

ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U OSIJEKU

Teorija odlučivanja
Seminarska radnja 1/2 na
postdiplomskom doktorskom studiju

PRIMJENA AHP METODE PRI ODABIRU VIRTEX-5 FPGA ČIPA

Ivan Aleksi, dipl.ing.el., asistent

Osijek, listopad 2009.g.

SADRŽAJ

SADRŽAJ	1
1. UVOD	2
2. AHP METODA	3
2.1. Matematička pozadina AHP metode	3
2.2. Konzistentnost	5
2.3. IMPLEMENTACIJA AHP METODE	6
3. Program Expert Chioce 11	7
3.1. Dinamički prikaz	12
3.2. Prikaz svojstava alternativa	13
3.3. Gradientni prikaz	14
3.4. Usporedni prikaz	15
4. ZAKLJUČAK	16
LITERATURA	17
A. PRILOG: Virtex-5 FPGA uređaji.	18

1. UVOD

U ovom radu je predstavljena izrada modela za višekriterijsko odlučivanje. Višekriterijska analiza urađena je s pomoću AHP metode. AHP je sistematična metoda za usporedbu ciljeva ili alternativa. Kada se koristi u inženjerstvu, AHP metoda može biti moćan alat za usporedbu alternativnih koncepata dizajna. Pri tome je korišten programski paket Expert Choice 11 (EC11) [8]. Namjena ovog modela je odabir VIRTEX-5 Field Programmable Gate Array (FPGA) čipa tvrtke Xilinx.

U praksi se odabir FPGA čipa prepušta osobnoj procjeni inženjera elektrotehnike koji razvija jedan digitalni sustav. S težnjom da se zadovolje osnovni zahtjevi na sustav u koji se ugrađuje FPGA uređaj, uzima se onaj uređaj koji je cjenovno prihvatljiv. Kriteriji kao što su cijena, frekvencija, te broj osnovnih logičkih ćelija značajnije utječu na prioritete alternativa. Za učestalije kupovanje FPGA uređaja, prihvatljivo je koristiti neki od alata, za odabir na temelju višekriterijske analize AHP metodom, kao što je EC11.

2. AHP METODA

Analytical Hierarchy Process (AHP) spada u najpoznatije i posljednjih godina najviše korištene metode za višekriterijsko odlučivanje [1], [5], [6], [7]. U osnovi, radi se o hijerarhijskoj strukturi prema kojoj je u samom vrhu cilj, na prvoj razini ispod su kriteriji, na slijedećoj razini podkriteriji, itd. Na donjoj razini hirarhijske strukture nalaze se alternative. Metoda AHP koristi tablični zapis podataka za uspoređivanje i rangiranje alternativa, pri odlučivanju koja je od alternativa u prednosti u odnosu na ostale. AHP metoda uspoređuje prednosti i nedostatke pojedinih alternativa i kao konačni daje prioritete alternativa u obliku jednog broja. Kriteriji za odabir određene alternative mogu imati različite važnosti zbog čega im se dodjeljuju težine. AHP metoda temelji se na uspoređivanju alternativa u parovima. Težine pojedinih kriterija određuju se uspoređivanjem kriterija u parovima te određivanjem koliko je prvi kriterij važniji od drugog kriterija. AHP metoda je izgrađena na dobroj i jednostavnoj teoretskoj osnovi.

2.1. Matematička pozadina AHP metode

AHP metoda se sastoji od četiri osnovna koraka.

Napravi se hijerarhija modela problema odlučivanja s ciljem na vrhu, kriterijima i podkriterijima na nižim razinama, te alternativama na dnu modela.

Na svakoj razini hijerarhijske strukture u parovima se međusobno uspoređuju elementi te strukture, pri čemu se preferencije donositelja odluke izražavaju uz pomoć odgovarajuće Saaty-eve skale relativne važnosti.

Iz procjena relativnih važnosti elemenata odgovarajuće razine hijerarhijske strukture problema pomoću odgovarajućeg matematičkog modela izračunaju se lokalni prioriteti (težine) kriterija, podkriterija i alternativa, koji se zatim sintetiziraju u ukupne prioritete alternativa.

Provodi se analiza osjetljivosti.

Neka je n broj kriterija (ili alternativa) čije težine (prioritete) w_i treba odrediti na temelju procjene vrijednosti njihovih omjera koji se označavaju s $a_{ij} = w_i/w_j$. Od omjera relativnih važnosti a_{ij} formira se matrica A relativnih važnosti.

$$A = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Matrica A za slučaj konzistentnih procjena za koje vrijedi $a_{ij} = a_{ik}a_{kj}$ zadovoljava jednadžbu $Aw = \lambda w$.

Problem rješavanja težina može se riješiti kao problem rješavanja jednadžbe

$$Aw = \lambda w, \quad \lambda \neq 0.$$

Matrica A ima slijedeća svojstva, zbog kojih je samo jedna njezina svojstvena vrijednost jednaka n i različita od 0.

Pozitivnost sadrži elemente a_{ij} pozitivne.

Recipročnost sadrži elemente koji zadovoljavaju jednačbu $a_{ij} = 1/a_{ji}$.

$r(A) = 1$ Rang matrice je jednak 1.

Budući da je suma svojstvenih vrijednosti pozitivne matrice jednaka tragu te matrice, ili sumi dijagonalnih elemenata, ne nulta svojstvena vrijednost ima vrijednost n .

$$\lambda_{max} = n.$$

Ukoliko matrica A sadrži nekonzistentne procjene (u praktičnim primjerima gotovo uvijek je tako), vektor težina w može se dobiti rješavanjem slijedećeg sustava jednažbi.

$$(A - \lambda_{max} I)w = 0, \quad \sum_i w_i = 1.$$

gdje je λ_{max} najveća svojstvena vrijednost matrice A .

Uzevši u obzir gore navedene jednažbe slijedi

$$\begin{aligned} A w &= n w \\ \sum_j a_{ij} w_j &= n w \\ w &= \frac{1}{n} \sum_j a_{ij} w_j \end{aligned}$$

Vrijedi da je

$$\begin{aligned} \sum_i a_{ij} &= \frac{w_1 + w_2 + \dots + w_n}{w_j}, \\ w_j &= \frac{w_1 + w_2 + \dots + w_n}{\sum_i a_{ij}}, \end{aligned}$$

odakle slijedi da je težina pojedine alternative w_i

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_j \frac{a_{ij}}{\sum_i a_{ij}}.$$

Sinteza prioriteta vrši se na način da se lokalni prioriteti alternativa ponderiraju s težinama svih čvorova kojima pripadaju od najniže razine hijerarhijske strukture prema vrhu, a zatim se ti globalni prioriteti za najvišu razinu zbroje te se konstruira ukupni prioritet za pojedinu alternativu.

2.2. Konzistentnost

AHP metoda može identificirati i analizirati nekonzistentnost donositelja odluke u procesu uspoređivanja elemenata hijerarhije [7]. Zbog svojstava matrice A vrijedi $\lambda_{max} \geq n$. Razlika $\lambda_{max} - n$ se koristi u mjerenju konzistencije procjena. Što je λ_{max} bliža n , prosudba je konzistentnija.

Nekonzistentnost procjena moguće je najjednostavnije objasniti pomoću primjera. Pretpostavimo da imamo tri kamena A, B i C za koje znamo da ukupno mogu težiti 22kg, a pri tome nam nisu poznate njihove pojedinačne težine. Mi znamo njihove omjere težina A:B=2:1 (prvi kamen je dvostruko teži od drugog) i A:C=3:1 (prvi kamen trostruko je teži od trećeg). Iz ovoga proizlazi diobeni omjer težina 6:3:2 iz kojeg lako izračunamo da su tražene težine kamenja redom 12, 6 i 4 kg. Umjesto kamenja možemo zamisliti da uspoređujemo međusobno kriterije te im izračunavamo težine kao mjeru njihove važnosti. Isto tako možemo uspoređivati alternative po prioritetima da bi odredili prioritet svake od njih. Problemi nastaju zbog toga što naše procjene obično nisu konzistentne. U primjeru s kamenjem na temelju poznatih omjera težina proizlazi da je omjer težina drugog i trećeg kamena B:C=3:2. U tom slučaju kaže se da su omjeri A:B, A:C i B:C konzistentni. Međutim, kad bi tražili od nekoga da uzme te kamene u ruke i da procijeni omjere njihovih težina, malo je vjerojatno da bi te procjene bile konzistentne. U tom slučaju kod računanja težina kamenja ne bi mogli primijeniti pravila iz računa diobe. Pretpostavimo npr. da smo dobili procijenjenu vrijednost omjera B:C=4:3. Taj omjer zajedno s omjerom A:B=2:1 daje diobeni omjer 8:4:3). Ako bi pak omjeru B:C=4:3 pridružili procijenjeni omjer A:C=3:1 dobili bi diobeni omjer 9:4:3, dakle različit od 8:4:3. Dakle, ukoliko se od donositelja odluke traže procjene težina kriterija ili prioriteta alternativa u parovima u realnim problemima odlučivanja, te procjene će biti najčešće nekonzistentne.

