

DOKUMENTACIJA TEHNIČKOG REŠENJA

„Programski sistem za inteligentnu višekriterijumsku analizu proizvoda i procesa“

Autori tehničkog rešenja:

- dr Boris Agarski, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka
- dr Igor Budak, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka
- dr Bojan Srđević, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet
- dr Đorđe Vukelić, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka
- Milana Ilić, mast. inž., Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka
- dr Janko Hodolić, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka

Ključne reči:

- višekriterijumska analiza, softver, dodeljivanje težinskih faktora

Oblast i naučna disciplina na koju se tehničko rešenje odnosi:

- Tehničko-tehnološke nauke / Mašinsko inženjerstvo

Naručilac i korisnik tehničkog rešenja:

- Wisil M, Nehruova 44/4, 11070 Novi Beograd, Srbija, Republika Srbija

Godina kada je tehničko rešenje urađeno:

- 2015

Projekat u okviru koga je realizovano tehničko rešenje:

- Program istraživanja u oblasti tehnološkog razvoja za period 2011.-2015.;
- Tehnološka oblast: Mašinstvo;
- Rukovodilac projekta: dr Janko Hodolić, redovni profesor;
- Naziv projekta: Istraživanje i razvoj metoda modeliranja i postupaka izrade dntalnih nadoknada primenom savremenih tehnologija i računarom podržanih sistema;
- Broj projekta: TR 35020.

SADRŽAJ:

1	OPIS PROBLEMA KOJI SE REŠAVA TEHNIČKIM REŠENJEM.....	3
2	PRIKAZ I ANALIZA POSTOJEĆIH REŠENJA PROBLEMA.....	3
3	SUŠTINA TEHNIČKOG REŠENJA.....	4
4	DETALJAN OPIS TEHNIČKOG REŠENJA.....	5
4.1	Model za inteligentnu višekriterijumsku analizu proizvoda i procesa	5
4.2	Pod-modul za inteligentno integrisanje težinskih faktora	6
4.3	Softver za inteligentnu višekriterijumsku analizu proizvoda i procesa	10
4.4	Panel za unos podataka.....	11
4.5	Panel za dodeljivanje težinskih faktora	12
4.6	Panel za izračunavanje ranga alternativa.....	17
4.7	Panel za grafički prikaz	21
5	ZAKLJUČAK.....	24
6	LITERATURA.....	24

1 OPIS PROBLEMA KOJI SE REŠAVA TEHNIČKIM REŠENJEM

Osnova višekriterijumske analize (VKA) jeste rešavanje problema na konzistentan način prilikom rada sa velikom količinom kompleksnih informacija. Informacije u VKA se odnose na rad sa velikim brojem parametara sa kojima se analizira višekriterijumski problem, različite merne jedinice u kojima se izražavaju parametri, kao i različite skale. Metode VKA mogu da pruže podršku pri odlučivanju i definisanju modela, čime doprinose boljem razumevanju višekriterijumskog problema odlučivanja. Kod definisanja problema VKA treba istaći da je izbor odgovarajućih kriterijuma, na osnovu kojih će se vrednovati alternative, važan i ne tako jednostavan korak od kojeg zavisi konačni rezultat vrednovanja. Značajan korak VKA jeste dodeljivanje težinskih faktora kriterijumima, pri čemu rezultat vrednovanja u velikoj meri zavisi od težinskih faktora. Kod dodeljivanja težinskih faktora, mogu se istaći kombinovani pristupi koji se zasnivaju na primeni subjektivnih i objektivnih metoda kako bi se dobili konačni-integrirani težinski faktori.

S obzirom na kompleksnost VKA i samih metoda VKA, nameće se potreba za razvojem softvera (programskih sistema) za podršku VKA. Softveri za VKA služe kao podrška u različitim fazama strukturisanja i rešavanja kompleksnih višekriterijumskih problema, kao i u radu sa velikim brojem informacija. Tehničko rešenje je izvedeno kao softver i omogućava izbor i kombinovanje različitih metoda VKA i metoda dodeljivanja težinskih faktora u cilju vrednovanja procesa i proizvoda. Posebna pažnja je posvećena inovativnom pristupu za dodeljivanje težinskih faktora i kombinovanje subjektivnih i objektivnih težinskih faktora. Pored navedenog, softver obezbeđuje i posebno okruženje za ocenjivanje životnog ciklusa (LCA – Life Cycle Assessment) proizvoda i procesa.

2 PRIKAZ I ANALIZA POSTOJEĆIH REŠENJA PROBLEMA

Razvijen je veliki broj softvera za rešavanje problema višekriterijumskog odlučivanja. Sistematičan pregled razvijenih softvera za višekriterijumsku analizu može se naći u radovima Figueira i dr. (2005), Srđević i dr. (2007), Ishizaka i Nemery (2013), Mustajoki i Marttunen (2013), itd. Treba napomenuti da je deo ovih softvera eksperimentalan i služi za testiranje algoritama za rešavanje specifičnih problema. U nastavku će biti spomenuti samo neki od značajnijih softvera za VKA, kao i primena VKA u oblasti LCA.

Za jednu od najprimenjenijih metoda VKA, analitički hijerarhijski proces (AHP) razvijen je softver Expert Choice (ExpertChoice, 2015; Figueira i dr., 2005; Srđević i dr., 2007). Trenutno izveden u dve verzije (Comparion i Riskion) Expert Choice podržava neograničen broj kriterijuma i podkriterijuma, izgradnju modela odlučivanja (hijerarhije), ispitivanje konzistentnosti korisnika, analizu osetljivosti i drugo. Pored Expert Choice programskog sistema, Criterium DecisionPlus (CriteriumDecisionPlus, 2015; Figueira i dr., 2005; Mustajoki i Marttunen, 2013, Srđević i dr., 2007) i MakeItRational (MakeItRational, 2015; Mustajoki i Marttunen, 2013) takođe podržavaju primenu AHP metode. Za PROMETHEE II metodu prvo je razvijen softver DecisionLab (Figueira i dr., 2005) a kasnije i novija verzija Visual PROMETHEE (VisualPROMETHEE, 2015). Visual PROMETHEE karakteriše korisničko intuitivno tabelarno okruženje, analiza osetljivosti rezultata vrednovanja, mogućnost različitih grafičkih prikaza rezultata vrednovanja gde se posebno može istaći GAIA prikaz za 2D i 3D prikaz problema odlučivanja. Visual PROMETHEE sadrži korisničko uputstvo sa više praktičnih primera i mogućnost dodatnih proširenja programa za grupno donošenje odluka, geo-lokalizaciju (GoogleMaps interfejs) i drugo. M-MACHBETH (MACHBETH - Measuring Attractiveness by a

Categorical Based Evaluation Technique) (Bana e – Costa i drugi, 2002; M-MACHBETH, 2015; Mustajoki i Marttunen, 2013) je interaktivan pristup koji radi sa kvantitativnim vrednovanjima i pomaže jednom ili grupi donosioca odluke prilikom vrednovanju alternativa. Analytica (Analytica, 2015; Mustajoki i Marttunen, 2013; Srđević i dr., 2007) je softver za formiranje, analizu i povezivanje kvantitativnih poslovnih modela. Pomoću Analytica softvera lako se povezuju osnovne kvalitativne strukture modela, a međusobne veze i uticaji modela mogu se grafički predstaviti. Analytica efikasno tretira pitanja rizika i neodređenosti u radu sa modelima putem Monte Carlo simulacije. 1000Minds softver (1000Minds, 2015; Mustajoki i Marttunen, 2013; Hansen i Omblor, 2008) omogućava grupno donošenje odluka preko internet aplikacije primenom patentiranog PAPRIKA (Potentially All Pairwise RanKings of all possible Alternatives) metoda. NAIADE (Munda, 1995) je diskretna metoda za VKA koja omogućava da matrica performansi bude sastavljena od običnih, stohastičnih ili fuzzy mera performansi alternativa prema vrednovanjima pojedinačnih kriterijuma. Diviz (Diviz, 2015; Mayer i Bigaret, 2010) je softver za dizajn, primenu i diseminaciju metoda VKA, algoritama i eksperimenata preko internet servisa. Diviz pruža podršku kod sastavljanja hijerarhije i stabala odlučivanja u VKA, razvoja novih metoda za VKA, olakšava diseminaciju novih algoritama za VKA.

VKA u inženjerstvu zaštite životne sredine je značajna zbog međusobne interakcije socijalnih, ekoloških, ekonomskih i tehničkih faktora. Huang i drugi (2011) sistematizovali su primenu VKA u inženjerstvu zaštite životne sredine, tako što su radovi publikovani u periodu od 1990.-2010. godine klasifikovani u oblasti zaštite životne sredine. Od ukupnog broja radova obuhvaćenih analizom, najveći broj radova obuhvatao je strategije, tj. primenu VKA u LCA.

Nedostatak prethodno razvijenih softvera za višekriterijumsku analizu jeste podržavanje jedne metoda VKA i/ili odsustvo mogućnosti izbora različitih metoda za dodeljivanje težinskih faktora. U odnosu na prethodno navedene softvere, softver ovog tehničkog rešenja omogućava izbor različitih metoda VKA, metoda za dodeljivanje težinskih faktora, kao i mogućnost inteligentnog integrisanja težinskih faktora.

3 SUŠTINA TEHNIČKOG REŠENJA

U okviru tehničkog rešenja razvijen je model za inteligentnu višekriterijumsku analizu proizvoda i procesa, a potom i softver koji obezbeđuje automatizaciju procesa izračunavanja ukupne (sinergetske) ocene proizvoda i procesa. Važna komponenta razvijenog modela i softvera jeste pod-modul za inteligentno integrisanje težinskih faktora, kao i primena fuzzy logike pri dodeljivanju težinskih faktora subjektivnim i objektivnim pristupom.

Prilikom razvoja modela, na osnovu postavljenog cilja, pošlo se od sledećih zahteva koje softver treba da omogućiti:

- unos svih potrebnih informacija bitnih za vrednovanje proizvoda i procesa,
- primenu više različitih metoda za VKA i za dodeljivanje težinskih faktora,
- primenu fuzzy logike za integrisanje težinskih faktora kriterijuma,
- podršku prilikom vrednovanja težinskih faktora kategorija uticaja u LCA,
- jednostavno i korisnički intuitivno okruženje,
- univerzalnost i fleksibilnost u smislu rešavanja različitih problema VKA.

4 DETALJAN OPIS TEHNIČKOG REŠENJA

4.1 Model za inteligentnu višekriterijumsku analizu proizvoda i procesa

Model za inteligentnu višekriterijumsku analizu proizvoda i procesa sastoji se od četiri modula (slika 1):

1. modul za unos podataka,
2. modul za dodeljivanje težinskih faktora kriterijuma,
 - pod-modul za inteligentno integrisanje težinskih faktora,
3. modul za višekriterijumsku analizu,
4. modul za grafički prikaz rezultata.

Navedeni moduli su međusobno povezani sa pet baza podataka (slika 1) koje su grupisane u:

