. dat je pregled prioriteta svih mreža, težina kriterija te ukupni prioriteti za rekonstrukciju niskonaponskih mreža iz koje je moguće vidjeti realan popis ili listu prioriteta za izvođenja samih radova na rekonstrukciji niskonaponskih mreža.

Tablica XII. Lokalni i ukupni prioriteti alternativa niskonaponskih mreža

	Pad napona	Broj ispada	Broj kupaca	Broj prigovora kupaca	Presjek < 50mm <sup>2</sup>	Dužina strujnog izvoda	UKUPNI PRIORITET
	0,25	0,20	0,18	0,06	0,13	0,18	
MR NN 1	0,36	0,37	0,11	0,08	0,30	0,26	<b>0,27</b>
MR NN 2	0,18	0,19	0,11	0,37	0,04	0,41	<b>0,20</b>
MR NN 3	0,08	0,22	0,04	0,09	0,17	0,10	<b>0,12</b>
MR NN 4	0,05	0,11	0,39	0,05	0,17	0,06	<b>0,14</b>
MR NN 5	0,05	0,05	0,17	0,28	0,17	0,06	<b>0,10</b>
MR NN 6	0,28	0,04	0,17	0,13	0,17	0,11	<b>0,17</b>

U promatranom primjeru ulazni podaci za model pomoću kojeg smo izračunali prioritete bili su procjene relativnih važnosti kriterija i procjene omjera lokalnih prioriteta niskonaponskih mreža. Može se pretpostaviti da te procjene mogu varirati u nekim rasponima, a da te promjene još uvijek budu u skladu s preferencijama donositelja odluke. *Analiza osjetljivosti* provodi se s ciljem da se vidi u kojoj mjeri se promjene ulaznih podataka odražavaju na ukupne prioritete alternativa.

Da bi se došlo do zaključka da li je rang lista niskonaponskih mreža dovoljno stabilna u odnosu na prihvatljive promjene ulaznih podataka trebalo bi izračunati prioritete odredišta za brojne različite kombinacije ulaznih podataka.

### 3.2. Određivanje vrijednosti kriterija u slučaju većeg broja alternativa

Određivanje vrijednosti pojedinih kriterija za veći broj jedinica promatranja, npr. za rekonstrukcije 20 niskonaponskih mreža nemoguće je učinkovito provesti njihovom međusobnom usporedbom po pojedinom kriteriju.

Već u slučaju da se kriteriji moraju odrediti za više od 7 jedinica promatranja ne uspoređuju se jedinice međusobno s obzirom na odabrane kriterije, nego se za kriterije odrede razredi vrijednosti i težine pojedinog razreda. Nakon toga se jedinice promatranja razvrstavaju sukladno definiranim razredima i samim tim im se pridjeljuju vrijednosti po pojedinom kriteriju.

Pretpostavimo da je potrebno odrediti vrijednosti kriterija pada napona za 20 rekonstrukcija niskonaponskih mreža, tada se ne bi uspoređivalo 20 mreža međusobno radi definiranja vrijednosti ovoga kriterija za pojedinu mrežu, nego bi se postupilo na sljedeći način:

1. Korak      Analiza mogućeg raspona vrijednosti kriterija pada napona:  
Smisla ima razmatrati slučajevе pada napona od 0% do 20% (dva puta više od dozvoljene vrijednosti).
  2. Korak      Analiza distribucije vrijednosti pada napona za konkretnе mreže  
Neka se analizom vrijednosti pada napona utvrdi sljedeća raspodjela:  
  

7 mreža ima pad napona u rasponu	< 0%,10%>,
10 mreža ima pad napona u rasponu	<11%,15%>,
3 mreža ima pad napona u rasponu	<16%,20%>,
  3. Korak      Definiranje broja i raspona vrijednosti za pojedini razred  
Kod definiranja broja i raspona razreda pravila su sljedeća:  
  

Broj razreda:	Broj razreda ne bi trebao biti veći od 7.
Raspon razreda :	Raspon razreda treba biti uži za područje u koje pada veliki broj jedinica promatranja.
- U našem slučaju razrede bi bilo dobro formirati na sljedeći način:
1. razred      < 0%, 8%>
  2. razred      < 8%,10%>
  3. razred      <11%,12%>
  4. razred      <13%,15%>
  5. razred      <16%,20%>
4. Korak      Međusobnom usporedbom se utvrde procjene omjera vrijednosti razreda.  
Postavljanjem pitanja koliko je važnije (ili manje važno) rekonstruirati mrežu u slučaju da je njezin pad napona u razredu 1 od slučaja da je u razredu 2 odrede se elementi matrice A.
  5. Korak      Prije obrazloženom metodom se odrede vrijednosti težina pojedinih razreda.