AHP metoda omogućuje praćenje konzistentnosti procjena u svakom trenutku postupka uspoređivanja u parovima. Uz pomoć indeksa konzistencije $CI = (\lambda_{max} - n)/(n - 1)$ izračunava se omjer konzistencije $CR = CI/RI$, gdje je RI slučajni indeks (indeks konzistencije za matrice reda n slučajno generiranih usporedbi u parovima - koristi se tablica s izračunatim vrijednostima):

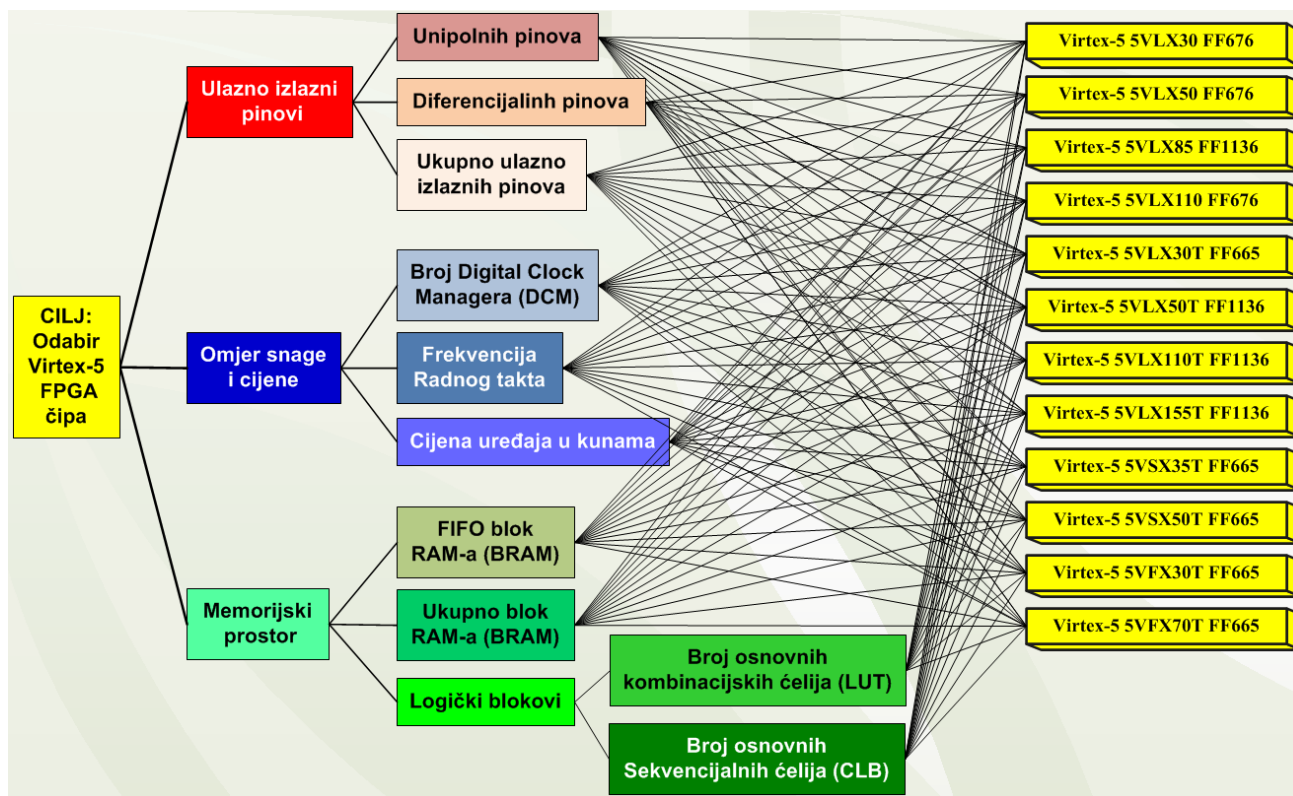
Tabela 1. Vrijednosti RI slučajnih indeksa (Saaty, 1980).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,4	1,45	1,49

Ako za matricu A vrijedi $CR \leq 0,10$, procjene relativnih važnosti kriterija (prioriteta alternativa) smatraju se prihvatljivima. U suprotnom treba istražiti razloge zbog kojih je nekonzistentnost procjena neprihvatljivo visoka.

2.3. IMPLEMENTACIJA AHP METODE

Za primjer implementacije AHP metode odabran je cilj kupovine čipa tvrtke Xilinx iz Virtex-5 FPGA porodice uređaja [2], [4]. Kako bi se tvrtka lakše opredijelila za određeni Virtex-5 FPGA čip primijenjen je višekriterijski način odabira. Parametri iz tabele 2 predstavljaju kriterije prema kojima se određuju konačne alternative cilja [3], [A]. Slika 1 prikazuje dijagram tijeka odabira određene alternative AHP metodom.



Slika 1. AHP model sa kriterijima i alternativama za odabir Virtex-5 FPGA makete.

Tabela 2. Baza podataka Virtex5 FPGA uređaja.

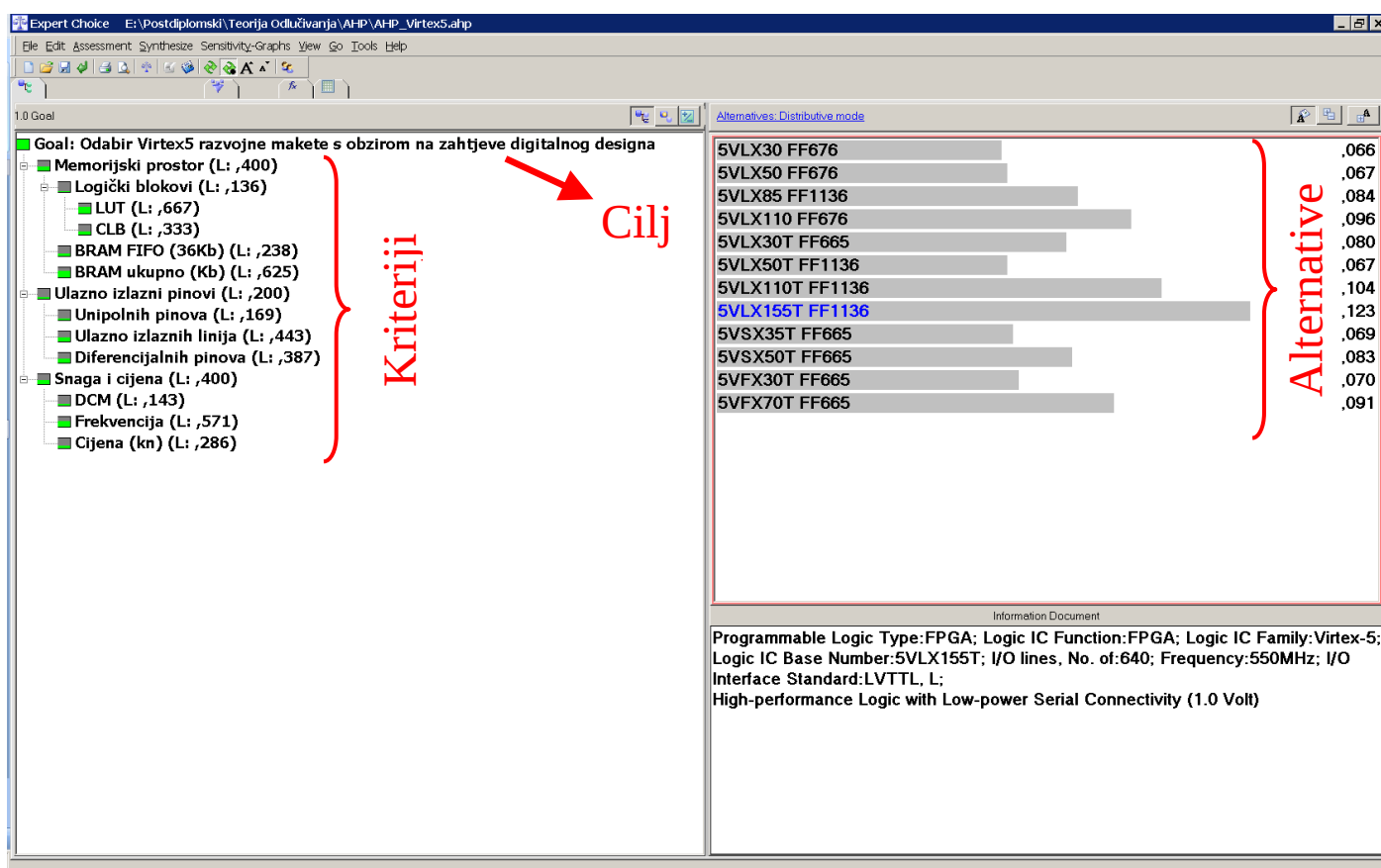
r.b. Alternative	Ulazno izlaznih linija	Unipolnih pinova	Diferencijalnih I/O parova	Logičkih ćelija (6-ulazni LUT)	Konf. logičkih flip-flop blokova (CLB Flip-Flop)	Digital Clock Managers (DCM)	Blokovski RAM/FIFO (36 Kbit)	Ukupno blokovskog RAM-a (Kbit)	Frekvencija radnog takta	Cijena [kn]
1. Virtex-5 5VLX30 FF676	400	400	200	30.720	19.200	4	32	1.152	550	1.645,05
2. Virtex-5 5VLX50 FF676	440	560	280	46.080	28.800	12	48	1.728	550	2.823,75
3. Virtex-5 5VLX85 FF1136	480	560	280	82.944	51.840	12	96	3.456	550	6.023,05
4. Virtex-5 5VLX110 FF676	440	800	400	110.592	69.120	12	128	4.608	550	8.393,45
5. Virtex-5 5VLX30T FF665	360	360	180	30.720	19.200	4	36	1.296	1.098	2.180,30
6. Virtex-5 5VLX50T FF1136	480	480	240	46.080	28.800	12	60	2.160	550	5.440,15
7. Virtex-5 5VLX110T FF1136	640	680	340	110.592	69.120	12	148	5.328	550	11.126,35
8. Virtex-5 5VLX155T FF1136	640	680	340	155.648	97.280	12	212	7.632	550	16.281,60
9. Virtex-5 5VSX35T FF665	360	360	180	34.816	21.760	4	84	3.024	550	2.862,65
10. Virtex-5 5VSX50T FF665	360	480	240	52.224	32.640	12	132	4.752	550	5.440,15
11. Virtex-5 5VFX30T FF665	360	360	180	32.768	20.480	4	68	2.448	550	2.810,70
12. Virtex-5 5VFX70T FF665	360	640	320	71.680	44.800	12	148	5.328	550	6.308,00