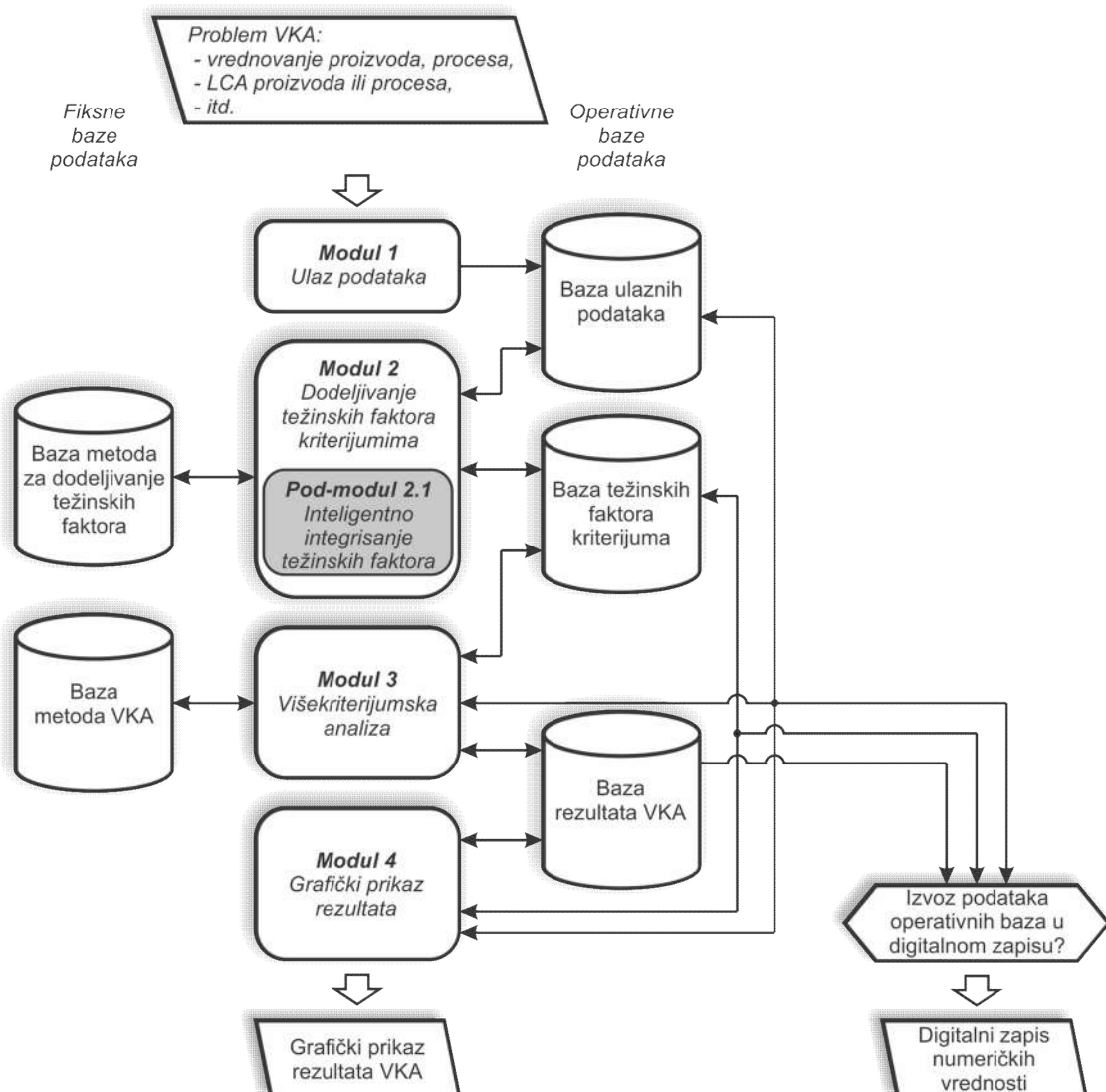
1. Fiksne baze podataka koje se ne menjaju prilikom primene IMCAT (engl. Intelligent Multi-Criteria Analysis Tool) sistema: baza metoda za dodeljivanje težinskih faktora i baza metoda VKA;
2. Operativne baze podataka koje se menjaju u zavisnosti od unosa ulaznih podataka i izračunavanja rezultata VKA: baza ulaznih podataka, baza težinskih faktora kriterijuma i baza rezultata VKA.

Modul za ulaz podataka omogućava unos matrice performansi i tipa kriterijuma u bazu ulaznih podataka.

Modul za dodeljivanje težinskih faktora kriterijumima omogućava izračunavanje objektivnih, subjektivnih i integrisanih težinskih faktora kriterijuma izborom odgovarajuće metode iz baze metoda za dodeljivanje težinskih faktora. Prilikom izračunavanja objektivnih težinskih faktora iz baze metoda za dodeljivanje težinskih faktora, mogu se odabrati metode: entropije (Jahan i Edwards, 2014, Milićević i Župac, 2012), standardne devijacije, korelacije (Milićević i Župac, 2012) i CRITIC (Diakoulaki i dr., 1995; Jahan i Edwards, 2014; Milićević i Župac, 2012). Subjektivni težinski faktori mogu se dobiti izborom metoda direktnog dodeljivanja težinskih faktora (Jahan i Edwards, 2014), Fulerovim trouglom (Agarski i dr., 2012a) i AHP (Saaty, 1980; Jahan i Edwards, 2014) iz baze metoda za dodeljivanje težinskih faktora. Integrisani težinski faktori mogu se dobiti metodom redukcionih koeficijenata (Agarski i dr., 2012a) i primenom pod-modula za inteligentno integrisanje težinskih faktora.

Modul za višekriterijumsku analizu pruža mogućnost izbora jedne od pet metoda VKA iz baze metoda VKA: SAW (Figueira i dr., 2005; Jahan i Edwards, 2014, Triantaphyllou, 2000), TOPSIS (Figueira i dr., 2005; Jahan i Edwards, 2014), AHP (Saaty, 1980), PROMETHEE (Brans, 1982; Brans i Mareschal, 1982; Figueira i dr., 2005) i CP (Zeleny, 1982). Ovih pet metoda spadaju u grupu višeatributnog odlučivanja i pokrivaju sve tri grupe višeatributnog odlučivanja (metode korisnosti, kompromisa i rangiranja).

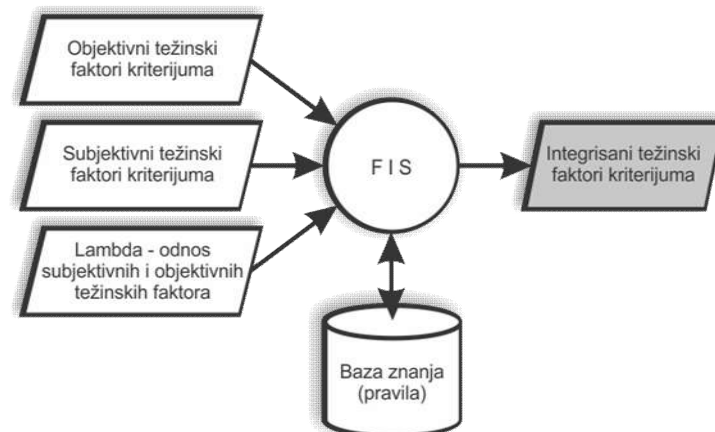
Modul za grafički prikaz rezultata daje prikaz težinskih faktora kriterijuma i ranga alternativa preko histograma. Pored ovih grafika, normalizovana matrica performansi može se prikazati polarnim dijagramom.



Slika 1. Model za inteligentnu višekriterijumsku analizu proizvoda i procesa

4.2 Pod-modul za inteligentno integrisanje težinskih faktora

Osnovna ideja pod-modula za inteligentno integrisanje težinskih faktora zasnovana je na kombinovanju objektivnih i subjektivnih težinskih faktora prema pristupu opisanom u Jahan i Edwards (2013). Pod-modul za inteligentno integrisanje težinskih faktora omogućava korisniku da svoje subjektivne preferencije značajnosti kriterijuma koriguje objektivnim težinskim faktorima kriterijuma. Pored mogućnosti kombinovanja subjektivnih i objektivnih težinskih faktora, ukoliko postoje referentni (podrazumevani ili prethodno izračunati) težinski faktori za specifičan slučaj višekriterijumskog vrednovanja, predloženi pristup omogućuje da se isti koriste umesto objektivnih i na taj način da se kombinuju sa subjektivnim težinskim faktorima. U okviru ovih istraživanja je, polazeći od pristupa (Jahan i Edwards, 2013), razvijen inteligentni sistem, na bazi fuzzy logike koji karakteriše inovativni pristup modeliranja težinskih faktora kriterijuma (Agarski i dr., 2015). Blok šema pod-modula za inteligentno integrisanje težinskih faktora prikazana je na slici 2.



Slika 2. Pod-modul za inteligentno integrisanje težinskih faktora (Agarski i dr., 2015)

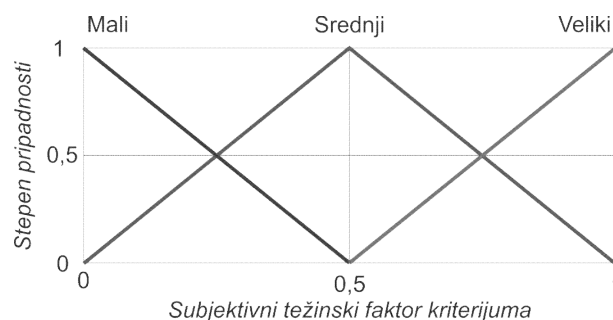
Prema slici 2, pod-modul predstavlja fuzzy kontroler sa tri ulaza i jednim izlazom. Ulazi su: objektivni, subjektivni težinski faktori i odnos subjektivnih i objektivnih težinskih faktora kriterijuma (lambda parametar), a izlaz su integrirani težinski faktori kriterijuma. Realni brojevi ulaza imaju interval [0-1], a vrednosti su fuzzy-fikovane tako da ulaz ima tri funkcije pripadnosti: mala, srednja, velika (slika 3, 4 i 5). Izlaz, integrirani težinski faktori kriterijuma, ima „finiju rezoluciju“ sa pet funkcija pripadnosti: veoma mala, mala, srednja, velika i veoma velika (slika 6), a defuzzy-fikacijom se prevodi na realni broj iz intervala [0-100] koji se zatim normalizacijom prevodi u vrednost raspona [0-1], kako bi zbir svih težinskih faktora kriterijuma bio jednak „1“:

$$w_{j,INTEG} = \frac{w_{j,FI}}{\sum_{j=1}^m w_{j,FI}}, \quad 0 < w_{j,INTEG} < 1, \quad \sum_{j=1}^m w_{j,INTEG} = 1, \quad (1)$$

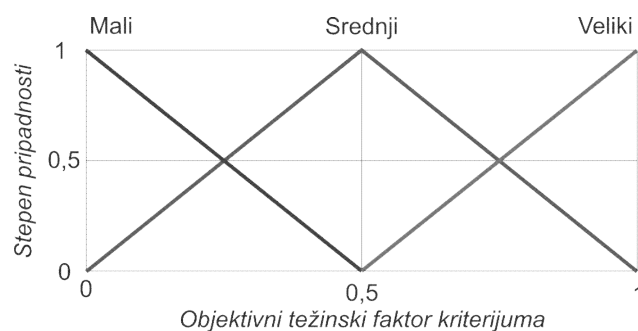
gde je:

$w_{j,INTEG}$ - integrirani težinski faktori kriterijuma sa rasponom [0-1],

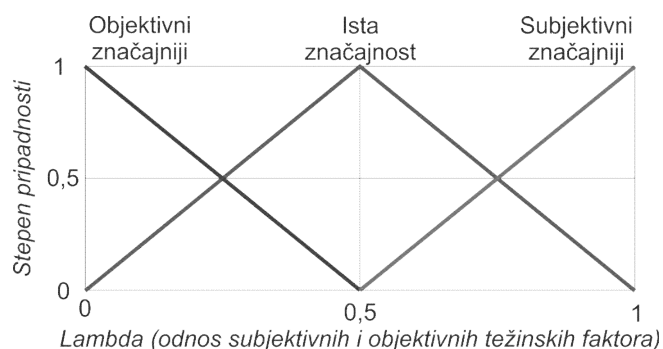
$w_{j,FI}$ - integrirani težinski faktori kao izlaz iz FIS-a sa rasponom [0-100].



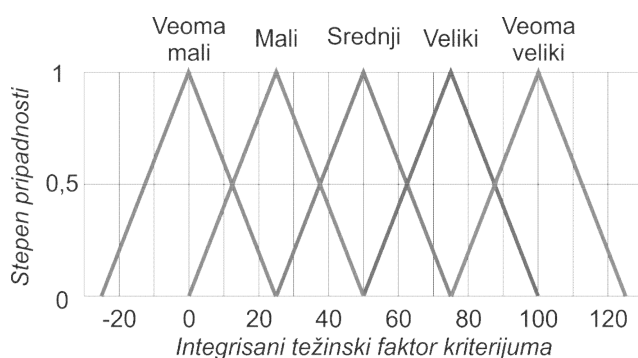
Slika 3. Funkcije pripadnosti za ulaz: Subjektivni težinski faktori



Slika 4. Funkcije pripadnosti za ulaz: Objektivni težinski faktori



Slika 5. Funkcije pripadnosti za ulaz: Lambda



Slika 6. Funkcije pripadnosti za izlaz: Integrirani težinski faktori

Vrednost lambda parametara određuje odnos značajnosti subjektivnih i objektivnih težinskih faktora. Ukoliko lambda ima vrednost „0“ objektivni težinski faktori kriterijuma su apsolutno značajniji, a vrednost subjektivnih se zanemaruje i obrnuto, ako je lambda „1“, subjektivni težinski faktori su značajniji, a objektivni se zanemaruju. Primenom lambda parametra korisnik može da iskaže svoju nesigurnost: male vrednosti lambda mogu koristiti korisnici sa manje iskustva, a veće vrednosti lambda odgovaraju ekspertima sa većim znanjem, iskustvom i korisnicima koji su sigurni u dodeljene subjektivne težinske faktore.

Pored osnovne mogućnosti integrisanja subjektivnih i objektivnih težinskih faktora, predloženi pristup za inteligentno integrisanje težinskih faktora može se primeniti i na integrisanje subjektivnih težinskih faktora dva korisnika, ili za integrisanje objektivnih težinskih faktora dobijenih primenom dve metode. U slučaju integrisanja subjektivnih težinskih faktora dva korisnika, lambda parametar određuje značajnost jednog korisnika u odnosu na drugog, tj. od kojeg korisnika su preferencije značajnije za formiranje integriranih težinskih faktora.