## 4. PRIMJENA PROGRAMA EXPERT CHOICE

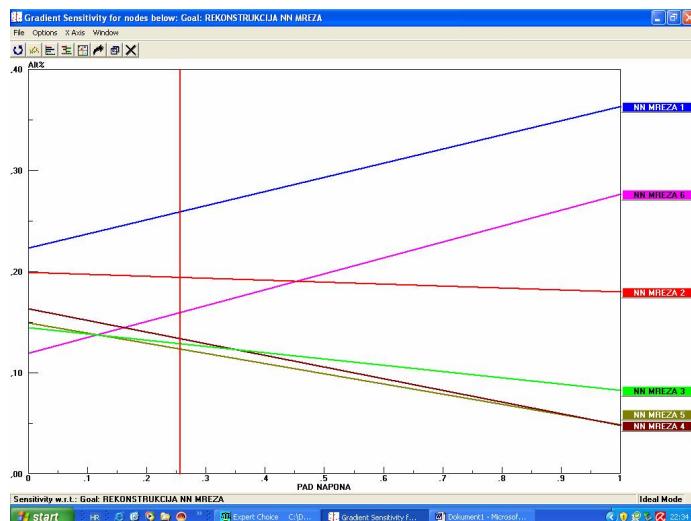
### 4.1. Općenito o EXPERT CHOICE

Jedan od alata za podršku upravljanju poslovanjem je programski paket - Expert Choice za podršku odlučivanju [6] i [7]. Riječ je o skupnom programskom paketu za podršku odlučivanju, koji se zasniva na prije spomenutom Analitičkom hijerarhijskom procesu. Expert Choice omogućuje korisnicima da pokažu znanja i kolektivnu inteligenciju timova koji sudjeluju u postupku donošenja odluka.

Program omogućuje strukturiranje hijerarhijskog modela problema odlučivanja na više načina, te uspoređivanje u parovima također na nekoliko načina. Posebnu vrijednost programu daju različite mogućnosti provođenja analize osjetljivosti koje se temelje na vizualizaciji posljedica promjena ulaznih podataka. Program omogućava kreiranje različitih izvješća. Korištenje programa je jednostavno i dobro objašnjeno u programskoj dokumentaciji pa se ovdje neće detaljnije komentirati načini na koje se može razviti model i različite mogućnosti unosa podataka. Prikazat ćemo samo dio mogućnosti ovog programa u provođenju analize osjetljivosti.

### 4.2. Opcija Gradijent

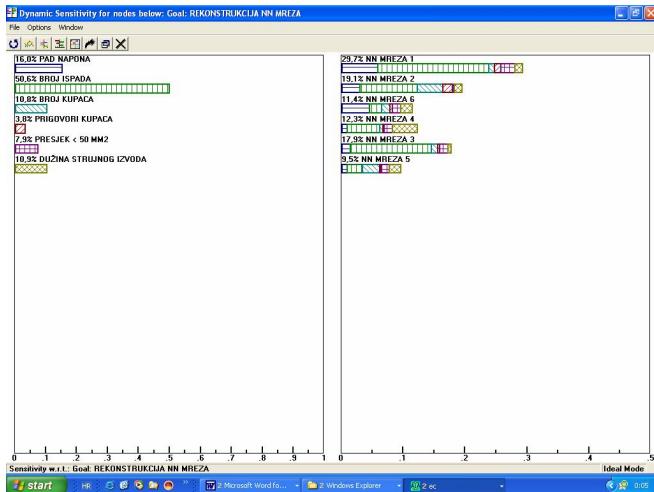
Uz pomoć ove opcije program omogućuje da se vidi koliko su prioriteti alternativa osjetljivi na promjene težina pojedinih kriterija. Na slici 2 se vidi da prioriteti NN MREŽE 1 i NN MREŽE 6 rastu s porastom težine kriterija «PAD NAPONA», prioritet NN MREŽE 2 skoro se ne mijenja, dok prioriteti NN MREŽE 3, NN MREŽE 4 i NN MREŽE 5 opadaju s porastom težine tog kriterija. Također se može očitati da, ukoliko se težina kriterija PAD NAPONA poveća s izračunate vrijednosti 0,25 (prikazane vertikalnom linijom) na otprilike 0,55 , NN MREŽA 6 dobiva prednost u odnosu na NN MREŽU 2. Primjenom naredbe za promjenu u X-osi, odnosno kriterija dobivaju se odgovori na pitanje osjetljivosti redoslijeda alternativa u odnosu na težine ostalih kriterija.