3. Program Expert Chioce 11

Efikasni alat za rješavanje problema višekriterijskog odlučivanja jest Expert Choice 11 (EC11) [8]. To je alat sa jakim performansama za analizu odluka na razini organizacije. EC11 je robusna aplikacija namijenjena za stolno računalo (PC), koja omogućuje prioritavno sortiranje i prioritetiziranje alternativa, te donošenje odluka o alternativama za postizanje željenih ciljeva. EC11 može koristiti podatke iz programa Microsoft Excel, Microsoft Project i Oracle baze podataka. Koristan za što-ako scenarije pri strateškom planiranju proračuna i usmjeravanja projekata.

EC11 je u potpunosti primjenjiv za AHP metodu i podržava sve potrebne korake. Omogućava strukturiranje problema na više načina te uspoređivanje alternativa i kriterija u parovima na više načina. EC11 ima mogućnost provođenja i vizualizacije analize osjetljivosti koja se temelji na jednostavnom interaktivnom načinu izmjene težina kriterija i alternativa.

Slika 2 prikazuje cilj, kriterije i alternative u *ModelView* prozoru programa Expert Choice 11. Kao primjer izrađen je model za odabir Virtex-5 FPGA čipa s dobrim omjerom performansi *cijene, frekvencije radnog takta, broja ulaza/izlaza, broja logičkih ćelija, veličine BRAM-a* i sl.



Slika 2. Cilj, kriteriji i alternative u *ModelView* prozoru programa Expert Choice 11.

Nakon što su definirani kriteriji, potrebno je utvrditi njihovu važnost prema kojoj utječu na alternative. Kriteriji su međusobno uspoređivani u parovima prema Saatyjevoj skali. Nakon dodanih težinskih vrijednosti izračunaju se njihove lokalne težine kriterija. Slika 3 prikazuje postupak uspoređivanja i dodavanja težina za kriterij *broj ulazno izlazni pinovi*. Uspoređivanje je napravljeno sa *PAIRWISE* usporednim dodjeljivanjem težina podkriterijima cilja. Na dnu slike 3 se može vidjeti da je inkonzistencija *Incon* = 0.00, što predstavlja inkonzistenciju od 0%. Kada je inkonzistencija manja od 10%, model težina kriterija je dobro strukturiran.

Expert Choice E:\Postdiplomski\Teorija Odlučivanja\AHP\AHP_Virtex5.ahp

File Edit Assessment Inconsistency Go Tools Help

3:1 ABC

Memorijski prostor

9 8 7 6 5 4 3 2 | 2 3 4 5 6 7 8 9

Snaga i cijena

Compare the relative importance with respect to: Goal: Odabir Virtex5 razvojne makete s obzirom na zahtjeve digitalnog designa

	Memorijski prostor	Ulazno izlazni pinovi	Snaga i cijena
Memorijski prostor		4,0	2,0
Ulazno izlazni pinovi			2,0
Snaga i cijena	Incon: 0,00		

Slika 3. Postupak uspoređivanja u paru (PAIRWISE) i dodavanja težina kriterijima podkriterija *Ulazno izlazni pinovi*.

Isti postupak sa drugačijim dodijeljenim težinama obavljen je za ostale podkriterije, kako je prikazano na slikama (Slika 4), (Slika 5) i (Slika 6).

Expert Choice E:\Postdiplomski\Teorija Odlučivanja\AHP\AHP_Virtex5.ahp

File Edit Assessment Inconsistency Go Tools Help

3:1 ABC

Logički blokovi

9 8 7 6 5 4 3 2 | 2 3 4 5 6 7 8 9

BRAM ukupno (Kb)

Compare the relative importance with respect to: Memorijski prostor

	Logički blokovi	BRAM FIFO (36Kb)	BRAM ukupno (Kb)
Logički blokovi		1,0	4,0
BRAM FIFO (36Kb)			3,0
BRAM ukupno (Kb)	Incon: 0,01		

Slika 4. Postupak uspoređivanja u paru (PAIRWISE) i dodavanja težina kriterijima podkriterija *Memorijski prostor*.

Expert Choice E:\Postdiplomski\Teorija Odlučivanja\AHP\AHP_Virtex5.ahp

File Edit Assessment Inconsistency Go Tools Help

3:1 ABC

LUT

9 8 7 6 5 4 3 2 | 2 3 4 5 6 7 8 9

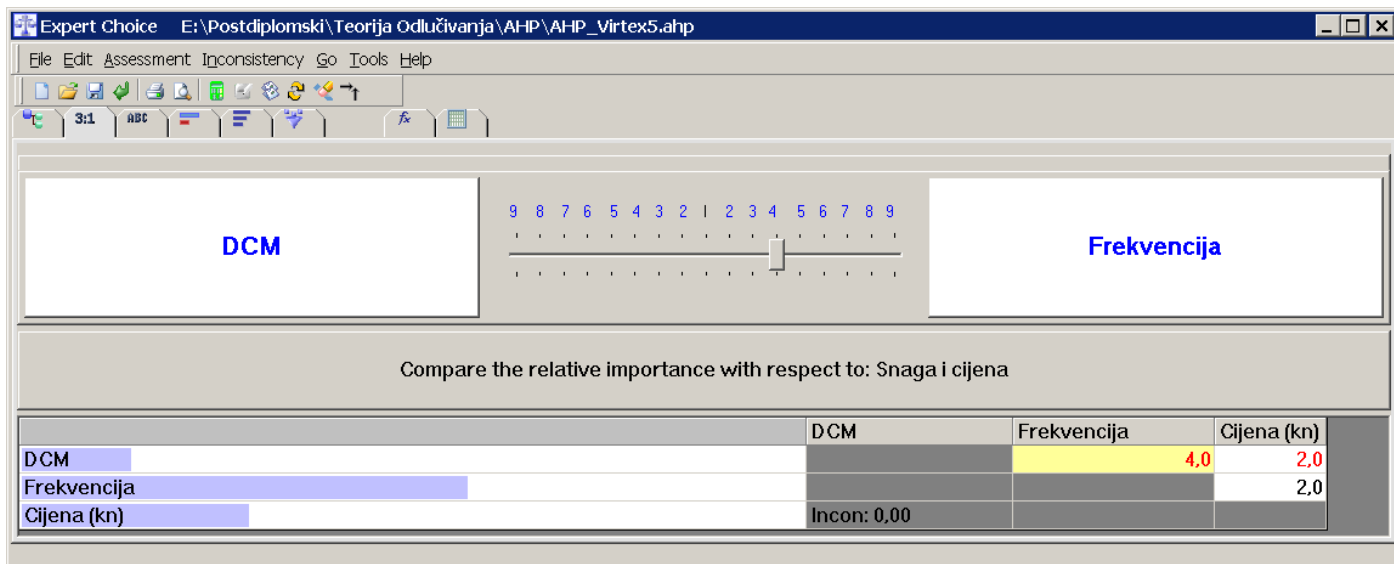
CLB

Compare the relative importance with respect to: Memorijski prostor \ Logički blokovi