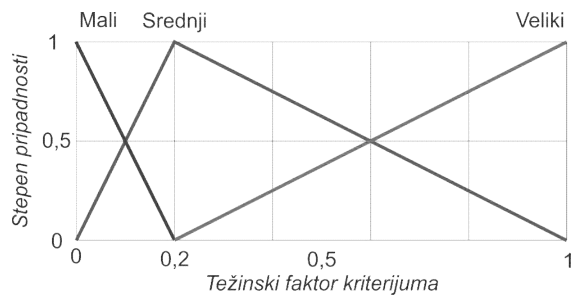
Inovativni pristup modeliranja težinskih faktora zasnovan je na mogućnosti da se ulazne funkcije pripadnosti za subjektivne i objektivne težinske faktore menjaju u zavisnosti od broja kriterijuma. Ovakav pristup zasnovan je na metodi srednjih vrednosti težinskih faktora (Jahan i Edwards, 2014) i činjenici da je najveća verovatnoća da će težinski faktor kriterijuma biti blizak srednjoj vrednosti: $w = 1/m$, gde je m broj kriterijuma. Prema prethodnom, ulazne funkcije pripadnosti za subjektivne i objektivne težinske faktore imaju stepen pripadnosti „1“ za vrednost kriterijuma „0“ – mali težinski faktor (jednačina 2), „ $1/m$ “ – srednji težinski faktor (jednačina 3) i „1“ veliki težinski faktor (jednačina 4). Tako, na primer, za 5 kriterijuma srednja vrednost težinskih faktora iznosi 0,2 i funkcije pripadnosti bi imale oblik kao na slici 7a, dok za 10 kriterijuma srednja vrednost težinskih faktora bi bila 0,1 i funkcije pripadnosti bi izgledale kao na slici 7b i tako dalje.

$$\mu_{mali}(x;0,0,b) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{b-x}{b}, & 0 \leq x \leq b \\ 0, & b \leq x \end{cases} \quad (2)$$

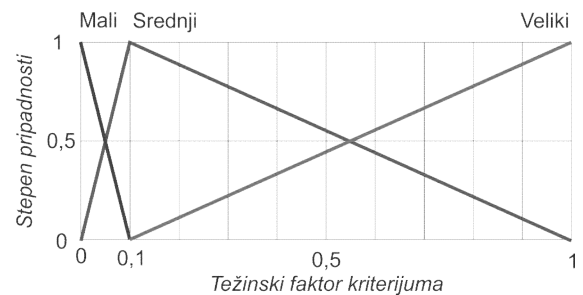
$$\mu_{srednji}(x;0,b,1) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{x}{b}, & 0 \leq x \leq b \\ \frac{1-x}{1-b}, & b \leq x \leq 1 \\ 0, & 1 \leq x \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu_{veliki}(x;b,1,1) = \begin{cases} 0, & x \leq b \\ \frac{x-b}{1-b}, & b \leq x \leq 1 \\ 0, & 1 \leq x \end{cases} \quad (4)$$

gde je $b = 1/m$, a m je broj kriterijuma



a) Funkcije pripadnosti za 5 kriterijuma;



b) Funkcije pripadnosti za 10 kriterijuma

Slika 7. Funkcije pripadnosti za subjektivne i objektivne težinske faktore za različit broj kriterijuma

Baza pravila modula za inteligentno integrisanje težinskih faktora data je tabelom 1. Mehanizam fuzzy zaključivanja u pod-modulu za inteligentno integrisanje težinskih faktora zasnovan je na Mamdani metodi koja koristi minimum operacije, tj. minimum preseka da bi se

formirala fuzzy funkcija. Rezultat implikacije primenom Mamdani metoda, primenom i -tog pravila, može se predstaviti (Zadeh, 1965):

Pi: ako x je A_i i y je B_i tada z je C_i

što je u opštem obliku predstavljeno jednačinom 5:

$$\mu_{C_i}(z) = w_i \wedge \mu_{C_i}(z), \quad (5)$$

gde je w_i intenzitet izvođenja i -tog pravila i predstavlja nivo uključenosti i -tog pravila u generisanju kontrolne akcije:

$$w_i = \mu_{A_i}(x) \wedge \mu_{B_i}(y). \quad (6)$$

Tabela 1. Baza pravila modula za inteligentno integrisanje težinskih faktora

Pravilo br.	Lambda	Subjektivni težinski faktori	Objektivni težinski faktori)	Integrirani težinski faktori
1.	Objektivni značajniji	-	Mali	Veoma mali
2.	Objektivni značajniji	-	Srednji	Srednji
3.	Objektivni značajniji	-	Veliki	Veoma veliki
4.	Ista značajnost	Mali	Mali	Veoma mali
5.	Ista značajnost	Mali	Srednji	Mali
6.	Ista značajnost	Mali	Veliki	Srednji
7.	Ista značajnost	Srednji	Mali	Mali
8.	Ista značajnost	Srednji	Srednji	Srednji
9.	Ista značajnost	Srednji	Veliki	Veliki
10.	Ista značajnost	Veliki	Mali	Srednji
11.	Ista značajnost	Veliki	Srednji	Veliki
12.	Ista značajnost	Veliki	Veliki	Veoma veliki
13.	Subjektivni značajniji	Mali	-	Veoma mali
14.	Subjektivni značajniji	Srednji	-	Srednji
15.	Subjektivni značajniji	Veliki	-	Veoma veliki

4.3 Softver za inteligentnu višekriterijumsku analizu proizvoda i procesa

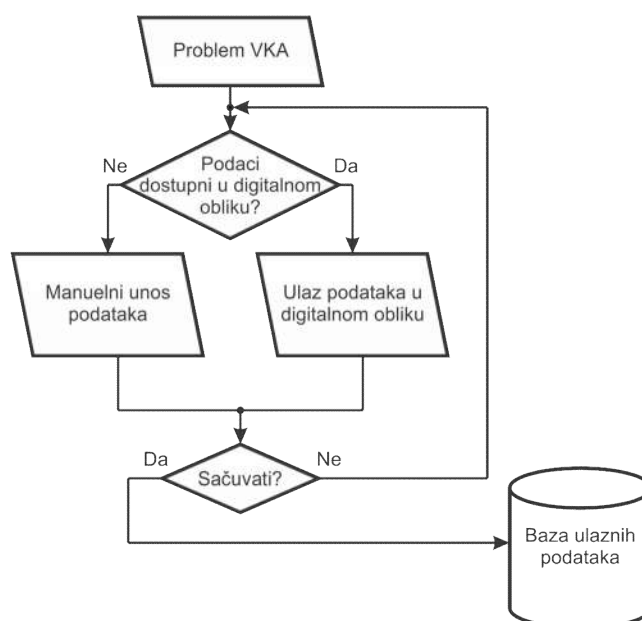
Realizovani softver nazvan IMCAT označava alat za inteligentnu višekriterijumsku analizu. IMCAT softver sastoji se iz glavnog dijalog okvira (slika 8) i pomoćnih dijalog okvira zasnovanih na četiri modula koji služe za unos ulaznih podataka, dodeljivanje težinskih faktora kriterijuma, višekriterijumsku analizu i za grafički prikaz rezultata. Glavni dijalog okvir sastoji se iz pet panela:

1. panel operativnih podataka,
2. panel za unos ulaznih podataka,
3. panel za dodeljivanje težinskih faktora kriterijuma,
4. panel za računanje ranga alternativa,
5. panel za grafički prikaz rezultata.

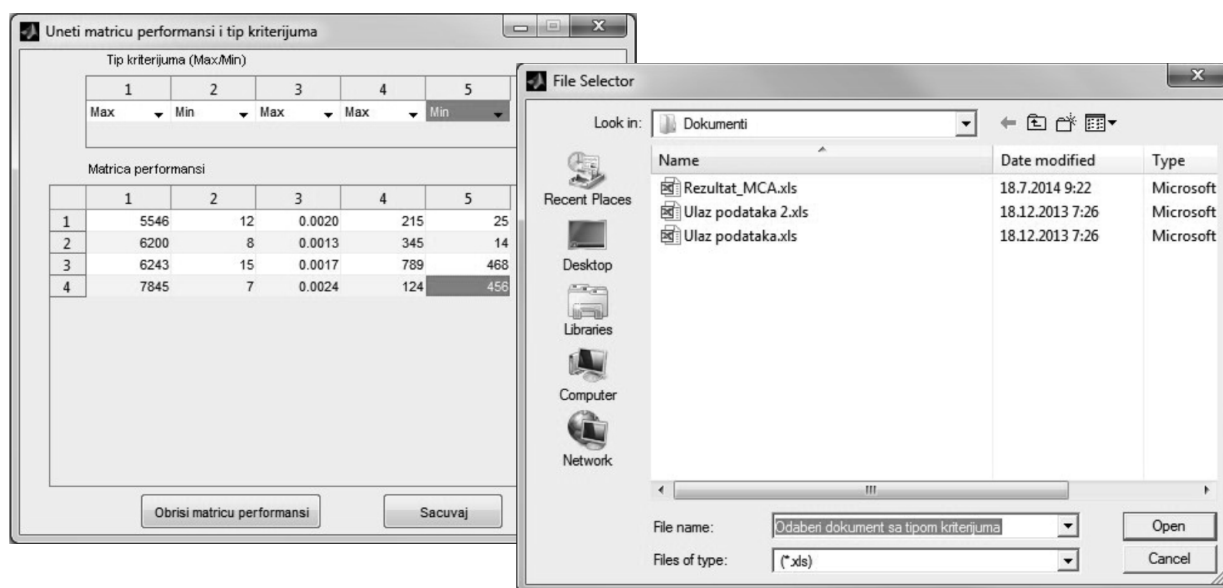
Slika 8. Glavni dijalog okvir razvijenog softvera IMCAT

4.4 Panel za unos podataka

Panel za unos podataka zasnovan je na modulu za unos podataka prikazanog algoritmom na slici 9. Panel za unos podataka omogućava da se matrica performansi sastavi direktno upisivanjem u IMCAT softveru (slika 10) ili da se uveze u obliku digitalnog zapisa (slika 11). Pored matrice performansi, pri unosu podataka potrebno je definisati i tip kriterijuma. Kod manualnog unosa pokretanjem opcije "Unos podataka" otvara se dijalog okvir prikazan na slici 10, čime je omogućeno direktno upisivanje vrednosti za matricu performansi, kao i odabir tipa kriterijuma („max“/ „min“). Kod unosa preko digitalnog zapisa (MS Excel dokumenta) potrebno je napraviti dva radna lista (engl. worksheet), gde se u jednom unosi matrica performansi, a u drugom tip kriterijuma.



