



UNIVERZITET U NIŠU
FAKULTET ZAŠTITE NA RADU U NIŠU



Darko I. Mihajlov

**VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMIZACIJA IZBORA MERNE
STRATEGIJE ZA PROCENU DUGOTRAJNE VREDNOSTI
INDIKATORA BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI**

Doktorska disertacija

Tekst ove doktorske disertacije stavlja se na uvid javnosti
u skladu sa članom 30., stav 8. Zakona o visokom obrazovanju
("Sl. glasnik RS", br. 76/2005, 100/2007 - autentično tumačenje, 97/2008, 44/2010,
93/2012, 89/2013 i 99/2014)

NAPOMENA O AUTORSKIM PRAVIMA:

Ovaj tekst se smatra rukopisom i samo se saopštava javnosti
(član 7. Zakona o autorskim i srodnim pravima,
"Sl. glasnik RS", br. 104/2009, 99/2011 i 119/2012).

Nijedan deo ove doktorske disertacije ne sme se koristiti
ni u kakve svrhe, osim sa upoznavanjem pre odbrane.

Niš, 2016.



UNIVERZITET U NIŠU
FAKULTET ZAŠTITE NA RADU U NIŠU



Darko I. Mihajlov

**VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMIZACIJA IZBORA MERNE
STRATEGIJE ZA PROCENU DUGOTRAJNE VREDNOSTI
INDIKATORA BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI**

Doktorska disertacija

Niš, 2016.



UNIVERSITY OF NIŠ
FACULTY OF OCCUPATIONAL SAFETY



Darko I. Mihajlov

**MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION OF THE SELECTION OF
MEASUREMENT STRATEGY FOR THE ASSESSMENT OF
THE LONG-TERM ENVIRONMENTAL NOISE INDICATORS**

PhD dissertation

Niš, 2016.

PODACI O MENTORU

Ime i prezime: Momir Prašević
Zvanje: Redovni profesor
Naziv univerziteta: Univerzitet u Nišu
Naziv fakulteta: Fakultet zaštite na radu u Nišu

PODACI O ČLANOVIMA KOMISIJE

Ime i prezime: Dragan Cvetković
Zvanje: Redovni profesor
Naziv univerziteta: Univerzitet u Nišu
Naziv fakulteta: Fakultet zaštite na radu u Nišu

Ime i prezime: Aleksandar Cvjetić
Zvanje: Vanredni profesor
Naziv univerziteta: Univerzitet u Beogradu
Naziv fakulteta: Rudarsko-geološki fakultet u Beogradu

Ime i prezime: Branimir Todorović
Zvanje: Vanredni profesor
Naziv univerziteta: Univerzitet u Nišu
Naziv fakulteta: Prirodno-matematički fakultet u Nišu

Ime i prezime: Dejan Ćirić
Zvanje: Vanredni profesor
Naziv univerziteta: Univerzitet u Nišu
Naziv fakulteta: Elektronski fakultet u Nišu

Datum odbrane doktorske disertacije: ____ . ____ . ____ . god.

Mesto odbrane doktorske disertacije: Fakultet zaštite na radu u Nišu, Univerzitet u Nišu

Zahvalnost autora

Realizacija ove disertacije nije bila moguća bez podrške velikog broja prijatelja i kolega na čemu im se najiskrenije zahvaljujem.

Koristim ovu priliku da se posebno zahvalim onima koji su mi pružili najveću pomoć.

Najveću zahvalnost dugujem profesoru Momiru Praščeviću, mentoru, izuzetnom stručnjaku, kolegi i prijatelju, za profesionalnu i ljudsku pomoć u svim fazama realizacije ove disertacije.

Zahvaljujem se članovima Komisije, uvaženim profesorima, na korisnim sugestijama tokom izrade disertacije.

Zahvaljujem se supruzi Milijani za razumevanje u toku rada na disertaciji.

Mojoj najvećoj radosti i sreći, ćerki Magdaleni, hvala za prve poljupce i osmehe koji su me bodrili tokom rada.

Konačno, neizmernu zahvalnost dugujem svojim roditeljima, majci Ružici i ocu Ivanu, kao i bratu Miroslavu za pruženu podršku, ljubav i razumevanje u toku rada na disertaciji.

Autor

U Nišu, maja 2016.

VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMIZACIJA IZBORA MERNE STRATEGIJE ZA PROCENU DUGOTRAJNE VREDNOSTI INDIKATORA BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI

REZIME

Poznavanje tačnih podataka o godišnjim vrednostima indikatora buke u životnoj sredini predstavlja bitan preduslov za kreiranje niza dokumenata na lokalnom, nacionalnom i regionalnom nivou za sagledavanje postojećeg stanja opterećenosti životne sredine bukom, kao i za planiranje mera i aktivnosti koje treba preduzeti, preventivno ili korektivno, radi održavanja nivoa buke u dozvoljenim granicama ili njene redukcije u onim područjima u kojima ona predstavlja ozbiljnu smetnju i prepreku za obavljanje ljudskih aktivnosti, pa time u manjoj ili većoj meri utiče na ljudsko zdravlje.

Drumski saobraćaj sasvim sigurno predstavlja dominantan izvor povišenih nivoa buke na većem delu teritorije svih urbanih područja. Za praćenje stanja nivoa buke drumskog saobraćaja na karakterističnim lokacijama tokom godine potrebno je raspolagati odgovarajućom mernom strategijom koja će obuhvatati dinamičku prirodu procesa prostiranja zvuka, uticaj meteoroloških prilika na prostiranje zvuka, kao i ostale faktore koji su u funkciji utvrđivanja tačnog nivoa opterećenosti bukom datog mernog mesta na godišnjem nivou.

Budući da nacionalnom i evropskom pravnom regulativom nije propisan način određivanja godišnjih vrednosti indikatora buke u životnoj sredini, čije je poznavanje neophodno za kalibraciju strateških karata buke shodno Direktivi Evropske unije 2002/49/EC o proceni i upravljanju bukom u životnoj sredini, osnovni motiv za istraživanje u datoj oblasti upravo predstavlja pokušaj pronalaženja adekvatne merne strategije za procenu dugotrajnih vrednosti indikatora buke u životnoj sredini.

Imajući u vidu pre svega ekonomska ograničenja, u doktorskoj disertaciji se polazi od pretpostavke da je na osnovu rezultata dugotrajnog monitoringa buke, uzimajući u obzir sve faktore koji mogu utiču na rezultate merenja, moguće primenom metoda višekriterijumskog odlučivanja izvršiti izbor optimalne merne strategije koja bi zadovoljila polazni zahtev da uz minimalno trajanje angažovanja resursa može da obezbedi dovoljno tačne i precizne rezultate za procenu godišnjih vrednosti indikatora buke u životnoj sredini na svim mernim mestima istog karaktera.

Doprinos rezultata istraživanja u doktorskoj disertaciji se ogleda u novom pristupu određivanja godišnjih vrednosti indikatora buke u životnoj sredini primenom višekriterijumskog odlučivanja za izbor merne strategije, sa mogućnostima primene na nacionalnom i evropskom nivou.

Ključne reči: buka u životnoj sredini, indikatori buke u životnoj sredini, Direktiva 2002/49/EC, višekriterijumska optimizacija, PROMETHEE metoda, merna strategija, buka drumskog saobraćaja, permanentni monitoring buke, polupermanentni monitoring buke

Naučno polje: Tehničko-tehnološke nauke

Naučna oblast: Inženjerstvo zaštite životne sredine i zaštite na radu

Uža naučna oblast: Fizičke opasnosti u radnoj i životnoj sredini

UDK: 519.8:534.836:341.24(4-672EU)(043.3)

MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION OF THE SELECTION OF MEASUREMENT STRATEGY FOR THE ASSESSMENT OF THE LONG-TERM ENVIRONMENTAL NOISE INDICATORS

SUMMARY

Knowing correct data about annual values of environmental noise indicators is an important prerequisite for creating a series of local, regional, and national documents aimed at presenting the current state of environmental noise load. Such knowledge is also required for the planning of preventive or corrective measures and activities that will maintain the noise level within the allowed limits or even reduce it in areas where it poses a serious threat and obstacle to human activities and thus affects human health to a greater or lesser extent.

Road traffic is a dominant source of elevated noise levels present in almost every part of any urban area. In order to monitor the state of road traffic noise levels in specific locations during the year, it is necessary to have a suitable measurement strategy, which takes into account the dynamic nature of sound propagation, the influence of weather conditions on sound propagation, as well as other factors relevant for establishing the accurate level of annual noise load for a given measurement location.