	LUT	CLB
LUT		2,0
CLB	Incon: 0,00	

Formulas Grid - Contains user defined Formulas to Create Values, for use with Data Grid

Slika 5. Postupak uspoređivanja u paru (PAIRWISE) i dodavanja težina kriterijima podkriterija *Logički blokovi*.



Slika 6. Postupak uspoređivanja u paru (PAIRWISE) i dodavanja težina kriterijima podkriterija *Omjer snage i cijene*.

Na slikama (Slika 4), (Slika 5) i (Slika 6) vidi se da je inkonzistencija 0.00, tj. 0% za podkriterije *Logički blokovi* i *Omjer snage i cijene*, dok je za podkriterij *Memorijski prostor* inkonzistencija jednaka 0.01, tj. 1%. Inkonzistencija od 1% je zadovoljavajuće točna jer se radi o inkonzistenciji unutar granica tolerancije od 10%.

Nakon dodjeljivanja težina kriterijima potrebno je dodati težine svim podkriterijima potrebno je dodjeliti težine alternativama za pojedini podkriterij. Uspoređivanje alternativa je napravljeno sa *RATINGS* formulama za rangiranje sa kojima se dodjeljuju diskretne težine alternativama i *DIRECT* načina za dodjeljivanje težina izravno, kako je prikazano na slici (Slika 7).

Expert Choice E:\Postdiplomski\Teorija Odlučivanja\AHP\AHP_Virtex5.ahp

File Edit Assessment View Go Plot Tools Formula Type Mapping Help

1098 550
1 (1,000) 2 (.500)

Distributive mode	RATINGS	RATINGS	DIRECT	DIRECT	RATINGS	RATINGS	RATINGS	RATINGS	RATINGS	DIRECT
Alternative	Memorijski prostor (Logički blokovi LUT (L: ,667))	Memorijski prostor (Logički blokovi CLB (L: ,333))	Memorijski prostor (BRAM FIFO (36Kb) (L: ,238))	Memorijski prostor (BRAM ukupno (Kb) (L: ,625))	Ulazno izlazni pinovi Unipolnih pinova (L: ,169)	Ulazno izlazni pinovi Ulazno izlaznih linija (L: ,443)	Ulazno izlazni pinovi Diferencijalni pinovi (L: ,387)	Snaga i cijena DCM (L: ,143)	Snaga i cijena Frekvencija (L: ,571)	Snaga i cijena Cijena (kn) (L: ,286)
✓5VLX30 FF676	,520	19200	,150	,150	400	400	200	4	550	1,000
✓5VLX50 FF676	46080	28800	,230	,210	560	440	280	12	550	,580
✓5VLX85 FF1136	82944	51840	,450	,440	560	480	280	12	550	,270
✓5VLX110 FF676	110592	69120	,600	,610	800	440	400	12	550	,190
✓5VLX30T FF665	30720	19200	,170	,170	360	360	180	4	1098	,750
✓5VLX50T FF1136	46080	28800	,280	,290	480	480	240	12	550	,300
✓5VLX110T FF1136	110592	69120	,700	,690	360	640	340	12	550	,150
✓5VLX155T FF1136	155648	97280	1,000	1,000	480	640	340	12	550	,100
✓5VXS35T FF665	34816	21760	,400	,400	360	360	180	4	550	,570
✓5VXS50T FF665	52224	32640	,620	,620	480	360	240	12	550	,300
✓5VFX30T FF665	32768	20480	,320	,330	360	360	180	4	550	,600
✓5VFX70T FF665	71680	44800	,700	,690	640	360	320	12	550	,260

Goal: Odabir Virtex5 razvojne makete

- Memorijski prostor (L: ,400)
 - Logički blokovi (L: ,136)
 - BRAM FIFO (36Kb) (L: ,238)
 - BRAM ukupno (Kb) (L: ,625)
 - Ulazno izlazni pinovi (L: ,200)
 - Unipolnih pinova (L: ,169)
 - Ulazno izlaznih linija (L: ,443)
 - Diferencijalnih pinova (L: ,387)
- Snaga i cijena (L: ,400)
 - DCM (L: ,143)
 - Frekvencija (L: ,571)
 - Cijena (kn) (L: ,286)

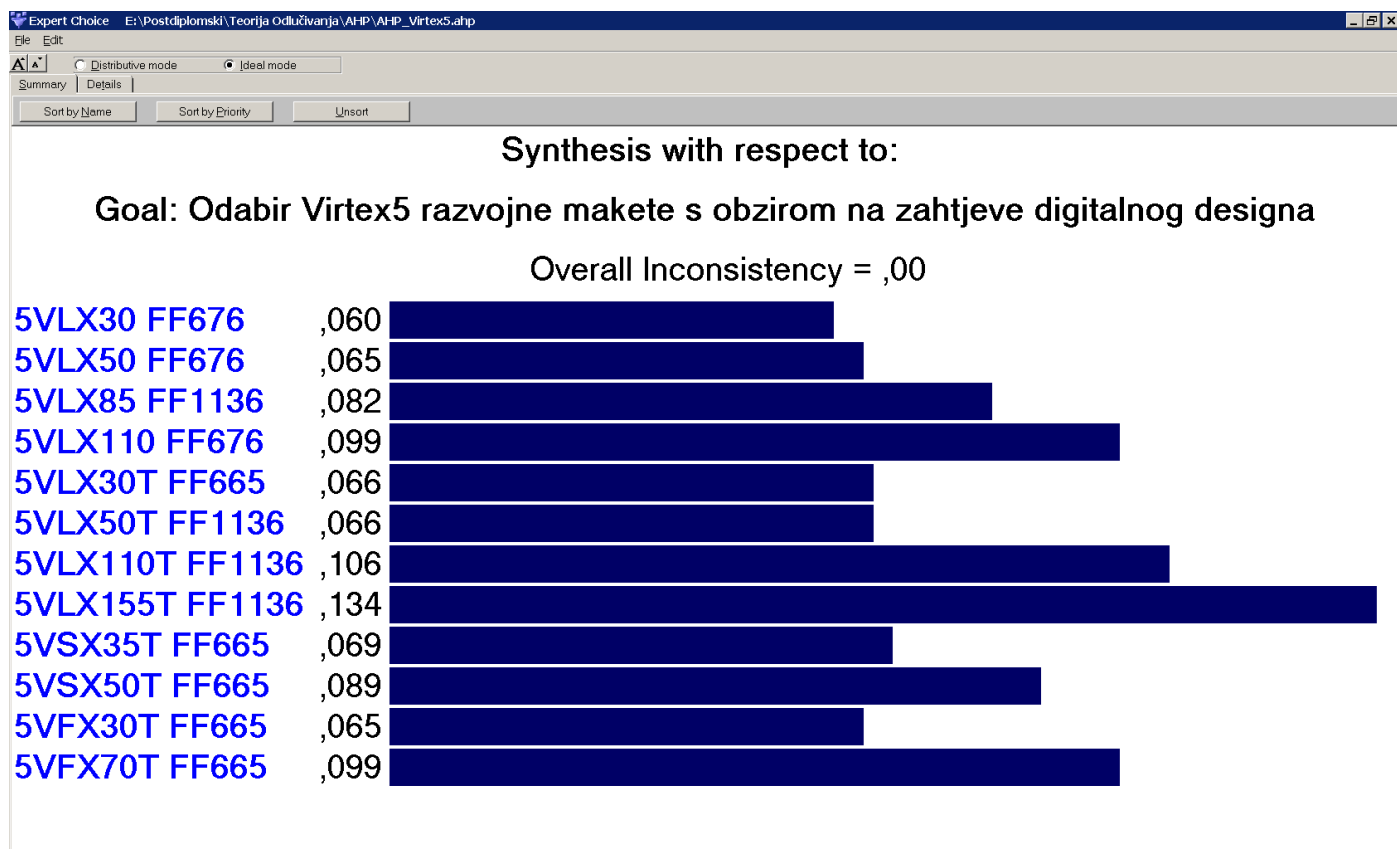
Slika 7. Dodjeljivanje težina alternativama za određeni podkriterij.