Slika 9. Algoritam modula za unos podataka

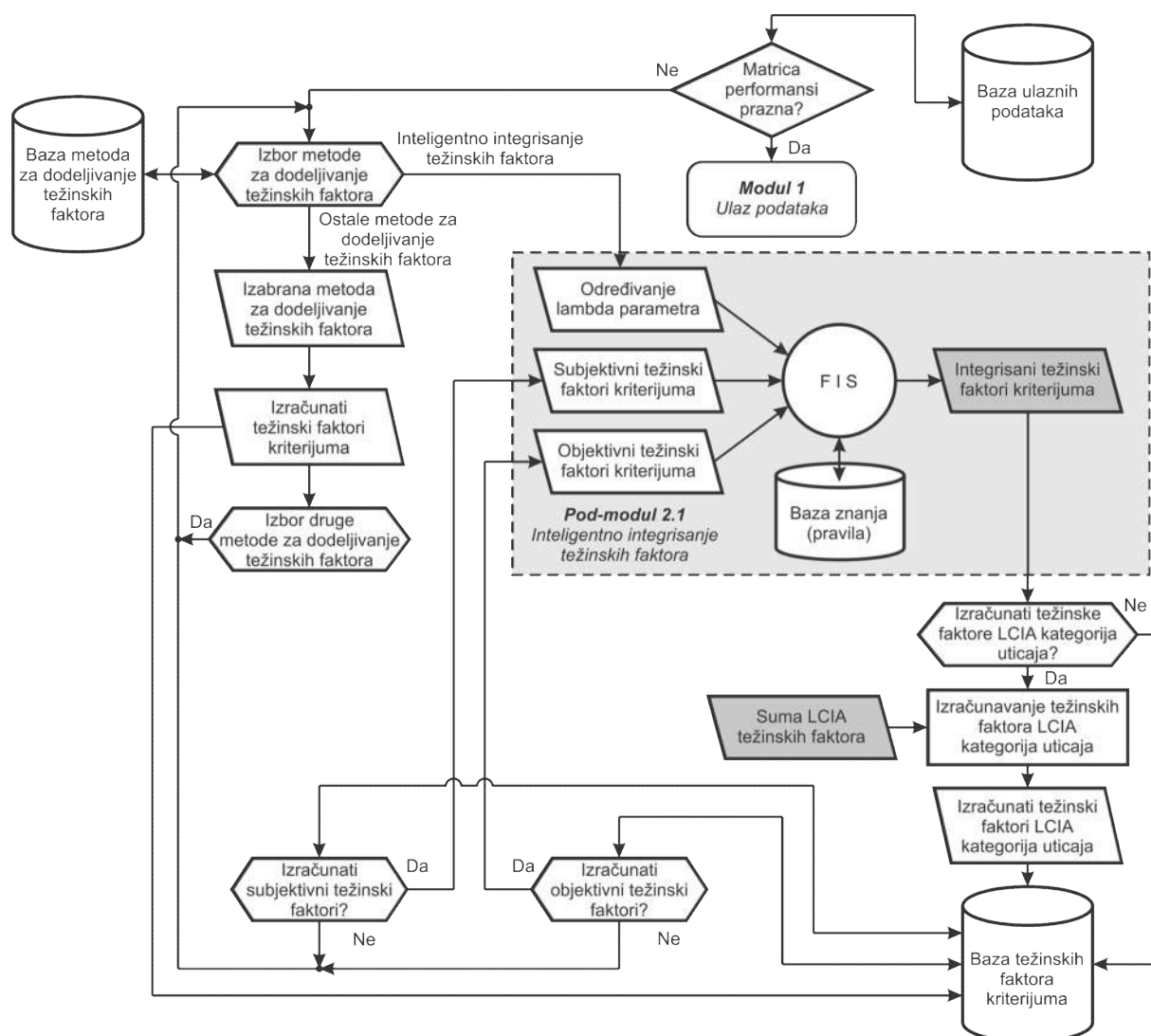


Slika 10. Manuelni unos matrice performansi i tipa kriterijuma (levi dijalog okvir) i unos matrice performansi i tipa kriterijuma preko digitalnog zapisa (desni dijalog okvir)

4.5 Panel za dodeljivanje težinskih faktora

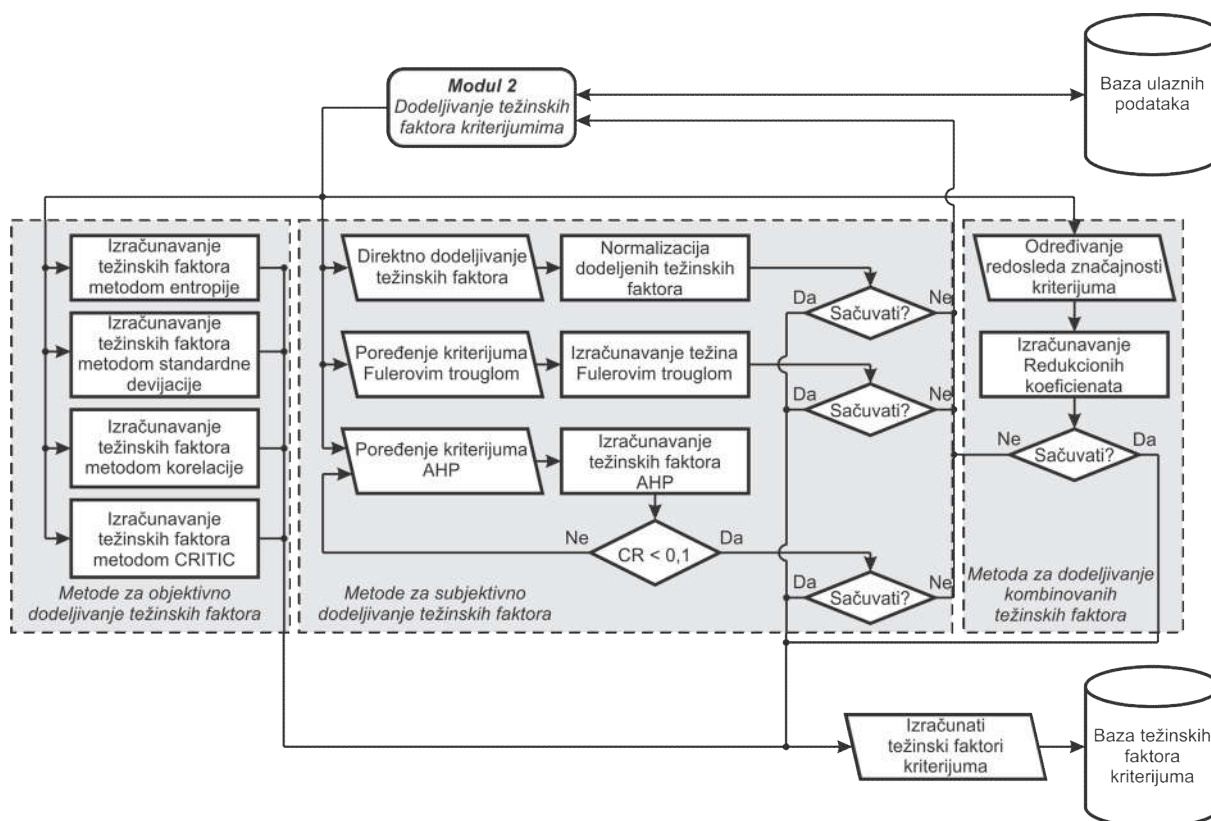
Panel za dodeljivanje težinskih faktora kriterijumima, zasnovan je na modulu za dodeljivanje težinskih faktora (slika 11) i omogućava da se izabere jedan od osam ponuđenih metoda za dodeljivanje težinskih faktora kriterijumima, iz baze metoda za dodeljivanje težinskih faktora (slika 12): Fulerov trougao, AHP, metoda entropije, metoda standardne devijacije, redukcioni koeficijenta, direktno dodeljivanje težinskih faktora, CRITIC i metoda korelacije. Od navedenih metoda Fulerov trougao, AHP i direktno dodeljivanje težinskih faktora jesu subjektivne, metoda

entropije, standardne devijacije, korelacije i CRITIC jesu objektivne metode, dok metoda redukcionih koeficijenata spada u kombinovani pristup za dodeljivanje težinskih faktora.



Slika 11. Algoritam modula za dodeljivanje težinskih faktora kriterijumima

Kod Fulerovog trougla (slika 13) kada se završi parcijalno-parno poređenje kriterijuma izračunavaju se težinski faktori kriterijuma. Kod primene AHP izračunavaju se težinski faktori kriterijuma i stepen konzistentnosti (slika 14). Stepen konzistentnosti pokazuje koliko je korisnik bio dosledan (konzistentan) pri sastavljanju matrice poređenja kriterijuma.



Slika 12. Algoritam baze metoda za dodeljivanje težinskih faktora

Fulerov trougao

Dodeljivanje težina kriterijuma primenom Fulerovog trougla

☐ više
☒ jednaki
☐ manje

Kriterijum broj **1** je je **jednaki** značajan u odnosu na kriterijum broj **4**

Ok

Matrica poredjenja kriterijuma - popunjava se samo deo iznad dijagonale

	1	2	3	4	5
1		0	1	1	0.5000
2			0	0	0
3				0	0.5000
4					0
5					

Izracunate težine kriterijuma

	1	2	3	4	5
1	0.2500	0.1667	0.1667	0.1667	0.2500

Obrisi sve Izracunaj težine Sacuvaj

Slika 13. Dijalog okvir za dodeljivanje težinskih faktora primenom Fulerovog trougla

AHP

Poređenje kriterijuma primenom AHP skale

Obeleži odnos značajnosti kriterijuma primenom AHP skale (1-9) ako je

kriterijum broj **1** značajniji, ili ako je kriterijum broj **5** značajniji

9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9

AHP matrica poređenja kriterijuma - popunjava se samo deo iznad jedinične dijagonale

	1	2	3	4	5
1	1	0.3333	0.2500	0.5000	0.3333
2		1	0.3333	0.2000	0.1250
3			1	0.2000	0.3333
4				1	0.1429
5					1

Izračunati težinski faktori kriterijuma

	1	2	3	4	5
1	0.0647	0.0663	0.1290	0.2255	0.5145

Stepen konzistentnosti **0.274401**

Slika 14. Dijalog okvir za AHP dodeljivanje težinskih faktora

Kod direktnog dodeljivanja težinskih faktora direktno se upisuju željene vrednosti težinskog faktora. Izborom opcije "Normalizuj" težinski faktori se svode na raspon vrednosti od „0“ do „1“, tako da im ukupan zbir bude jednak „1“ (slika 15).

Direktno dodeljivanje težinskih faktora kriterijuma

Dodeli težinske faktore kriterijumima

	1	2	3	4	5	6
1		30	45	15	5	25
2						
3						
4						
5						
6						

Normalizovani težinski faktori kriterijuma

	1	2	3	4	5	6
1	0.2143	0.3214	0.1071	0.0357	0.1786	0.1429

Slika 15. Dijalog okvir za direktno dodeljivanje težinskih faktora kriterijuma

Objektivne metode koriste se u slučaju da kada težinski faktori kriterijuma treba da budu dodeljeni prema vrednostima iz matrice performanse ili u slučaju odsustva donosioca odluke. Metode entropije, CRITIC, standardne devijacije i korelacije, zasnovane su na principu da kriterijumi čije vrednosti više odstupaju po alternativama imaju veću značajnost jer više utiču na konačni rezultat (rang alternativa) i obrnuto. Selektovanjem ovih metoda u glavnom dijalog okviru (slika 8) i pokretanjem opcije „Dodeli težine“, IMCAT izračunava objektivne težinske faktore kriterijuma bez potrebe za daljom interakcijom korisnika pri dodeljivanju težinskih faktora.

Metoda redukcionih koeficijenata je kombinacija subjektivnog i objektivnog dodeljivanja težinskih faktora kriterijuma. Najpre se subjektivno upisuje redosled kriterijuma prema značajnosti (slika 16), da bi se u narednom koraku metodom redukcionih koeficijenata odredili težinski faktori ostalih kriterijuma u opadajućem redosledu, od najviše do najmanje značajnog kriterijuma prema „jačini“ koeficijenta korelacije. Peporučljivo je da postoji više od 30 alternativa zbog efikasnosti koeficijenata korelacije i tačnosti dodeljivanja težinskih faktora.

Redukcioni koeficienti

Postaviti redosled kriterijuma prema znacajnosti

	1	2	3	4	5	6
1		3	2	4	5	1

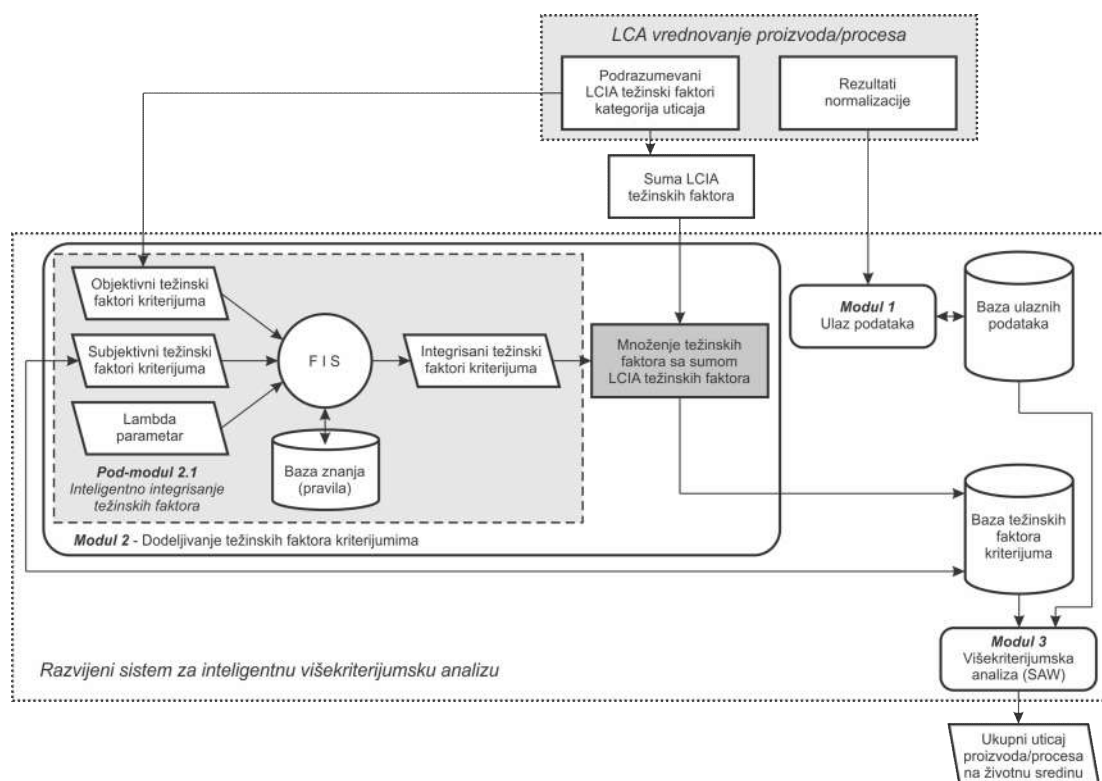
Redukcioni koeficienti

	1	2	3	4	5	6
1	0.0018	0.0394	0.7675	0.1161	0.0644	0.0108

Obrisi sve Izracunati Sacuvaj

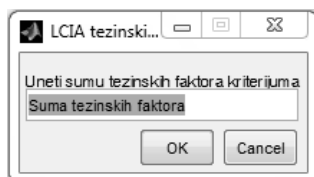
Slika 16. Unos redosleda značajnosti kriterijuma kod metode redukcionih koeficijenata

Ukoliko je potrebno izvršiti LCA vrednovanje proizvoda ili procesa, kriterijumi predstavljaju kategorije uticaja na životnu sredinu, a ulazna matrica performansi je sastavljena od rezultata LCIA (engl. Life Cycle Impact Assessment) normalizacije. IMCAT softver se u slučaju LCA koristi za dodeljivanje težinskih faktora kategorija uticaja i za izračunavanje ukupnog uticaja životnog ciklusa proizvoda/procesa na životnu sredinu (slika 17).