Since neither the national nor the European legislation prescribes the manner of determining annual values of environmental noise indicators, the knowledge of which is necessary for the mandatory strategic noise mapping pursuant to EU Directive 2002/49/EC relating to the assessment and management of environmental noise, the primary motivation for studying this field is to try to find an adequate measurement strategy for assessing long-term values of environmental noise indicators.

Considering primarily the economic limitations, this doctoral dissertation starts from the assumption that it is possible to use multiple criteria decision analysis methods to select an optimal measurement strategy based on the results of long-term noise monitoring, taking into account all the factors that might influence the results. The strategy should meet the initial requirement that, with a minimum duration of resource commitment, it can yield sufficiently correct and accurate results of the assessment of annual environmental noise indicator values in all measurement locations with the same characteristics.

The contribution of research results in this dissertation is reflected in a new approach to determining annual values of environmental noise indicators, which uses multiple criteria decision analysis to select the measurement strategy and which is applicable at both the national and the European level.

Key words: Environmental noise, Environmental noise indicators, Directive 2002/49/EC, Multi-criteria optimization, PROMETHEE method, Measurement strategy, Road traffic noise, Permanent noise monitoring, Semi-permanent noise monitoring

Scientific field: Environmental and Occupational Engineering

Narrow scientific field: Physical hazards in the working and living environment

UDC: 519.8:534.836:341.24(4-672EU)(043.3)

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1 ZNAČAJ ISTRAŽIVANJA.....	4
1.2 CILJ ISTRAŽIVANJA	6
1.3 METOD ISTRAŽIVANJA.....	6
1.4 OČEKIVANI REZULTATI ISTRAŽIVANJA	7
1.5 STRUKTURA DISERTACIJE.....	9
2. INDIKATORI BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI.....	11
2.1 PRAVNA REGULATIVA	12
2.2 KRITERIJUMI ZA IZBOR INDIKATORA BUKE	15
2.3 INDIKATORI BUKE U UPOTREBI I NJIHOVA PRIMENA	16
2.4 DEFINICIJE RELEVANTNIH INDIKATORA BUKE	18
2.5 GRANIČNE VREDNOSTI INDIKATORA BUKE U REPUBLICI SRBIJI.....	20
2.6 METODE ZA ODREĐIVANJE VREDNOSTI INDIKATORA BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI	21
2.7 RELEVANTNI NACIONALNI PROPISI U OBLASTI BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI.....	22
2.8 PRIMENA INDIKATORA BUKE U PROCENI ŠTETNIH EFEKATA BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI NA ZDRAVLJE STANOVNIŠTVA.....	23
3. IZVORI BUKE U URBANIM SREDINAMA	26
3.1 IZVORI KOMUNALNE BUKE	28
3.2 MERE ZA SMANJENJE NIVOA SAOBRAĆAJNE BUKE U URBANIM SREDINAMA ..	30
3.2.1 Smanjenje buke na izvoru.....	31
3.2.2 Smanjenje rasprostiranja buke.....	34
3.2.3 Zaštita od buke na mestu imisije	36
3.2.4 Ekonomske mere i regulativa	36
3.2.5 Optimalne mere smanjenja nivoa buke	36
4. STATISTIČKA ANALIZA UZORAKA U FUNKCIJI ISTRAŽIVANJA	38
4.1 ZNAČAJ I PRIMENA STATISTIKE U ISTRAŽIVANJU	39
4.1.1 Populacija i statistički uzorak.....	40
4.1.2 Statističko obeležje.....	42
4.2 DESKRIPTIVNA STATISTIKA	43
4.2.1 Metode za opisivanje kvalitativnih podataka	43
4.2.3 Deskriptivne statističke mere.....	43
4.3 PROCENA MERNE NESIGURNOSTI U OBRADI REZULTATA ISTRAŽIVANJA.....	51
4.3.1 Procena merne nesigurnosti pri određivanju nivoa zvučnog pritiska	57
5. VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMIZACIJA U FUNKCIJI ISTRAŽIVANJA.....	61
5.1 POJAM OPTIMIZACIJE	62
5.1.1 Zadatak optimizacije.....	64