Tabela 3 prikazuje prioritete pojedinih podkriterija u odnosu na alternative za definirane *RATING* formule. *DIRECT* vrijednosti se direktno upisuju na temelju ručno izračunatog omjera alternativa danih u tablici (Tabela 1). Vrijednosti i prioriteti pojedinih težinskih vrijednosti za pojedine podkriterije prikazani su u tabeli (Tabela 3).

Tabela 3. Prioriteti alternativa u odnosu na određeni podkriterij.

Ulazno izlaznih linija	Intensity Name	Priority
	640	1,000
	480	,750
	440	,690
	400	,630
	360	,560
Unipolnih pinova	Intensity Name	Priority
	800	1,000
	680	,850
	640	,800
	560	,700
	480	,600
	400	,500
	360	,450
Diferencijalnih pinova	Intensity Name	Priority
	400	1,000
	340	,850
	320	,800
	280	,700
	240	,600
	200	,500
	180	,450
Logičkih ćelija (6-ulazni LUT)	Intensity Name	Priority
	155648	1,000
	110592	,710
	82944	,530
	71680	,460
	32768	,340
	46080	,300
	34816	,220
	52224	,210
	30720	,200
Konf. logičkih flip-flop blokova (CLB Flip-Flop)	Intensity Name	Priority
	97280	1,000
	69120	,710
	51840	,530
	44800	,460
	32640	,340
	28800	,300
	21760	,220
	20480	,210
	19200	,200
Digital Clock Managers (DCM)	Intensity Name	Priority
	12	1,000
	4	,300
Frekvencija radnog takta	Intensity Name	Priority
	1098	1,000
	550	,500

Slika 8 prikazuje ukupne prioritete alternativa nakon provedene sinteze s obzirom na predstavljeni cilj. Ukupna inkonzistencija je 0.00. Inkonzistencija modela je 0% i manja je od 10%, što znači da je model dobro strukturiran.

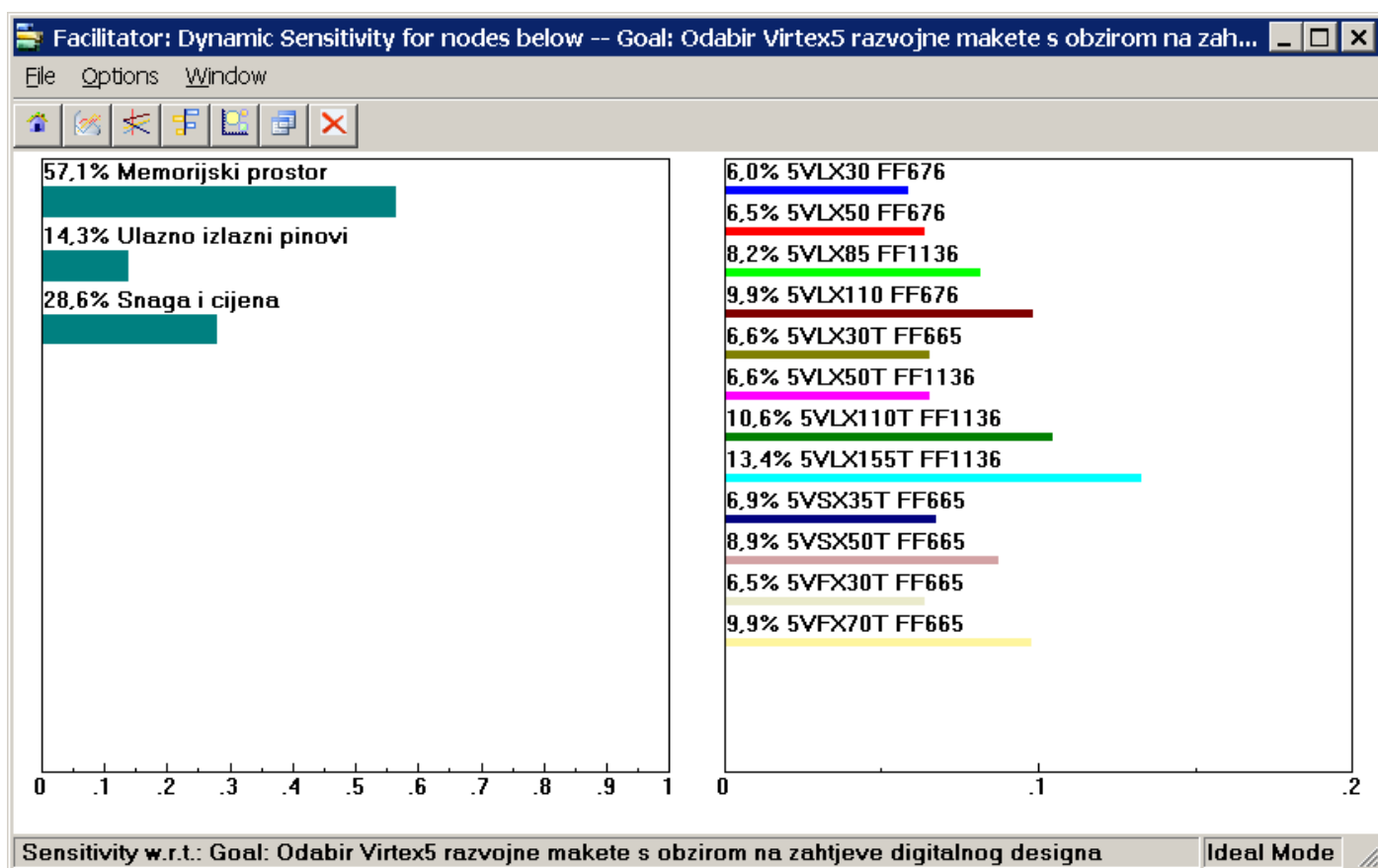


Slika 8. Ukupni prioritet alternativa.

Nakon određivanja kriterija i definiranja alternativa, te postavljanja svih potrebnih težina, potrebno je izraditi analizu osjetljivosti kako bi se odredila optimalna alternativa.