Slika 17. Primena razvijenog sistema za intilegentnu višekriterijumsku analizu sa metodom ocenjivanja životnog ciklusa

Za LCA vrednovanje u IMCAT softveru potrebno je da suma težinskih faktora kategorija uticaja bude u skladu sa metodom LCA, te pokretanjem opcije „LCIA težine“ unosi se vrednost sume težinskih faktora kategorija uticaja (slika 18). Nakon unete sume težinskih faktora, IMCAT množi sumu sa prethodno dodeljenim težinskim faktorima.



Slika 18. Unos sume LCIA težinskih faktora

Centralni deo modula za dodeljivanje težinskih faktora čini pod-modul za inteligentno integrisanje težinskih faktora. Primenom pod-modula za inteligentno integrisanje težinskih faktora omogućena je integracija dva skupa težinskih faktora. Da bi se težinski faktori mogli integrisati potrebno je prethodno izračunati težinske faktore primenom dve metode: jednom metodom se odrede objektivni, a drugom subjektivni težinski faktori. Nakon izračunatih i odabranih težinskih faktora, korisnik odabira značajnost jedne u odnosu na drugu metodu promenom lambda parametra u zavisnosti od toga koliko je siguran u svoje subjektivne preferencije (slika 19).

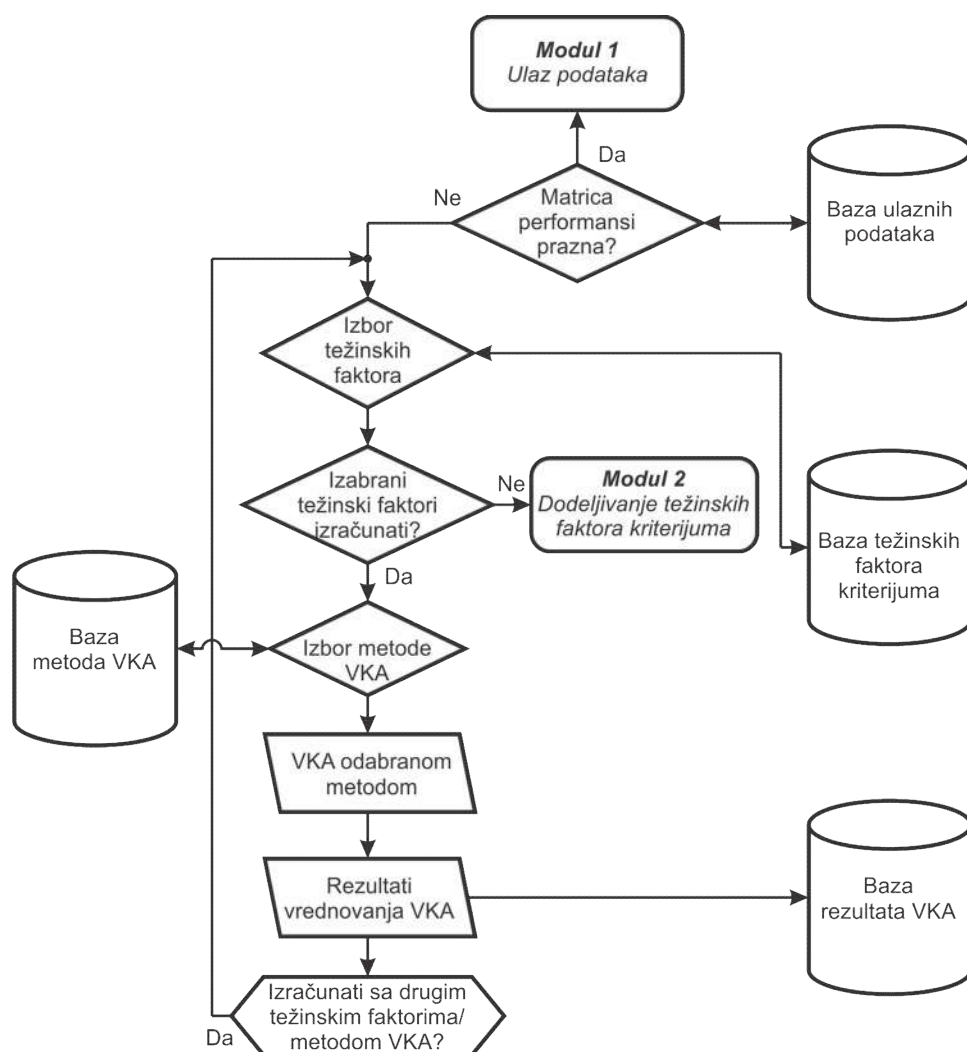


Slika 19. Dijalog okvir za inteligentno integrisanje težinskih faktora

Lambda parametar može imati vrednost između 0 i 1, gde vrednost 0 označava slučaj gde je prva metoda apsolutno značajnija, a 1 ako je druga metoda apsolutno značajnija. Male vrednosti lambda mogu koristiti korisnici sa manje iskustva, dok veće vrednosti lambda odgovaraju ekspertima sa većim znanjem, iskustvom i korisnicima koji su sigurni u dodeljene subjektivne težinske faktore. Na kraju, IMCAT integriše težinske faktore primenom fuzzy logike i dobijaju se integrisani težinski faktori.

4.6 Panel za izračunavanje ranga alternativa

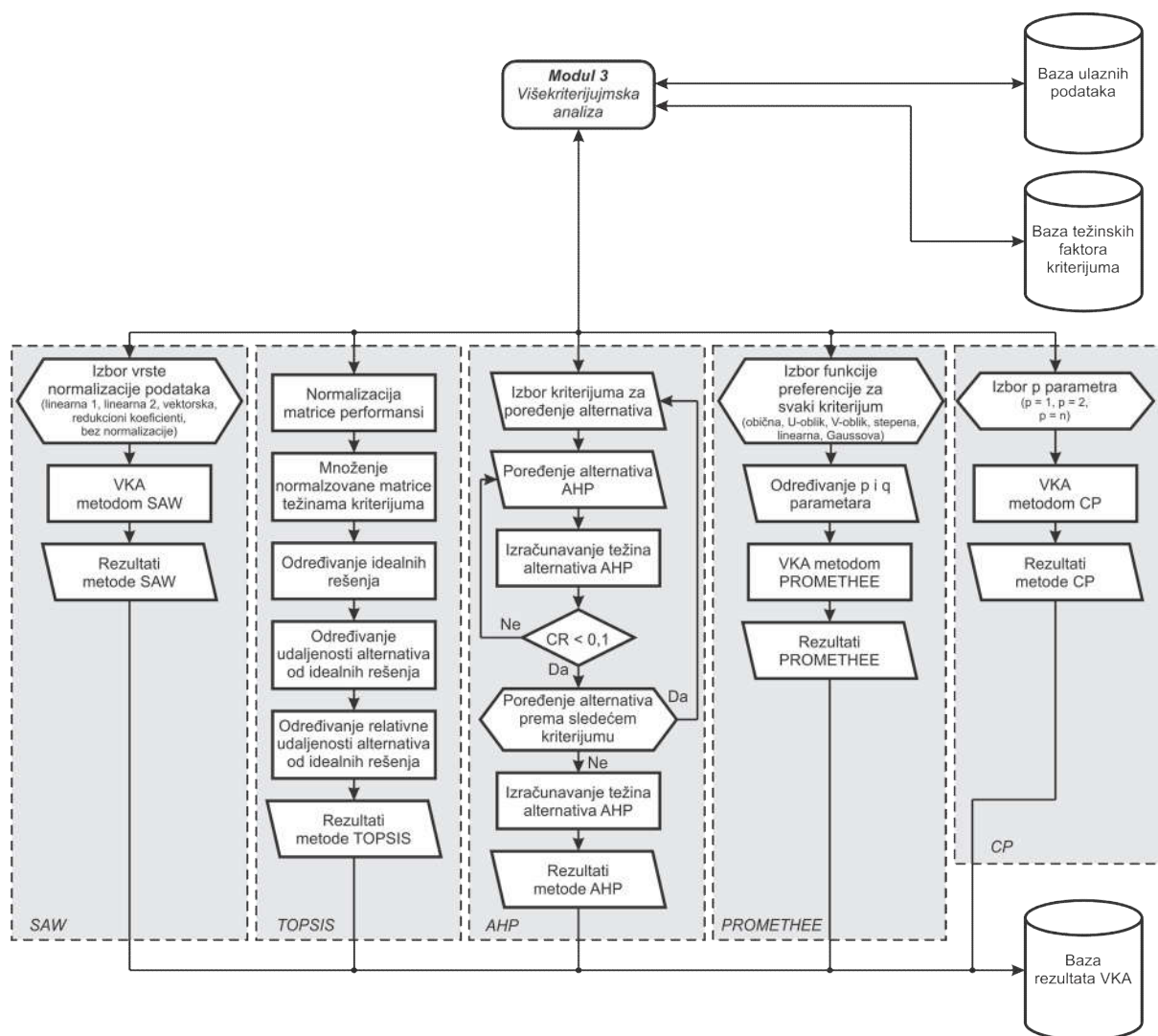
Panel za izračunavanje ranga alternativa zasnovan je na modulu za izračunavanje ranga alternativa prikazanom na slici 20.



Slika 20. Algoritam modula za izračunavanje ranga alternativa

Panel za izračunavanje ranga alternativa omogućava izbor jedne od devet ponuđenih metoda za izračunavanje težinskih faktora kriterijuma (Direktno, Fulerov trougao, AHP, metoda entropije, CRITIC, metoda korelacije, metoda standardne devijacije, redukcionni koeficijenti i integrisani težinski faktori) iz baze metoda za dodeljivanje težinskih faktora (slika 12) i jednu od pet metoda za višekriterijumsku analizu (SAW, CP, TOPSIS, AHP i PROMETHEE) iz baze metoda VKA (slika 21).

U slučaju LCA vrednovanja, predviđeno je da se koristi metoda SAW. Potrebno je izabrati opciju „Bez normalizacije“ kod izbora vrste normalizacije. Dodatna normalizacija nije potrebna jer unesena matrica performansi predstavlja rezultate normalizacije LCIA i koji se mogu dalje množiti sa LCIA težinskim faktorima kategorija uticaja kako bi se dobio ukupan uticaj životnog ciklusa na životnu sredinu. Specifičnost primene metode SAW za LCA vrednovanje opisana je u narednom tekstu. Kod tipičnog problema VKA tip kriterijuma može biti „max“ ili „min“ što se podrazumeva za sve vrednosti jednog kriterijuma. Međutim, kod LCA normalizacije uobičajeno je da se pozitivan uticaj na životnu sredinu označava predznakom minus, dok pozitivan uticaj jedne kategorije uticaja za jedan proizvod/proces može biti negativan prilikom vrednovanja drugog proizvoda/procesa (kao što je slučaj u PROMETHEE II metodi).



Slika 21. Algoritam baze metoda VKA

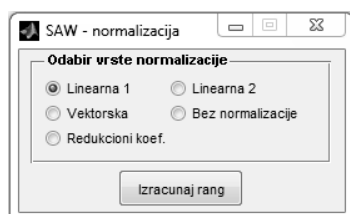
Izborom metode SAW otvara se pomoćni dijalog okvir (slika 22a) u kojem se bira željena vrsta normalizacije matrice performansi: linearna 1, linearna 2, vektorska, redukциони koeficijenti, i bez normalizacije nakon čega se izračunava rang alternativa. Ako je sa A označena matrica performansi sa elementima a_{ij} , tada su tabelom 2 prikazane jednačine za izračunavanje b_{ij} elemenata normalizovane matrice B prethodno spomenutih pet vrsta normalizacije koje se koriste u IMCAT softveru.