5.1.2 Cilj optimizacije	64
5.1.3 Matematički modeli i optimizacija	64
5.1.4 Pregled metoda optimizacije	65
5.2 OSNOVE VIŠEKRITERIJUMSKE OPTIMIZACIJE	66
5.2.1 Faze višekriterijumske optimizacije	71
5.2.2 Matematički model višekriterijumskog odlučivanja	72
5.2.3 Rešavanje modela višekriterijumskog odlučivanja	74
5.2.4 Metode za višekriterijumsku optimizaciju.....	81
6. IZBOR OPTIMALNE MERNE STRATEGIJE ZA PROCENU DUGOTRAJNE VREDNOSTI INDIKATORA BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI	92
6.1 STRATEGIJE MONITORINGA BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI.....	93
6.2 PREGLED I ANALIZA REZULTATA U OBLASTI ISTRAŽIVANJA	95
6.2.1 Aktuelno stanje monitoringa buke u životnoj sredini na teritoriji Srbije	95
6.3 RAZVOJ METODOLOGIJE DUGOTRAJNOG MONITORINGA BUKE U ISTRAŽIVANJU	96
6.3.1 Oprema koja je korišćena za potrebe istraživanja	96
6.3.2 Izbor mernih mesta za potrebe istraživanja	100
6.4 EKSPERIMENTALNI REZULTATI ISTRAŽIVANJA	109
6.5 PRIMENA VKO PRI IZBORU OPTIMALNE MERNE STRATEGIJE	113
6.5.1 Definisanje varijantnih rešenja – alternativa za optimalnu mernu strategiju.....	113
6.5.2 Definisanje skupa kriterijuma za višekriterijumsku optimizacij merne strategije.....	115
6.6 IZBOR OPTIMALNE MERNE STRATEGIJE PRIMENOM PROMETHEE METODE	119
6.6.1 Izbor optimalne merne strategije za merno mesto MM1	121
6.6.2 Izbor optimalne merne strategije za merno mesto MM2.....	138
6.6.3 Izbor optimalne merne strategije za merno mesto MM3.....	148
6.7 DISKUSIJA REZULTATA ISTRAŽIVANJA	157
7. ZAKLJUČAK	161
7.1 OSTVARENI REZULTATI U ISTRAŽIVANJU I ZAKLJUČCI.....	163
7.2 DOPRINOS DISERTACIJE – OBLAST PRAKTIČNE PRIMENE RADA	164
7.3 MOGUĆNOST ZA DALJA ISTRAŽIVANJA	165
LITERATURA.....	166
PRILOZI.....	172
PRILOG 1: PRIKAZ REZULTATA DUGOTRAJNOG MONITORINGA BUKE	173
POPIS SLIKA	186
POPIS TABELA	188
BIOGRAFIJA AUTORA	192
Izjava 1.....	193
Izjava 2.....	194
Izjava 3.....	195

1

Uvod

ZNAČAJ ISTRAŽIVANJA

CILJ ISTRAŽIVANJA

METOD ISTRAŽIVANJA

OČEKIVANI REZULTATI ISTRAŽIVANJA

STRUKTURA DISERTACIJE

VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMIZACIJA IZBORA MERNE STRATEGIJE ZA PROCENU
DUGOTRAJNE VREDNOSTI INDIKATORA BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI

Neadekvatan odnos prema životnoj sredini tokom intenzivnog razvoja svetske privrede u prethodnom periodu danas ima za posledicu akumulirane globalne probleme u pogledu zagađenosti vode i vazduha, opasnog otpada i prisustva buke i to u meri koja bitno utiče na ljudsko zdravlje i već narušenu stabilnost ekosistema na planeti. Imajući u vidu moguće nepovoljne scenarije u bliskoj budućnosti, menadžment zaštitom i očuvanjem životne sredine postaje sve veći profesionalni izazov, tim pre što i pored naprednih tehničko-tehnoloških rešenja i sve većih ulaganja u zaštitu životne sredine problem njenog zagađenja ostaje i dalje isti, pri čemu stepen zagađenosti u nekim slučajevima postaje sve veći.

Urbana područja po svojim opštim karakteristikama, sadržaju i nameni pojedinih delova svoje teritorije, spadaju u kategoriju područja u kojima je stanje životne sredine narušeno pre svega sa stanovišta kvaliteta vazduha i buke.