3.1. Dinamički prikaz

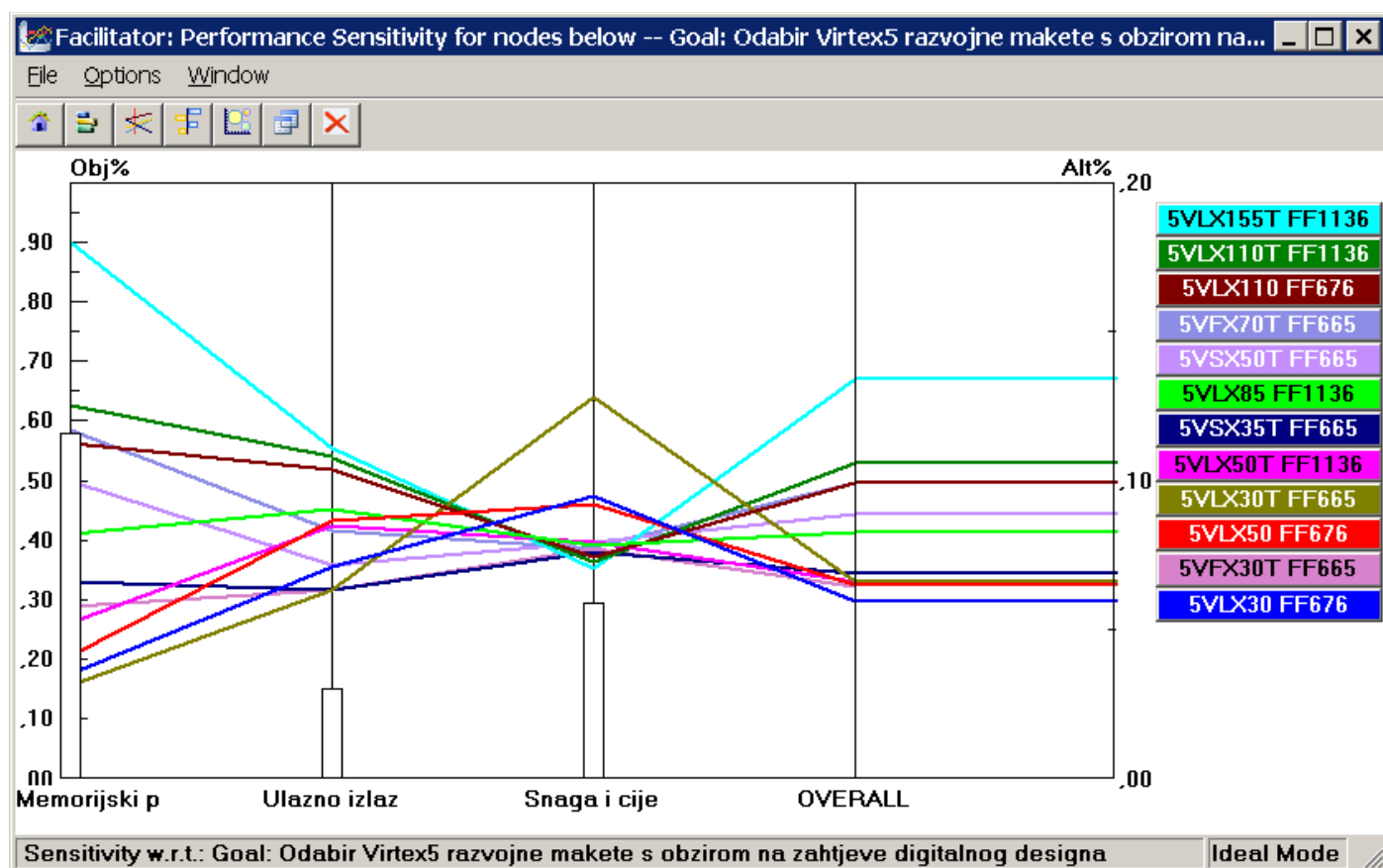
Dinamički grafički prikaz u kojem se mogu vidjeti kako se dinamički mijenjaju prioriteti alternativa pri promjenama težina pojedinih kriterija prikazan je na slici (Slika 9). Ovakav prikaz omogućava nam pogled na ukupni udio težine pojedinih podkriterija u ukupnom prioritetu alternativa. Ukoliko promijenimo težinu jednog podkriterija, ostale težine se mijenjaju proporcionalno u odnosu na početne težine podkriterija. Na lijevoj strani su prikazani udjeli utjecaja pojedinih podkriterija na prioritete alternativa. Vidi se da podkriterij *Snaga i cijena* utječe na prioritet alternativa sa 28,6%, kriterij *Ulazno izlazni pinovi* sa 14,3%, te kriterij *Memorijski prostor* sa 57,1%.



Slika 9. Dinamički grafički prikaz utjecaja promjena težina podkriterija na prioritet alternativa.

3.2. Prikaz svojstava alternativa

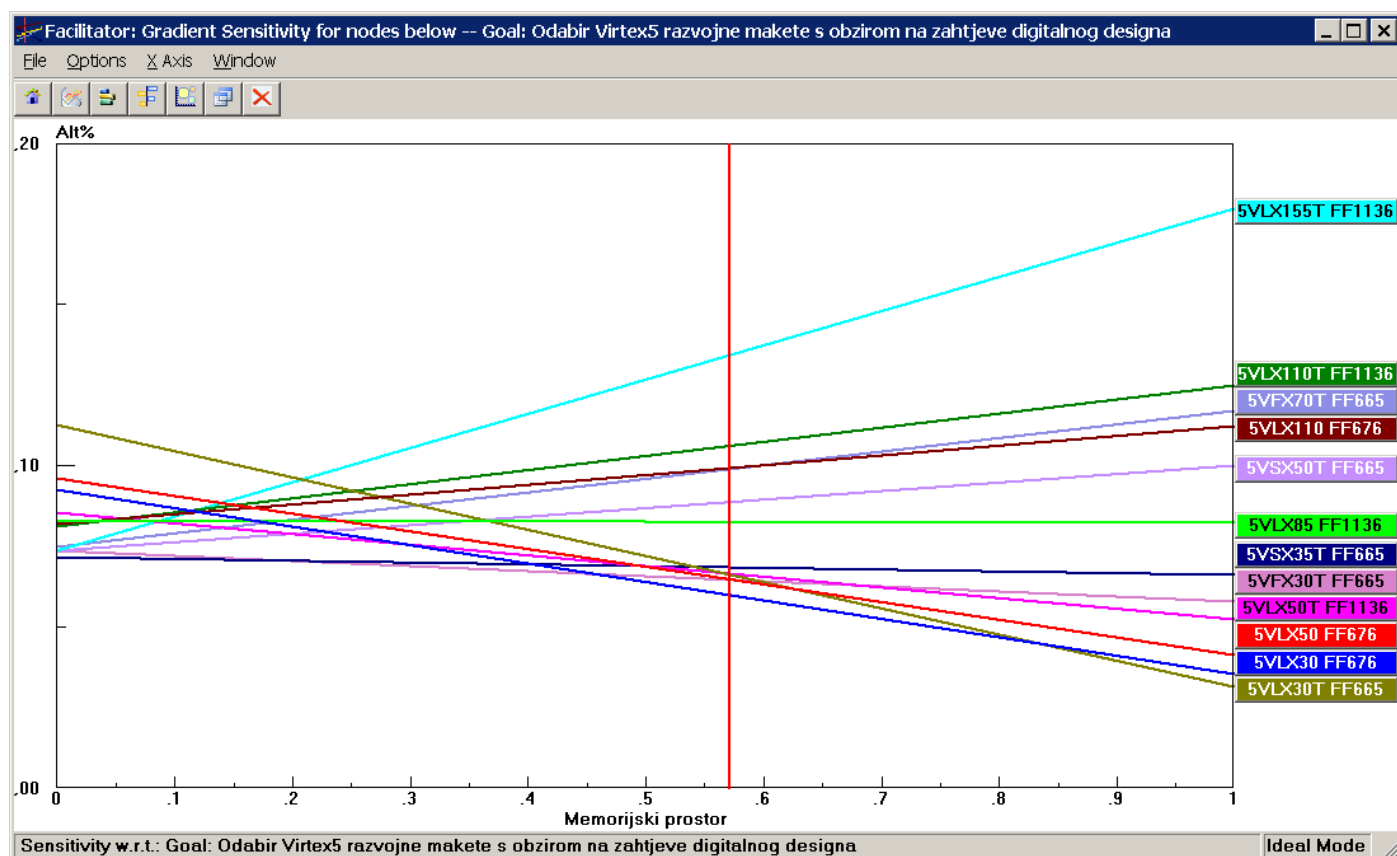
Svojstva pojedinih alternativa u odnosu na pojedini podkriterij prikazani su na slici (Slika 10). Na ovom prikazu se očituju utjecaji pojedinih težina kriterija u odnosu na trenutni i ukupni poredak alternativa. Trenutni poredak alternativa predstavlja promjenu prioriteta alternative pod utjecajem težine jednog kriterija, a ukupni poredak alternativa predstavlja poredak alternativa pod utjecajem težina svih kriterija. Neka je Ω prva po prioritetu alternativa 5VLX155T-FF1136, kako je prikazano na desnoj strani y-osi. Težine pojedinih kriterija su prikazani na lijevoj strani y-osi, a na x-osi su prikazani kriteriji i njihov utjecaj na pojedinu alternativu. Tako je vidljivo da na alternativu Ω pozitivno utječu podkriteriji *Memorijski prostor* i *Ulazno izlazni pinovi* dok kriteriji *Omjer snage* i *cijene* negativno utječu na alternativu Ω .



Slika 10. Grafički prikaz utjecaja pojedinih kriterija na alternative i njihov konačni prioritet.