Prilikom izračunavanja metodom CP, pomoćni dijalog okvir omogućava izbor/unos vrednosti p-parametra (slika 22b). Kod metode TOPSIS nema dodatne interakcije i IMCAT direktno izračunava rang alternativa.

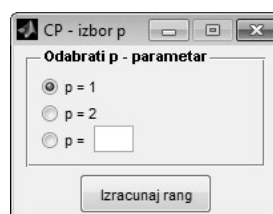
Izborom metode PROMETHEE otvara se pomoćni dijalog okvir (slika 23), gde se bira jedna od šest funkcija preferencije (obična, U-oblik, V-oblik, stepena, linearna i Gaussova) i unose se q – parametar (granica indiferentnosti) i p – parametar (granica preferencije) za svaki kriterijum.

Tabela 2. Vrste normalizacije koje se mogu odabrati u IMCAT softveru za metodu SAW

Normalizacija	Za „max“ tip kriterijuma	Za „min“ tip kriterijuma
Linearna 1	$b_{ij} = \frac{a_{ij} - a_j^-}{a_j^* - a_j^-}$	$b_{ij} = 1 - \frac{a_{ij} - a_j^-}{a_j^* - a_j^-}$
Linearna 2	$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}$	$b_{ij} = 1 - \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}$
Vektorska	$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n a_{ij}^2}}$	$b_{ij} = 1 - \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n a_{ij}^2}}$
Redukcioni koeficijenti	$b_{ij} = \frac{a_{ij} - a_j^-}{\sigma_j}$	$b_{ij} = \frac{a_j^- - a_{ij}}{\sigma_j}$
Bez normalizacije	$b_{ij} = a_{ij}$	$b_{ij} = -a_{ij}$
gde je:	$a^* - \text{idealno rešenje (maksimalna vrednost) } j\text{-kriterijuma;}$ $a^- - \text{anti-idealno rešenje (minimalna vrednost) } j\text{-kriterijuma;}$ $i = 1, 2, \dots, n.; j = 1, 2, \dots, m.;$ $\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_{ij} - \bar{a}_j)^2}{n}}$ - standardna devijacija j-kriterijuma.	

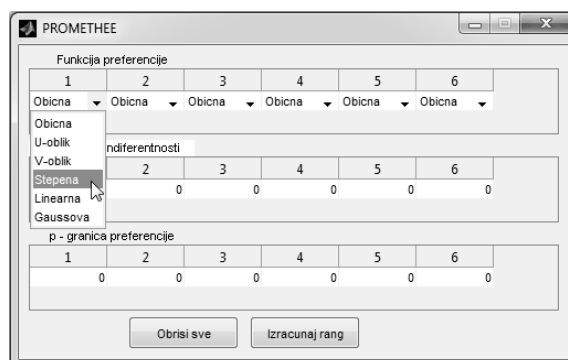


a) Izbor vrste normalizacije kod SAW;



b) Izbor p – parametra kod CP

Slika 22. Pomoćni dijalog okviri za SAW i CP metodu



Slika 23. Dijalog okvir za PROMETHEE i izbor funkcije preferencije za svaki kriterijum

Izborom AHP otvara se pomoćni dijalog okvir (slika 24) za poređenje alternativa u zavisnosti od svakog kriterijuma. Kod poređenja alternativa u AHP prvo se izabere broj kriterijuma prema kojem će se porediti alternative, a nakon toga se pokretanjem opcije „AHP poređenje“ aktivira pomoćni dijalog okvir u kojem se vrši AHP poređenje alternativa. Rezultat poređenja se upisuje u tabelu dijaloga okvira „AHP – poređenje alternativa“ sve dok se ne popuni cela tabela, čime je završeno vrednovanje AHP.

AHP - poređenje alternativa

Upisati broj kriterijuma prema kojem se porede alternative: 3

AHP poređenje

	1	2	3	4
1	0.6370	0.1396	0.1884	0
2	0.2583	0.3325	0.0810	0
3	0.1047	0.5278	0.7306	0

AHP poređenje alternativa

Poređenje alternativa primenom AHP skale

Obeleži odnos značajnosti alternativa primenom AHP skale (1-9) ako je

alternativa 2 značajnija, ili ako je alternativa 3 značajnija

9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Ok

AHP matrica poređenja alternativa - popunjava se samo deo iznad jedinične dijagonale

	1	2	3
1	1	3	0.2000
2	0.3333	1	0.1429
3	5	7	1

Izračunate težine poređenih alternativa

	1	2	3
1	0.1884	0.0810	0.7306

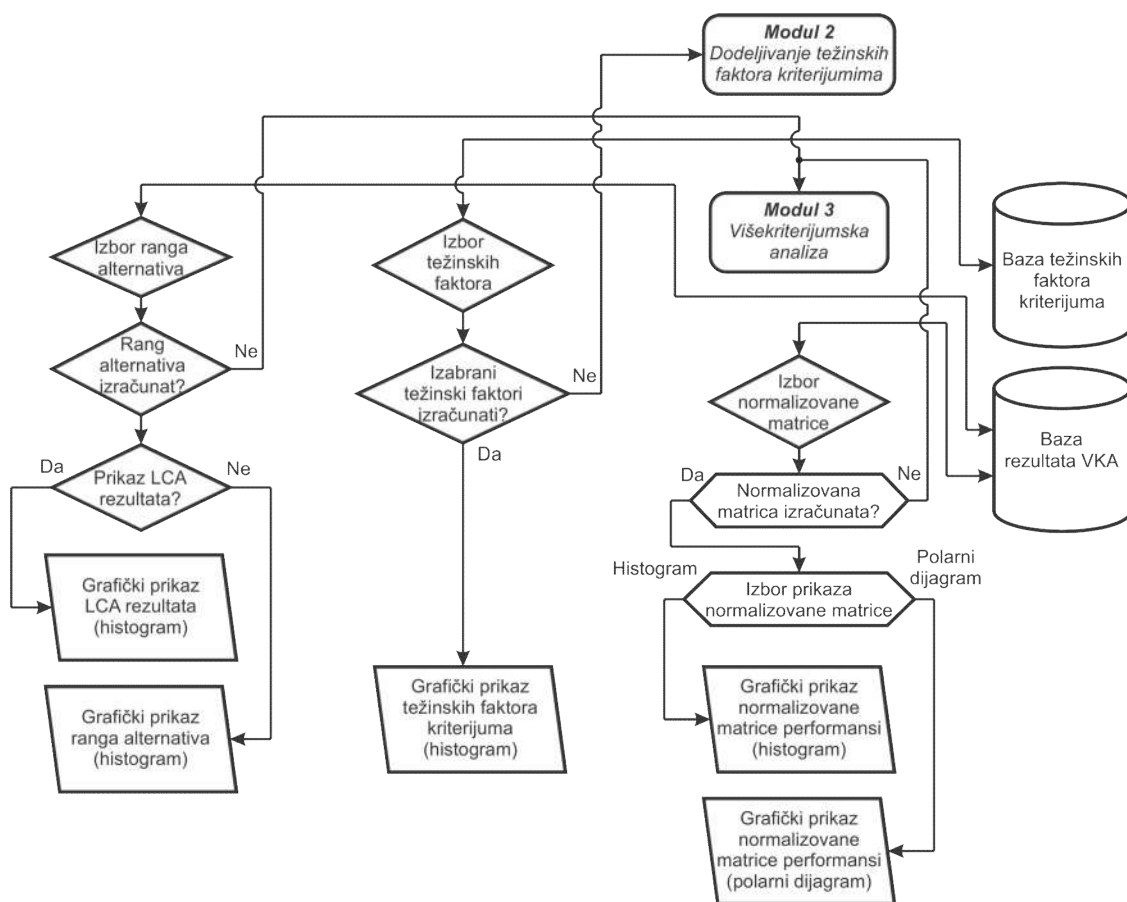
Obrisi sve Izračunaj težine Sacuvaj

Stepen konzistentnosti: 0.0623906

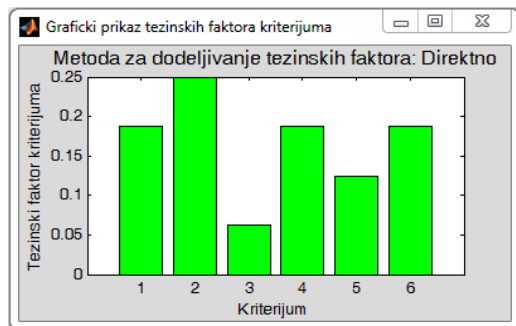
Slika 24. Dijalog okviri za poređenje alternativa AHP

4.7 Panel za grafički prikaz

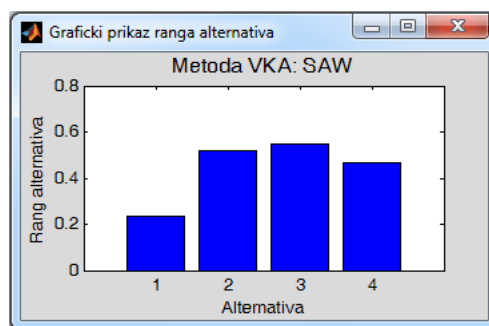
Panel za grafički prikaz zasnovan je na modulu za grafički prikaz (slika 25), čime je omogućeno da IMCAT softver pruža grafički prikaz težinskih faktora kriterijuma i ranga alternativa pomoću dijagrama (slika 26). Iznad histograma (slika 26) IMCAT generiše naziv metode za dodeljivanje težinskih faktora. Pre generisanja grafičkih prikaza modul za grafički prikaz proverava da li postoje i da li su izračunati svi potrebni podaci iz operativnih baza podataka.



Slika 25. Algoritam modula za grafički prikaz



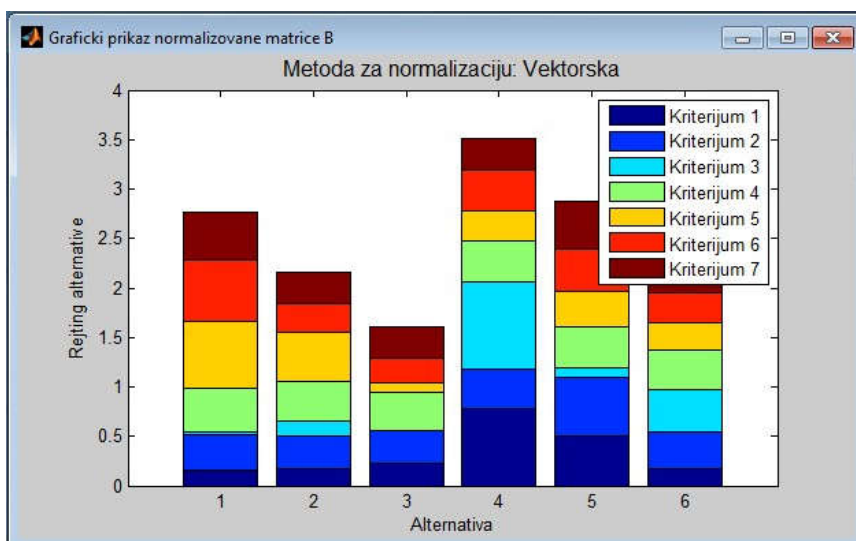
a) Težinski faktori kriterijuma;



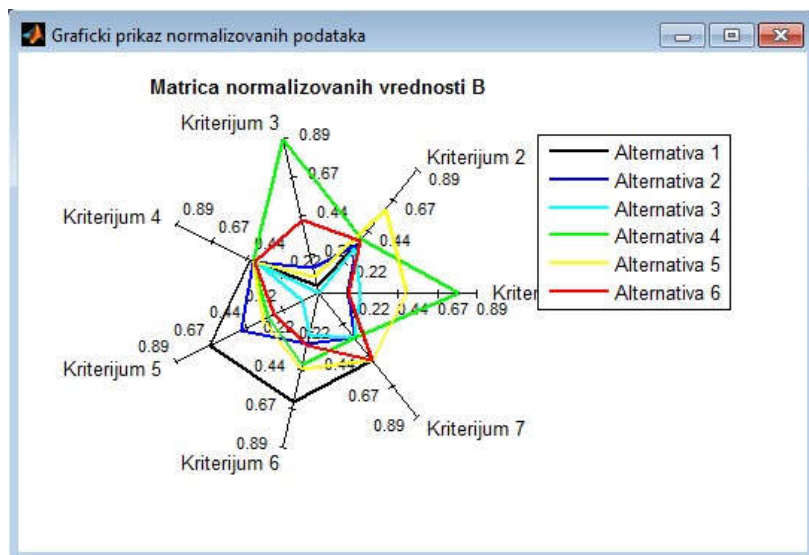
b) Rang alternativa

Slika 26. Grafički prikaz težinskih faktora kriterijuma i ranga alternativa

Normalizovana matrica može se prikazati histogramom (slika 27) i polarnim dijagramom (slika 28). Uslov za prikaz normalizovane matrice polarnim dijagramom je da minimalan broj kriterijuma bude 3. Prikaz normalizovane matrice je značajan zbog toga što ovim prikazom može razmotriti stanje u kojem težinski faktori nemaju uticaj na konačni rezultat, tj. rang alternativa bez primene težinskih faktora.