Buka, kao jedan od osnovnih pokazatelja kvaliteta životne sredine, u današnje vreme postaje sve ozbiljniji problem društvenih zajednica većih gradova širom sveta. Povećanju nivoa buke u gradskim sredinama doprinose brojni faktori. Jedan od njih je svakako stalni rast broja gradskog stanovništva, što doprinosi povećanju obima i intenziteta saobraćaja. U mnogim slučajevima je prostor za dalje širenje grada ograničen bilo iz geografskih razloga, bilo da su putni koridori postavljeni u neposrednoj blizini područja u kojima ljudi žive i rade. Tada se problem povećanja broja stanovništva rešava izgradnjom objekata veće spratnosti, što rezultuje povećanjem gustine naseljenosti, a time i obima i intenziteta saobraćaja. Dodatno opterećenje bukom u takvim sredinama svakako predstavlja i neminovnost postojanja i obavljanja aktivnosti brojnih komunalnih i transportnih službi koje su u funkciji održavanja i javnog prevoza.

Istraživanja Svetske zdravstvene organizacije pokazuju da je više od 40 % populacije zemalja Evropske unije izloženo buci drumskog saobraćaja čiji ekvivalentni nivo za period od čitavog dana premašuje 55 dB, a da je čak 20 % populacije izloženo ekvivalentnim nivoima većim od 65 dB za taj period. Uzimajući u obzir buku koja potiče od svih vrsta transporta, procenjuje se da oko polovine gradskog stanovništva Evropske unije živi u zonama koje ne obezbeđuju adekvatan akustički komfor. Pri tome, više od 30 % populacije je tokom noći izloženo ekvivalentnim nivoima buke većim od 55 dB, što ima uznemiravajući efekat na spavanje i odražava se negativno na kvalitet noćnog odmora [3].

Prihvatanjem problema buke i poznavanjem njenih posledica na zdravlje ugrožene populacije, mnoge zemlje su u poslednje vreme planski pristupile rešavanju pitanja buke primenom novih tehnologija koje obezbeđuju vozila sa motorima niže emisije zvučne

energije, poboljšanje kvaliteta pneumatika u smislu smanjenja emisije buke koja je posledica njihove interakcije sa podlogom, kao i nove materijale u putarskoj industriji kojima se postiže izgradnja tzv. tihih kolovoza. Iako se navedenim tehnološkim rešenjima ponaosob postižu značajni rezultati u borbi protiv buke, trend povećanja buke u urbanim područjima je i dalje prisutan, pre svega kao posledica stalnog povećanja obima saobraćaja. U Izveštaju Evropske komisije iz 2005. godine se navodi da je u Evropi više od 90 miliona ljudi izloženo neprihvatljivim nivoima buke, tako da rešavanje problema buke postaje jedno od glavnih pitanja društvenih zajednica.

Radi postizanja zajedničkog programa za rešavanje problema buke u životnoj sredini, Savet ministara Evropske unije je 2002. godine odobrio Direktivu 2002/49/EC o proceni i upravljanju bukom u životnoj sredini, koja u tom pogledu predviđa preduzimanje niza aktivnosti za sprovođenje mera koje bi doprinele izbegavanju, sprečavanju ili smanjenju štetnog uticaja buke, uključujući uznemiravanje i ostale zdravstvene aspekte prouzrokovane bukom u životnoj sredini. Saglasno njenim načelnim ciljevima, Direktiva se odnosi na buku kojoj su izloženi ljudi, naročito u izgrađenim područjima, u javnim parkovima ili drugim tihim oblastima u okviru gradskog područja, u tihim oblastima u ruralnim sredinama, u blizini škola, bolnica, kao i drugih objekata i područja osetljivih na buku. Kao polaznu osnovu za sagledavanje postojećeg stanja nivoa buke i planiranja aktivnosti za rešavanje uočenih problema, Direktiva nalaže obavezu izrade strateških karata buke svim državama Evropske unije i to najpre za sve aglomeracije sa više od 250 000 stanovnika, velike drumske saobraćajnice čiji je obim saobraćaja veći od šest miliona vozila godišnje (18 000 dnevno), velike železničke saobraćajnice koje imaju više od 60 000 kretanja železničkih vozila godišnje i za velike aerodrome unutar njihove teritorije.