3.3. Gradientni prikaz

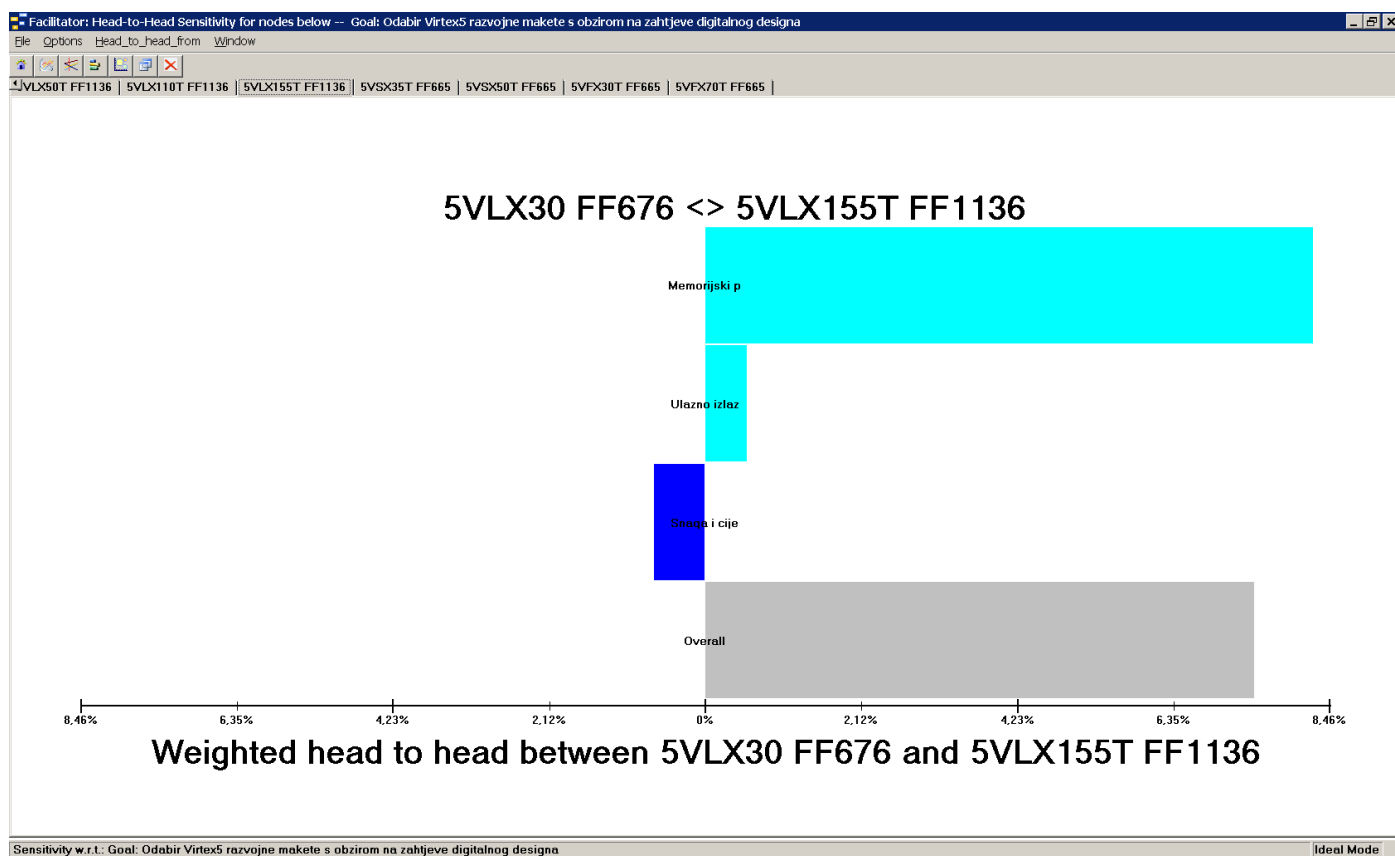
Gradientni prikaz predodređuje kako promjene (gradijenti) težina pojedinih kriterija utječu na pojedine alternative, kako je prikazano na slici (Slika 11). Neka je A alternativa 5VLX155T-FF1136 označena svjetlo plavom linijom, neka je B alternativa 5VLX30-FF676 označena tamno plavom linijom i neka je C alternativa 5VLX50T-FF1136 označena ružičastom linijom. Na slici je prikazan kriterij *cijena*. Usporedimo li alternative A i B u odnosu na promjene (gradijent) težine kriterija *Memorijski prostor*, vidi se da je alternativa A u prednosti nad alternativama B i C. Također je vidljivo da bi se smanjenjem težine kriterija *Memorijski prostor* promijenio odnos između alternativa A, B i C, te bi alternativa B bila u prednosti nad alternativama A i B. Usporedimo li alternativu A sa alternativama B i C u odnosu na promjene (gradijent) težine kriterija *Memorijski prostor*, vidi se da na prioritet alternativa B i C relativno manje utječe promjena težine kriterija *Memorijski prostor* u odnosu na alternativu A. Prioritet alternative A značajnije ovisi o promjenama težine kriterija *Memorijski prostor* u odnosu na alternative B i C.



Slika 11. Gradientni prikaz osjetljivosti alternativa na promjenu težine kriterija *Memorijski prostor*.

3.4. Usporedni prikaz

Usporedni prikaz prikazuje usporedno (*head to head*) predstavljene alternative, kako je prikazano na slici (Slika 12). S obzirom na zadane podkriterije, alternative različito utječu na konačni rezultat analize osjetljivosti. Neka je A1 alternativa 5VLX30 FF676 i neka je A2 alternativa 5VLX155T FF1136. Međusobni kvalitativni odnos dviju alternativa prikazan je pravokutnim površinama. Ukoliko je jedna alternativa kvalitetnija od druge, tada će bolja alternativa imati proporcionalno veću površinu pravokutnika. Informacija o tome koja je alternativa bolja predstavljena je prostornom pozicijom pravokutnika. Ukoliko je pravokutnik na strani lijevo prikazane alternative A1, tada je alternativa A1 bolja od alternative A2 po pitanju određenog kriterija. Tako je alternativa A1 u odnosu na alternativu A2 bolja po kriteriju *Omjer snage i cijene*, što je označeno tamno plavom površinom. Ostali kriteriji su naklonjeni alternativu A2, te su pravokutnici prikazani na strani alternative A2 i obojani su svijetlo plavom bojom. Ukupna odluka o kvaliteti alternativa A1 i A2 naklonjena alternativu A2, što se vidi iz posljednjeg pravokutnika *Overall* obojanog sivom bojom.



Slika 12. Usporedni prikaz dviju alternativa.

4. ZAKLJUČAK

Ovaj rad obuhvatio je područje višekriterijske analize. Predstavljena je AHP metoda za višekriterijsko odlučivanje. Pored teorijskog razmatranja predstavljene metode, izrađen je model za višekriterijsko odlučivanje za odabir Virtex-5 FPGA čipa. Pri tome je korišten programski paket Expert Choice 11 (EC11). S pomoću njega napravljena je analiza osjetljivosti i rezultati su ilustrirani na četiri vrste grafova: *Dynamic*, *Performance*, *Gradient* i *Head-to-head*. Parametri su podešeni tako da se preferira više cijena, zatim brzina, potom veličina RAM memorije, itd. Za konačni rezultat višekriterijske analize odabran je Virtex-5 FPGA-čip: 5VLX155T-FF1136.

Primjena softverskog alata EC11 omogućava rješavanje problema višekriterijskog odlučivanja pri odabiru Virtex-5 FPGA uređaja sa prioritarnim sortiranjem i ocjenjivanjem alternativa. Koristan za što-ako scenarije pri strateškom planiranju proračuna i projekata. U odabiru Virtex-5 FPGA uređaja korisna je vizualizacija analize osjetljivosti utemeljene na jednostavnom interaktivnom načinu izmjene težina kriterija i alternativa.

Sveprisutni subjektivni način donošenja odluka pri odabiru Virtex-5 FPGA uređaja moguće je objektivizirati primjenom predstavljenog alata EC11. U praksi se odabir FPGA čipa prepušta osobnoj procjeni inženjera elektrotehnike koji razvija jedan digitalni sustav. Za učestalije odabiranje (kupovinu) FPGA uređaja, prihvatljivo je koristiti neki od alata, za odabir na temelju višekriterijske analize AHP metodom, kao što je EC11.