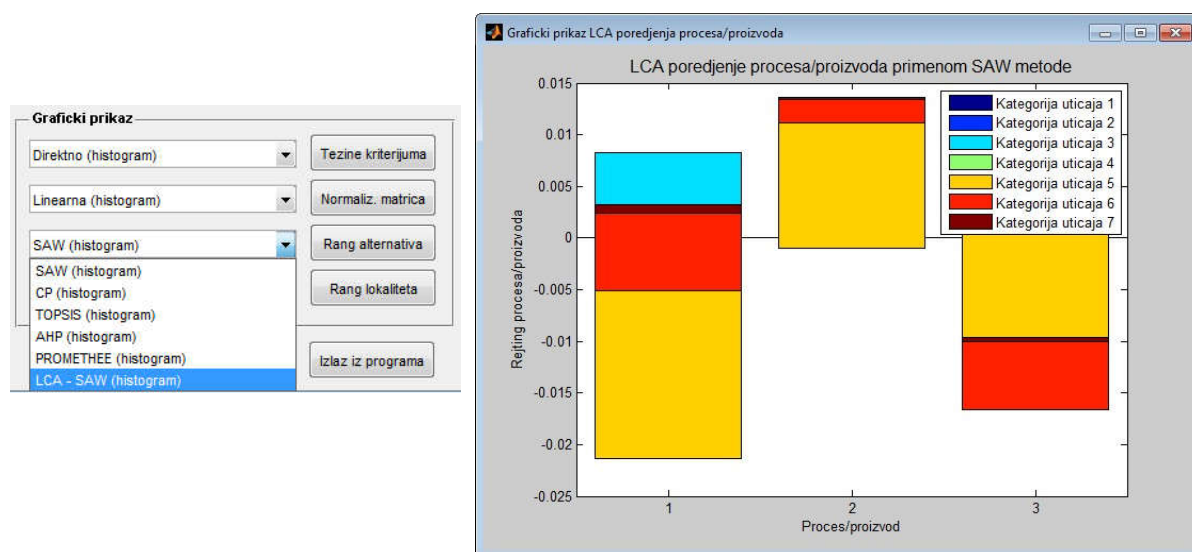


Slika 27. Grafički prikaz normalizovane matrice histogramom



Slika 28. Grafički prikaz normalizovane matrice polarnim dijagramom

Za potrebe prikaza rezultata LCA iz padajuće liste panela za grafički prikaz potrebno je odabrati „LCA-SAW (histogram)“, slika 29. „LCA-SAW (histogram)“ za razliku od običnog prikaza ranga alternativa, prikazuje udeo svake kategorije uticaja u ukupnom uticaju procesa/proizvoda na životnu sredinu i može imati i negativne vrednosti koje ukazuju na pozitivan uticaj na životnu sredinu.



Slika 29. Izbor grafičkog prikaza rezultata LCA histogramom

5 ZAKLJUČAK

Na osnovu postojećih softvera za VKA, u ovom tehničkom rešenju, razvijen je model i softver za inteligentnu VKA proizvoda i procesa. Model za inteligentnu VKA proizvoda i procesa karakteriše inovativni pristup za dodeljivanje težinskih faktora i integrisanje subjektivnih i objektivnih težinskih faktora, a u okviru njega i inovativni pristup za modeliranje težinskih faktora kriterijuma.

Razvijeni softver je intuitivan, poseduje fleksibilni korisnički interfejs i mogućnosti izbora i kombinovanja različitih vrsta metoda VKA, primeni istih kod LCA. Omogućena je analiza osetljivosti rezultata promenom lambda parametra koji utiče na odnos dva odabrana skupa težinskih faktora. Razmena podataka sa dokumentima u digitalnom zapisu obezbeđuje odgovarajući ulaz/izlaz podataka i rezultata vrednovanja VKA. Korisničko uputstvo u obliku dokumenta sa opisom IMCAT softvera pruža pomoć korisnicima kojima je potrebno detaljnije objašnjenje pojedinih funkcija softvera, kao i pomoć novim korisnicima koji se upoznaju sa osnovama IMCAT softvera. Softver tehničkog rešenja je uspešno implementiran i verifikovan kod korisnika tehničkog rešenja, Wisil M iz Novog Beograda.

6 LITERATURA

- 1000Minds (2015). <https://www.1000minds.com/> (datum pristupa 03.09.2015.)
- Agarski, B.; Budak, I.; Kosec, B.; Hodolič, J. (2012a). An Approach to Multi-criteria Environmental Evaluation with Multiple Weight Assignment. *Environmental Modeling & Assessment*, 17(3), pp. 256-266., ISSN: 1420-2026.
- Agarski, B.; Kljajin, M.; Budak, I.; Tadić, B.; Vukelić, Đ.; Bosak, M.; Hodolič, J. (2012b). Application of multi-criteria assessment in evaluation of motor vehicles' environmental performances, *Tehnički vjesnik - Technical Gazette*, 19(2), pp. 221-226, ISSN: 1330-3651.
- Agarski, B.; Budak, I.; Vukelić, Đ.; Kuric, I.; Hodolič, J. (2014). Weighting of impact categories and sensitivity analysis in life cycle assessment, 15. International Conference: Automation in

- Production Planning and Manufacturing, Žilina: Faculty of Mechanical Engineering, 19-21 Maj, 2014, pp. 9-14, ISBN: 978-80-5540-878-1.
- Agarski, B.; Budak, I.; Vukelić, Đ.; Hodolić, J. (2015) Fuzzy multi-criteria-based impact category weighting in life cycle assessment, *Journal of Cleaner Production*, doi:10.1016/j.jclepro.2015.09.077, ISSN: 0959-6526.
- Analytica (2015). <http://www.lumina.com/> (datum pristupa 03.09.2015.)
- Bana e Costa C.A.; CorrAa E.C.; De Corte J.-M.; Vansnick J.-C. (2002). Facilitating bid evaluation in public call for tenders: a socio-technical approach, *The International Journal of Management Science*, 30(3), pp. 227-242.
- Behzadian, M.; Kazemzadeh, R. B.; Albadvi, A.; Aghdasi, M. (2010). PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 200, pp. 198-215, ISSN: 0377-2217.
- Brans, J.P.. (1982). *Lingenierie de la decision. Elaboration dinstruments daide a la decision. Methode PROMETHEE. Laide a la Decision: Nature, Instrument s et Perspectives Davenir.* Presses de Universite Laval, Qu ebec, Canada, pp. 183–214.
- CriteriumDecisionPlus (2015). <http://www.infoharvest.com/ihroot/infoharv/products.asp#CDP30> (datum pristupa 03.09.2015.)
- Diakoulaki, D.; Mavrotas, G.; Papayannakis, L. (1995) Determining objective weights in multiple criteria problems: the CRITIC method. *Computers & Operational Research*, 22(7), pp. 763-70, ISSN: 0305-0548.
- Diviz (2015). <http://www.decision-deck.org/diviz/index.html> (datum pristupa 03.09.2015.)
- ExpertChoice (2015). <http://expertchoice.com/> (datum pristupa 03.09.2015.)
- Figueira, J.; Greco, S.; Ehrgott, M. (editori) (2005). *Multycriteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, Springer Science + Business Media, Inc., Boston. ISBN: 0-387-23067-X.
- Jahan, A.; Edwards, K. L. (2013). Weighting of dependent and target-based criteria for optimal decision-making in materials selection process: Biomedical applications. *Materials and Design*, 49, pp. 1000–1008, ISSN: 0261-3069.
- Jahan, A.; Edwards, K. L. (2014). *Multi-criteria decision analysis for supporting the selection of engineering materials in product design*, Elsevier, ISBN: 978-0-08-099386-7.
- Hansen, P.; Ombler, F. (2008). A new method for scoring additive multi-attribute value models using pairwise rankings of alternatives. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 15(3–4): 87.
- Huang, I. B.; Keisler, J.; Linkov, I. (2011). Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends. *Science of the Total Environment*, 409(19), pp. 3578–3594, ISSN: 0048-9697.
- Ishizaka, A.; Nemery, P. (2013) *Multi-criteria Decision Analysis: Methods and Software*, Wiley, ISBN: 978-1-119-97407-9.
- M-MACHBET (2015). <http://www.m-macbeth.com/en/m-home.html> (datum pristupa 03.09.2015.)
- MakeItRational (2015). <http://makeitrational.com/> (datum pristupa 03.09.2015.)
- Mathworks (2015). <http://www.mathworks.com/help/index.html>, (datum pristupa 25.08.2015.)
- Meyer, P.; Bigaret, S. (2010). Designing, executing and sharing MCDA workflows via the diviz software and the XMCDa web services, 72nd meeting of the European Working Group “Multiple Criteria Decision Aiding”, 07-09 october 2010, Paris, France.
- Milićević, M.; Župac, G. (2012a). Objektivni pristup određivanju težina kriterijuma, *Vojnotehnički glasnik*, 60(1), pp. 39-56, ISSN: 0042-8469.
- Munda, G. (1995). *Multicriteria Evaluation in a Fuzzy Environment*. Physica Verlag, Heidelberg.

- Mustajoki, J.; Marttunen, M. (2013) Comparison of Multi-Criteria Decision Analytical Software, IMPERIA Project Report, Finnish Environment Institute.
- Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, New York.
- Srđević, B.; Srđević, Z.; Suvočarev, K. (2007). Kompjuterski alati i sistemi za podršku odlučivanju u poljoprivredi, Letopis naučnih radova, 1, pp. 55-64, ISSN: 0546-8264, UDK: 634.51:65.012.123.
- Triantaphyllou, E. (2000). Multi-Criteria Decision Making: A Comparative Study. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers (Springer). p. 320. ISBN 0-7923-6607-7.
- Zadeh L. (1965). Fuzzy sets. Information and Control; 8:338-53.
- VisualPROMETHEE (2015). <http://www.promethee-gaia.net/software.html> (datum pristupa 03.09.2015.)
- Zeleny, M. (1982). Multiple Criteria Decision Making. Mc-Graw-Hill, New York, ISBN: 978-0670727957.



УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централа: 021 485 2000
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763
Телефакс: 021 458-133; e-mail: ftndean@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ
СИСТЕМ
МЕНАџМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: _____
Ваш број: _____
Датум: 2015-03-10

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду, на 45. редовној седници одржаној дана 02.09.2015. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

**Тачка 10.1. Верификација нових техничких решења
и именовање рецензента**

Тачка 12.1.2: У циљу верификације новог техничког решења усвајају се рецензенти:

- Проф. др Славко Арсовски, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу
- Проф. др Горан Вујић, ФТН НС
- Проф. др Живана Јаковљевић, Машински факултет у Београду

Назив техничког решења:

**ПРОГРАМСКИ СИСТЕМ ЗА ИНТЕЛИГЕНТНУ ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКУ
АНАЛИЗУ ПРОИЗВОДА И ПРОЦЕСА**

Аутори техничког решења: Борис Агарски, Игор Будак, Бојан Срђевић, Ђорђе Вукелић,
Милана Илић, Јанко Ходолич.

- непотребно изостављено -

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава
Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник

Декан


Проф. др Раде Дорословачки

Одлуком Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду на 45. седници одржаној дана 02.09.2015. године именован сам за рецензента техничког решења **"Програмски систем за интелигентну вишекритеријумску анализу производа и процеса"** аутора: др Борис Агарског, др Игор Будака, др Бојан Срђевића, др Ђорђе Вукелића, маг. инж. Милане Илић и др Јанко Ходолича.

На основу предлога поменутог техничког решења подносим следећи

ИЗВЕШТАЈ

Техничко решење "Програмски систем за интелигентну вишекритеријумску анализу производа и процеса", аутора др Борис Агарског, др Игор Будака, др Бојан Срђевића, др Ђорђе Вукелића, маг. инж. Милане Илић и др Јанко Ходолича, реализованог 2015. године, приказано је на 26 страница А4 формата, које садрже 29 слика, а груписано у укупно шест поглавља:

1. Опис проблема који се решава техничким решењем,
2. Приказ и анализа постојећих решења проблема,
3. Суштина техничког решења,
4. Детаљан опис техничког решења (укључујући и пратеће илустрације),
5. Закључак,
6. Литература.

Техничко решење припада области техничко-технолошких наука и научној дисциплини машинског инжењерства.