Slika 2. Analiza osjetljivosti pomoću programa Expert Choice – opcija Gradijent za kriterij «Pad napona»

### 4.3. Opcija Dynamic

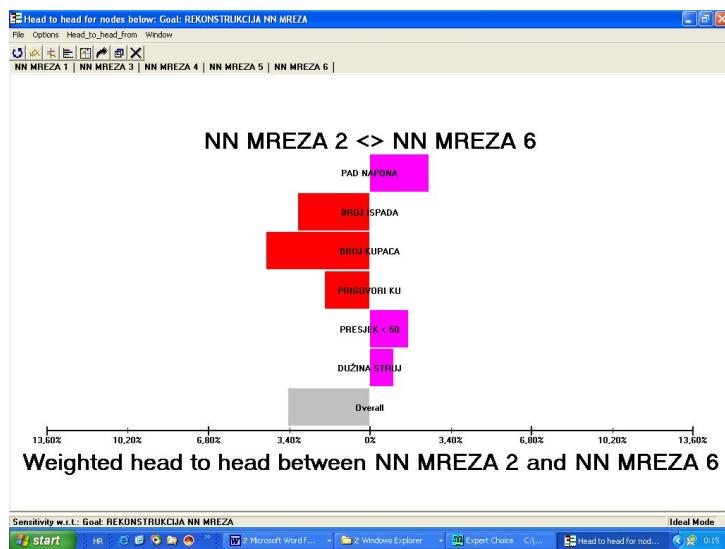
U ovoj opciji moguće je vidjeti kako se dinamički mijenjaju prioriteti alternativa ukoliko se jednostavnim povlačenjem miša mijenjaju težine pojedinih kriterija. Ovaj ekran ima i opciju *Components* u kojoj je moguće vidjeti udjele težina pojedinih kriterija u ukupnom prioritetu alternativa. Pomoću ove opcije dobivaju se odgovori na pitanja poput: « Kolika bi trebala biti težina kriterija „Pad napona“ da bi NN MREŽA 6 dobila prednost pred NN MREŽOM 2? »



Slika 3: Analiza osjetljivosti pomoću programa Expert Choice – opcija Dynamic

#### 4.4. Opcija Differences

Na slici se vidi po kojim kriterijima NN MREŽA 2 ima prednost pred NN MREŽOM 6 i obratno, te ukupna prednost prvog odredišta. Kriterijima po kojima ima prednost NN MREŽA 2 pridruženi su pravokutnici odgovarajućih površina usmjereni ulijevo (drugi, treći i četvrti pravokutnik odozgo), a pravokutnici pridruženi kriterijima po kojima ima prednost NN MREŽA 6 orientirani su udesno (prvi, peti i šesti pravokutnik odozgo). Ukupna prednost NN MREŽE 2 nad NN MREŽOM 6 prikazana je pravokutnikom na najnižoj razini koji je orientiran ulijevo. Jednostavnim odabirom naredbe moguće je vizualizirati odnose razmatranih alternativa u svim parovima.



Slika 3: Analiza osjetljivosti pomoću programa Expert Choice – opcija Differences

## 5. ZAKLJUČAK

U slučaju potrebe ulaganja u veliki broj projekata uz ograničena raspoloživa sredstva nužno je utvrditi kriterije i redoslijed ulaganja. Utvrđivanje prioriteta ulaganja u rekonstrukcije niskonaponskih mreža tipičan je primjer problema optimiranja portfelja ulaganja.

U radu je prikazana primjena Analitičkog hijerarhijskog procesa u definiranju modela za određivanje prioriteta ulaganja u rekonstrukcije niskonaponskih mreža.

Postupak se zasniva na troslojnem konceptu:

5. utvrđivanje globalnog cilja,
6. utvrđivanje kriterija,
7. vrednovanje pojedinih jedinica promatranja po definiranim kriterijima.

Najveća vrijednost Analitičkog hijerarhijskog procesa u definiranju modela za donošenje odluka je u:

- A) uključenosti većeg broja stručnjaka u definiranje modela,
- B) razvidnosti postupka određivanja kriterija,
- C) mogućnosti daljnog razvoja modela.

Za širu primjenu ove metode u određivanju portfelja ulaganja HEP-Operatora distribucijskog sustava d.o.o. nužno je odrediti:

- A) tipične kategorije investicijskih ulaganja,
- B) definirati prihvatljive kriterije i njihove međusobne utjecaje,
- C) postupak određivanja i kontroliranja ulaznih podataka na temelju kojih se računaju vrijednosti kriterija.

## LITERATURA

- [1] N.Tomić-Plazibat, "Višekriterijalna analiza u investicijskom odlučivanju", Ekonomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, doktorska disertacija, 1994.
- [2] T. L. Saaty, "Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process", RWS Publications, 4922 Ellsworth Ave., Pittsburgh, PA 15213.
- [3] T. Hunjak, "Kvantitativne metode u odlučivanju – sinopsis predavanja", FOI, Varaždin, 2006.
- [4] D. Sokač, K. Ugarković, A. Tunjić, "Uspostava sustava za odabir vrste i mesta kapitalnih investicijskih ulaganja u distribucijskom EES-u", HRO Cigre, 8. savjetovanje HRO Cigre, Cavtat, 4. – 8. studenog 2007. godine, C1\_R18220.
- [5] T. Hunjak, "Računanje težina kriterija (prioriteta alternative) na temelju uspoređivanja u parovima približnim postupkom – sinopsis predavanja", FOI, Varaždin, 2006.
- [6] <http://www.oracomputer.com>
- [7] <http://www.expertchoice.com>