Strateške karte buke u životnoj sredini sadrže podatke o stanju buke u životnoj sredini, a naročito o postojećem, prethodnom i procenjenom nivou buke u životnoj sredini izraženog godišnjim vrednostima indikatora buke, podatke o prekoračenjima graničnih vrednosti, zatim procenu broja domaćinstava, škola i bolnica na određenom prostoru koje su izložene buci iznad određenih vrednosti, kao i procenu broja ljudi koji se nalaze na prostoru izloženom buci [13]. Strateške karte buke se koriste kao osnova za izradu akcionih planova zaštite od buke u životnoj sredini i kao sredstvo za obaveštavanje javnosti o stanju buke u životnoj sredini i njenim štetnim efektima na zdravlje.

Sistematski pristup problemu buke u životnoj sredini kroz izradu strateških karata buke i akcionih planova dalje omogućava akustičko planiranje koje podrazumeva preduzimanje

preventivnih mera zaštite od buke u budućnosti, kao što su prostorno planiranje, projektovanje i planiranje sistema saobraćaja, primena zvučne zaštite putem odgovarajuće zvučne izolacije i zvučnih barijera, kao i praćenje nivoa buke koju emituju izvori buke u životnoj sredini.

1.1 ZNAČAJ ISTRAŽIVANJA

Buka se javlja kao značajan problem u životnoj sredini većine urbanih područja. Ipak, problem buke se još uvek ne prepoznaje pravilno i posvećuje mu se nedovoljno pažnje uprkos činjenici da bitno utiče na kvalitet života ugrožene populacije. Razlozi za ovakav pristup se mogu tražiti u samoj definiciji buke i njenoj percepciji kao subjektivnog doživljaja pojedinih spoljašnjih dešavanja, njenom specifičnom karakteru, kao i u teškoći povezivanja uzroka sa efektima koje izaziva na zdravlje ljudi.

Buka se u izveštajima zdravstvenih organizacija navodi kao ozbiljna opasnost po zdravlje, sa posledicama koje se kreću u rasponu od uznemirenosti do smrtnog ishoda i smatra se jednim od induktora stresa koji ima psihosocijalnu komponentu. Praktični efekti buke se kod ljudi najčešće ispoljavaju kao uznemirenost, pad koncentracije, pogoršanje kvaliteta sna i stres usled ishemije srca. Naročito je bitno razmatranje štetnog uticaja buke na zdravlje i razvoj dece, budući da doprinosi stvaranju govornih smetnji i utiče na smanjenu sposobnost dece za učenjem.

Dominantni izvor komunalne buke i glavni izvor smetnji i uznemiravanja stanovništva svakako predstavlja saobraćaj. Oko 120 miliona ljudi u Evropskoj uniji je izloženo nivoima buke drumskog saobraćaja iznad 55 dB, a više od 50 miliona ljudi nivoima iznad 65 dB. Ukoliko je poznato da buka nivoa iznad 55 dB sasvim izvesno izaziva neprijatnost, agresivno ponašanje i poremećaj sna, da stalna izloženost buci nivoa iznad 65 dB može da ima za posledicu hipertenziju, a da stalna izloženost buci nivoa iznad 75 dB izvesno utiče na povećanje nivoa stresa, povećanje stope srčanih oboljenja i potencijalni gubitak sluha [20], sasvim je sigurno da planiranje saobraćaja i zaštita stanovnika urbanih područja od buke drumskog saobraćaja zahtevaju daleko ozbiljniji pristup.

Bitna je činjenica da povećani nivo buke u urbanim sredinama predstavlja konstantan problem koji vremenom poprima sve veće razmere, budući da je u direktnoj vezi sa sve intenzivnijim saobraćajem i komunalnim aktivnostima koje prate savremeni način života. Većina evropskih gradova nastoji da smanji povećane nivoe buke na dopuštene vrednosti koje su propisane nacionalnim zakonima, pre svega u skladu sa svrhom i namenom prostora u

kome ljudi borave. Preduzimanje određenih mera koje bi najefikasnije odgovorile postavljenom zadatku podrazumeva prethodno sproveden postupak registrovanja stanja nivoa buke u životnoj sredini, analizu mogućnosti primene pojedinih mera i donošenje relevantne odluke. Sistemska istraživanja zahtevaju znatna finansijska sredstva, što predstavlja jedan od razloga zbog koga se u pojedinim zemljama takva istraživanja ne sprovedu. Međutim, u ograničenom opsegu se ipak sprovedu pojedinačna istraživanja. U nekim evropskim zemljama su ovakva istraživanja zaživela još sedamdesetih i osamdesetih godina 20 veka. U Francuskoj je od 1971. do 1982. god. u istraživanja uloženo 2,7 miliona evra, u Nemačkoj od 1978. do 1983. god. oko 4,0 miliona evra, a u Velikoj Britaniji od 1989. do 1995. god. oko 6,5 miliona evra [16]. Rezultati navedenih istraživanja su bitno doprineli usvajanju novih smernica i propisa vezanih za zaštitu od buke u životnoj sredini. Svakako, vlastita istraživanja su ipak nezamenjiva zbog prilagođavanja lokalnim uslovima života i rada.