LITERATURA

- [1] Višekriterijsko odlučivanje: AHP metoda
http://www.foi.hr/CMS_library/studiji/dodiplomski/IS/kolegiji/mzvo/ahp.pdf
- [2] Xilinx
www.xilinx.com
- [3] Pregled Virtex-5 FPGA uređaja.
http://www.xilinx.com/support/documentation/data_sheets/ds100.pdf
- [4] Virtex-5 FPGA dokumentacija.
<http://www.xilinx.com/support/documentation/virtex-5.htm>
- [5] Ernest H. Forman, Decision By Objectives
<http://mdm.gwu.edu/Forman/DBO.pdf>
- [6] Korištenje operacijskih istraživanja u brodogradnji
http://www.riteh.hr/zav_katd_sluz/zvd_brod_ing_mor_teh/katedre/teh_org/materijali/kolegiji/sveuc%20diplBG/metodologija%20gradnje%20PO/KORI%8ATENJE%20METODA%20OPERACIJSKIH%20ISTRA%8EIVANJA%20U%20BRODOGRADNJI.pdf
- [7] Matematički temelj AHP metode
http://www.foi.hr/CMS_library/studiji/dodiplomski/IS/kolegiji/mzvo/MatematickiTemelj_AHPMetoda.pdf
- [8] Expert Chioce software
<http://www.expertchoice.com>

A. PRILOG: Virtex-5 FPGA uredaji.

Virtex-5 LX FPGA Platform				Virtex-5 LXT FPGA Platform				Virtex-5 SXT FPGA Platform				Virtex-5 FXT FPGA Platform				Virtex-5 TXT Platform	
Optimized for High-performance Logic (1.0 Volt)				Optimized for High-performance Logic with Low-power Serial Connectivity (1.0 Volt)				Optimized for DSP with Low-power Serial Connectivity (1.0 Volt)				Optimized for Embedded Processing with High-Speed Serial Connectivity (1.0 Volt)				Optimized for Ultra-High Bandwidth	
XCSVX300	XCSVX465	XCSVX465	XCSVX465	XCSVX300T	XCSVX300T	XCSVX300T	XCSVX300T	XCSVX300T	XCSVX300T	XCSVX300T	XCSVX300T	XCSVX300T	XCSVX300T	XCSVX300T	XCSVX300T	XCSVX465T	XCSVX465T
—	—	XCEVUX300	XCEVUX300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	XCEVUX465T	XCEVUX465T
4,800	7,200	13,640	17,280	24,320	34,560	51,840	51,840	51,840	51,840	51,840	51,840	51,840	51,840	51,840	51,840	283,200	37,440
Logic Cells ¹⁾				Logic Cells ¹⁾				Logic Cells ¹⁾				Logic Cells ¹⁾				Logic Cells ¹⁾	
30,720	40,080	82,944	110,082	105,648	221,184	381,776	381,776	381,776	381,776	381,776	381,776	381,776	381,776	381,776	381,776	148,480	238,616
CLB Flip-Flops				CLB Flip-Flops				CLB Flip-Flops				CLB Flip-Flops				CLB Flip-Flops	
19,200	28,800	51,840	69,120	97,280	138,240	207,360	207,360	207,360	207,360	207,360	207,360	207,360	207,360	207,360	207,360	92,880	140,760
Maximum Doubled RAM (Kbit)				Maximum Doubled RAM (Kbit)				Maximum Doubled RAM (Kbit)				Maximum Doubled RAM (Kbit)				Maximum Doubled RAM (Kbit)	
320	480	840	1,120	1,640	2,280	3,420	3,420	3,420	3,420	3,420	3,420	3,420	3,420	3,420	3,420	1,500	2,400
Block RAM FIFO = ECC (blocks each)				Block RAM FIFO = ECC (blocks each)				Block RAM FIFO = ECC (blocks each)				Block RAM FIFO = ECC (blocks each)				Block RAM FIFO = ECC (blocks each)	
32	48	96	128	192	288	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	228	324
Total Block RAM (Kbit)				Total Block RAM (Kbit)				Total Block RAM (Kbit)				Total Block RAM (Kbit)				Total Block RAM (Kbit)	
1,182	1,728	3,456	4,608	6,912	10,368	15,552	15,552	15,552	15,552	15,552	15,552	15,552	15,552	15,552	15,552	8,208	11,664
Digital Clock Managers (DCM)				Digital Clock Managers (DCM)				Digital Clock Managers (DCM)				Digital Clock Managers (DCM)				Digital Clock Managers (DCM)	
4	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Phase-Locked Loop (PLL)/MCM				Phase-Locked Loop (PLL)/MCM				Phase-Locked Loop (PLL)/MCM				Phase-Locked Loop (PLL)/MCM				Phase-Locked Loop (PLL)/MCM	
2	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Maximum Single-Ended Pins				Maximum Single-Ended Pins				Maximum Single-Ended Pins				Maximum Single-Ended Pins				Maximum Single-Ended Pins	
400	560	560	800	800	800	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	680	680
Maximum Differential I/O Pins				Maximum Differential I/O Pins				Maximum Differential I/O Pins				Maximum Differential I/O Pins				Maximum Differential I/O Pins	
200	280	280	400	400	400	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	340	340
I/O Standards				I/O Standards				I/O Standards				I/O Standards				I/O Standards	
DSP48E Blocks				DSP48E Blocks				DSP48E Blocks				DSP48E Blocks				DSP48E Blocks	
32	48	48	64	128	128	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	80	96
PowerPC ²⁾ 440 Processor Blocks				PowerPC ²⁾ 440 Processor Blocks				PowerPC ²⁾ 440 Processor Blocks				PowerPC ²⁾ 440 Processor Blocks				PowerPC ²⁾ 440 Processor Blocks	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
PCI Express Endpoint Blocks				PCI Express Endpoint Blocks				PCI Express Endpoint Blocks				PCI Express Endpoint Blocks				PCI Express Endpoint Blocks	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10/100/1000 Ethernet MAC Blocks				10/100/1000 Ethernet MAC Blocks				10/100/1000 Ethernet MAC Blocks				10/100/1000 Ethernet MAC Blocks				10/100/1000 Ethernet MAC Blocks	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RocketIO ³⁾ GTP Low-Power Transceivers				RocketIO ³⁾ GTP Low-Power Transceivers				RocketIO ³⁾ GTP Low-Power Transceivers				RocketIO ³⁾ GTP Low-Power Transceivers				RocketIO ³⁾ GTP Low-Power Transceivers	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RocketIO ³⁾ GTX High-Speed Transceivers				RocketIO ³⁾ GTX High-Speed Transceivers				RocketIO ³⁾ GTX High-Speed Transceivers				RocketIO ³⁾ GTX High-Speed Transceivers				RocketIO ³⁾ GTX High-Speed Transceivers	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Combinational				Combinational				Combinational				Combinational				Combinational	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Industrial				Industrial				Industrial				Industrial				Industrial	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Configuration Memory (Mbit)				Configuration Memory (Mbit)				Configuration Memory (Mbit)				Configuration Memory (Mbit)				Configuration Memory (Mbit)	
8.4	12.6	21.9	29.1	42.7	53.2	79.8	79.8	6.3	9.4	14.1	23.4	31.2	43.1	55.2	82.7	13.4	35.8
Available User I/Os				Available User I/Os				Available User I/Os				Available User I/Os				Available User I/Os	
FPGA Package (FF) for Chip-to-Chip BGA (1.0 mm ball spacing)				FPGA Package (FF) for Chip-to-Chip BGA (1.0 mm ball spacing)				FPGA Package (FF) for Chip-to-Chip BGA (1.0 mm ball spacing)				FPGA Package (FF) for Chip-to-Chip BGA (1.0 mm ball spacing)				FPGA Package (FF) for Chip-to-Chip BGA (1.0 mm ball spacing)	
FF224	19 x 19 mm	220	220	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
FF236	27 x 27 mm	400	440	440	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
FF1133	35 x 35 mm	800	800	800	800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
FF1760	42.5 x 42.5 mm	—	—	800	800	1200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
FF223	19 x 19 mm	—	—	—	—	—	—	172 (4)	172 (4)	—	—	—	—	—	—	—	—
FF265	27 x 27 mm	—	—	—	—	—	—	360 (8)	360 (8)	—	—	—	—	—	—	—	—
FF1136	35 x 35 mm	—	—	—	—	—	—	480 (12)	480 (12)	—	—	—	—	—	—	—	—
FF1136	35 x 35 mm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
FF126	42.5 x 42.5 mm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
FF1759	42.5 x 42.5 mm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Notes: 1. EasyPath™ solutions provide a convenient path for volume production.
2. A single Virtex-5 CLB comprises two slices, with each containing four E-input LUTs and four Flip-Flops (hence the number found in a Virtex-5 device), for a total of eight E-input LUTs and eight Flip-Flops per CLB.
3. Virtex-5 logic cell ratings reflect the increased logic capacity offered by the new E-input LUT architecture.
4. Digitally Controlled Impedance (DCI) is available on I/Os of all devices.
5. On system monitor block included in all devices.
6. Available I/O for each device package combination: number of SelectIO pins (number of RocketIO transceivers).
7. All products available Pin-Free and Pin-Free Compliant.