Наручилац и корисник техничког решења је Wisil М, Нехруова 44/4, 11070 Нови Београд, Србија, Република Србија.

Техничко решење је реализовано у оквиру пројекта "Истраживање и развој метода моделирања и поступака израде денталних надокнада применом савремених технологија и рачунаром подржаних система" (Број пројекта ТР 35025, Програм истраживања у области технолошког развоја за период 2011.- 2015., Технолошка област - Машинство, Руководилац пројекта: Проф. др Јанко Ходолич).

Решења на бази којих је развијено ово техничко решење, као и резултати верификације истог, публиковани су у радовима:

1. Agarski, B.; Budak, I.; Kosec, B.; Hodolič, J. (2012a). An Approach to Multi-criteria Environmental Evaluation with Multiple Weight Assignment. *Environmental Modeling & Assessment*, 17(3), pp. 256-266., ISSN: 1420-2026.
2. Agarski, B.; Kljajin, M.; Budak, I.; Tadić, B.; Vukelić, Đ.; Bosak, M.; Hodolič, J. (2012b). Application of multi-criteria assessment in evaluation of motor vehicles' environmental performances, *Tehnički vjesnik - Technical Gazette*, 19(2), pp. 221-226, ISSN: 1330-3651.
3. Agarski, B.; Budak, I.; Vukelić, Đ.; Kuric, I.; Hodolič, J. (2014). Weighting of impact categories and sensitivity analysis in life cycle assessment, 15. International Conference: Automation in Production Planning and Manufacturing, Žilina: Faculty of Mechanical Engineering, 19-21 Maj, 2014, pp. 9-14, ISBN: 978-80-5540-878-1.
4. Agarski, B.; Budak, I.; Vukelić, Đ.; Hodolič, J. (2015) Fuzzy multi-criteria-based impact category weighting in life cycle assessment, *Journal of Cleaner Production*, doi:10.1016/j.jclepro.2015.09.077, ISSN: 0959-6526.

МИШЉЕЊЕ И ЗАКЉУЧАК

На основу анализе техничког решења "Програмски систем за интелигентну вишекритеријумску анализу производа и процеса" аутора др Борис Агарског, др Игор Будака, др Бојан Срђевића, др Ђорђе Вукелића, маст. инж. Милане Илић и др Јанко Ходолича, могу се извести следећи закључци:

- Документација техничког решења јасно приказује комплетну структуру техничког решења – опис проблема, даје детаљни осврт на стање постојећих решења проблема, садржи одговарајући приказ теоријских основа на којима је засновано техничко решење и посебно детаљно приказује структуру и примену реализованог техничког решења.
- Предложено техничко решење "Програмски систем за интелигентну вишекритеријумску анализу производа и процеса" представља ефикасан алат за решавање проблема вишекритеријумске анализе у области техничко-технолошких наука и машинског инжењерства.
- Техничко решење карактерише оригиналан научни допринос који има практичну димензију будући да кроз увођење ламбда параметра, омогућава се интегрисање субјективних и објективних тежинских фактора применом fuzzy логике, као и доношење одлука и корисницима који не поседују одговарајућа специфична теоријска знања.
- Развијени софтвер карактерише модуларна структура – у укупно четири модула уграђено је 14 алата за вишекритеријумску анализу, чиме је омогућена његова флексибилнија и универзалнија примена. Такође, модуле и интегрисане алате, у оквиру модула, карактерише итеративност примена, чиме је додатно унапређена корисничка флексибилност.
- Кориснички интерфејс софтвера и његових модула је логично осмишљен и омогућава кориснику једноставно сналажење са интегрисаним алатима, а такође обезбеђује и адекватну графичку интерпретацију резултата.

На основу претходног, са задовољством предлажем да се "Програмски систем за интелигентну вишекритеријумску анализу производа и процеса" аутора др Борис Агарског, др Игор Будака, др Бојан Срђевића, др Ђорђе Вукелића, маст. инж. Милане Илић и др Јанко Ходолича прихвати као нова метода и у складу са Правилником о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача ("Службени гласник РС", број 38/2008) класификује као резултат **"М85 Прототип, нова метода, софтвер, стандардизован или атестиран инструмент"**.

30.11.2015. год. Крагујевац

др Славко Арсовски, редовни професор
Универзитет у Крагујевцу, Факултет
инжењерских наука



Одлуком Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду на 45. седници одржаној дана 02.09.2015. године именован сам за рецензента техничког решења под називом:

"Програмски систем за интелигентну вишекритеријумску анализу производа и процеса"

Аутори техничког решења су: др Борис Агарски, др Игор Будак, др Бојан Срђевић, др Ђорђе Вукелић, маг. инж. Милана Илић и др Јанко Ходолич.

На основу приложене документације техничког решења подносим следећи

ИЗВЕШТАЈ

Документација техничког решења "Програмски систем за интелигентну вишекритеријумску анализу производа и процеса", реализованог 2015. године, се састоји из следећих поглавља:

1. Опис проблема који се решава техничким решењем,
2. Приказ и анализа постојећих решења проблема,
3. Суштина техничког решења,
4. Детаљан опис техничког решења (укључујући и пратеће илустрације),
5. Закључак,
6. Литература.

Аутори техничког решења су урадили текстуалну документацију на 26 страна, укључујући илустрације (укупно 29 слика).

Документација техничког решења садржи: ауторе решења, кључне речи, назив техничког решења, годину када је решење урађено, област на коју се техничко решење односи, проблем који се техничким решењем решава, стање решености тог проблема у свету, објашњење суштине техничког решења, детаљан опис са карактеристикама, начин реализације и примене техничког решења.

Техничко решење припада области техничко-технолошких наука и научној дисциплини машинског инжењерства.

Наручилац и корисник техничког решења је Wisil M, Нехруова 44/4, 11070 Нови Београд, Србија, Република Србија.

Техничко решење је реализовано у оквиру пројекта "Истраживање и развој метода моделирања и поступака израде денталних надокнада применом савремених технологија и рачунаром подржаних система" (Број пројекта ТР 35025, Програм истраживања у области технолошког развоја за период 2011.- 2015., Технолошка област - Машинство, Руководилац пројекта: Проф. др Јанко Ходолич).

Техничко решење поред стручне компоненте, пружа оригиналан теоријски и научно-истраживачки допринос.

Сегменти истраживања у току реализације техничког решења публиковани су у три рада у међународним часописима и једном раду на међународној конференцији. Аутори техничког решења су јасно приказали и обрадили комплетну структуру техничког решења. У оквиру техничког решења приказана је иновативан приступ за додељивање тежинских

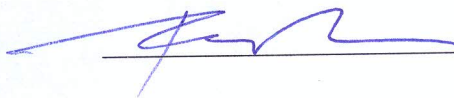
фактора и комбиновање субјективних и објективних тежинских фактора. Иновативни приступ за комбиновање субјективних и објективних тежинских фактора заснован је на примени fuzzy логике уз могућност одређивања односа значајности субјективних и објективних тежинских фактора.

МИШЉЕЊЕ И ЗАКЉУЧАК

Предлажем Наставно-научном већу Факултета техничких наука у Новом Саду да се предложено техничко под називом "Програмски систем за интелигентну вишекритеријумску анализу производа и процеса" прихвати као нова метода и у складу са Правилником о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача ("Службени гласник РС", број 38/2008) класификује као резултат "М85 Прототип, нова метода, софтвер, стандардизован или атестиран инструмент".

30.11.2015. год. Нови Сад

др Горан Вујић, ванредни професор
Универзитет у Новом Саду, Факултет
техничких наука



Одлуком Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду на 45. седници одржаној 02.09.2015. године именована сам за рецензента техничког решења под називом: **"Програмски систем за интелигентну вишекритеријумску анализу производа и процеса"**.

Аутори техничког решења су: др Борис Агарски, др Игор Будак, др Бојан Срђевић, др Ђорђе Вукелић, маг. инж. Милана Илић и др Јанко Ходолич.

На основу приложене документације подносим следећи

ИЗВЕШТАЈ

Софтвер (M85) под називом **„Програмски систем за интелигентну вишекритеријумску анализу производа и процеса“** представљен је на 26 страна А4 формата, коришћењем Times New Roman фонта величине 12pt, једнострочног прореда. Опис софтвера садржи 29 слика и два табеларна приказа и састоји се из следећих поглавља:

1. Опис проблема који се решава техничким решењем
2. Приказ и анализа постојећих решења проблема
3. Суштина техничког решења
4. Детаљан опис техничког решења
5. Закључак
6. Литература

Техничко решење припада области машинства и научној дисциплини производног машинства и представља софтверску подршку за интелигентну вишекритеријумску анализу производа и процеса.

Наручилац и корисник техничког решења је Wisil M, Нехруова 44/4, 11070 Нови Београд, Србија.

Техничко решење је реализовано у оквиру пројекта "Истраживање и развој метода моделирања и поступака израде денталних надокнада применом савремених технологија и рачунаром подржаних система" (Број пројекта ТР 35020, Програм истраживања у области технолошког развоја за период 2011-2015, технолошка област - машинство, Руководилац пројекта: проф. др Јанко Ходолич).

У другом поглављу описа техничког решења приказан је детаљан преглед постојећих метода за вишекритеријумску анализу (аналитички хијерархијски процес (АХП), PROMETHEE II, PAPRIKA (*Potentially All Pairwise RanKings of all possible Alternatives*), NAIADE...) и софтвера који су развијени за њихову примену.

Суштина техничког решења (интелигентно интегрисање тежинских фактора и примена *fuzzy* логике при додељивању тежинских фактора) и функционални захтеви који су постављени приликом пројектовања софтвера су приказани у трећем поглављу.

Четврто поглавље садржи детаљан опис техничког решења. Приказан је модел за интелигентну вишекритеријумску анализу производа и процеса који је имплементиран у оквиру софтвера. Модел се састоји од модула за унос података, модула за

додељивање тежинских фактора критеријума, под-модула за интелигентно интегрисање тежинских фактора, модула за вишекритеријумску анализу и модула за графички приказ резултата. За наведене модуле приказани су и детаљно објашњени алгоритми и графички интерфејси за унос података и приказ резултата.

У оквиру закључка су укратко приказане основне карактеристике софтвера које се пре свега односе на иновативни приступ у додељивању и интегрисању субјективних и објективних тежинских фактора, могућност избора и комбиновања различитих метода вишекритеријумске анализе, интуитивност и флексибилност корисничког интерфејса.

Истраживања реализована у оквиру техничког решења публикована су у врхунском међународним часопису, и то:

Agarski, B.; Budak, I.; Vukelić, Đ.; Hodolić, J. (2015) Fuzzy multi-criteria-based impact category weighting in life cycle assessment, Journal of Cleaner Production, doi:10.1016/j.jclepro.2015.09.077, ISSN: 0959-6526.

На основу анализе предлога техничког решења и остварених резултата, као именовани рецензент дајем следеће

МИШЉЕЊЕ И ЗАКЉУЧАК

Аутори софтвера (M85) под називом „Програмски систем за интелигентну вишекритеријумску анализу производа и процеса” су на јасан начин приказали и обрадили комплетну структуру софтвера. Софтвер обезбеђује иновативни приступ за додељивање тежинских фактора и интегрише субјективне и објективне тежинске факторе критеријума и поред стручне компоненте, пружа оригиналан теоријски и научно-истраживачки допринос.

На основу увида у предлог софтвера са задовољством предлажем Наставно-научном већу Факултета техниких наука у Новом Саду да се предложено техничко под називом „Програмски систем за интелигентну вишекритеријумску анализу производа и процеса” прихвати као софтвер и у складу са Правилником о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача („Службени гласник РС”, број 38/2008) класификује као резултат “M85 Прототип, нова метода, софтвер, стандардизован или атестиран инструмент”.

Београд, 01.12.2015.



Доц. др Живана Јаковљевић
Универзитет у Београду - Машински факултет



УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централа: 021 485 2000
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763
Телефакс: 021 458-133; e-mail: ftndean@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ
СИСТЕМ
МЕНАџМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: 01.сл

Ваш број:

Датум: 2015-12-25

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научно веће Факултета техничких наука у Новом Саду, на 6. редовној седници одржаној дана 23.12.2015. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

ТАЧКА 24. Питања научноистраживачког рада и међународне сарадње

24.2.2. На основу позитивног извештаја рецензената верификује се техничко решење под називом:

ПРОГРАМСКИ СИСТЕМ ЗА ИНТЕЛИГЕНТНУ ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКУ АНАЛИЗУ ПРОИЗВОДА И ПРОЦЕСА

Аутори техничког решења: Борис Агарски, Игор Будак, Бојан Срђевић, Ђорђе Вукелић, Милана Илић, Јанко Ходолич.

-непотребно изостављено-

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:
Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник

Декан



Проф. др Рале Дорословачки