U skorije vreme su aktuelna istraživanja koja se pored zdravstvenih bave i procenom ekonomskih posledica buke u životnoj sredini. Tako se pored troškova za sanaciju buke u stambenim naseljima koja se nalaze u blizini pojedinih saobraćajnica (aerodromi, železničke pruge, autoputevi) ili drugih izvora buke (npr. industrijskih), posebno analiziraju i troškovi zdravstvenih usluga koje su posledica života u bučnim područjima.

Stanje komunalne buke ima i značajan ekonomski uticaj na cene nekretnina u stambenim i poslovnim područjima. Istraživanja ukazuju da buka saobraćaja utiče na cene nekretnina u proseku 5%, a da se taj uticaj u uslovima tržišnog rasta kreće i do 12% [68]. Ovaj podatak je dodatno podstakao istraživače u mnogim zemljama da se detaljno posvete izučavanju i definisanju problema buke drumskog saobraćaja.

Motivacija za istraživanjem u doktorskoj disertaciji je zasnovana na činjenici da poznavanje tačnih podataka o stanju buke na lokacijama od interesa, iskazanih vrednostima odgovarajućih indikatora buke, predstavlja početni korak za sagledavanje aktuelnog stanja, uočavanje trenda promene stanja zagađenosti bukom poređenjem sa rezultatima iz prethodnog perioda i na osnovu toga procenu dešavanja u narednom periodu, pre svega sa ciljem kontrole i upravljanja bukom kao jednim od bitnih faktora kvaliteta života u urbanim sredinama. Budući da nacionalnom i evropskom pravnom regulativom nije propisan način određivanja godišnjih vrednosti osnovnih indikatora buke u životnoj sredini, u disertaciji je sproveden postupak pronalaženja adekvatne merne strategije za njihovu procenu u realnim uslovima primenom metoda višekriterijumske optimizacije rezultata eksperimentalnih istraživanja u dužem vremenskom periodu.

1.2 CILJ ISTRAŽIVANJA

Definisanje stanja nivoa buke na određenoj lokaciji predstavlja proces koji podrazumeva uočavanje dominantnih izvora buke i praćenje relevantnih akustičkih i meteoroloških veličina u određenom vremenskom periodu na datoj lokaciji. Svakako najefektivniji pristup datom problemu predstavlja dugotrajni, u ovom slučaju permanentni (kontinualni) godišnji monitoring buke na lokaciji od interesa, budući da izrada strateške karte buke kao osnovnog dokumenta za analizu stanja buke predviđa poznavanje opterećenosti bukom datog prostora na godišnjem nivou. Međutim, komplikovanost ovakvog pristupa i njegova velika zahtevnost u pogledu angažovanja neophodnih resursa - ljudskih i materijalnih, dovodi do potrebe za iznalaženjem efikasnijih metoda za određivanje godišnjih vrednosti indikatora buke L_{den} i L_{night} na datoj lokaciji, čije bi procenjene i izračunate vrednosti u zadovoljavajućoj meri odgovarale vrednostima koje su dobijene dugotrajnim merenjem. U tom smislu, opšti cilj istraživanja predstavlja iznalaženje optimalne merne strategije kojom bi se na osnovu jednokratnog merenja u mernom intervalu znatno kraćem od godinu dana dobili rezultati koji bi sa prihvatljivom tačnošću i preciznošću odslikavali pravo stanje nivoa buke na datoj lokaciji na godišnjem nivou.

Posebni ciljevi predmetnog istraživanja predstavljaju ispitivanje mogućnosti primene poznatih strategija za procenu vrednosti godišnjih indikatora buke u životnoj sredini u domaćem okruženju, kao i implementaciju postignutih rezultata, diskusija i zaključaka u doktorskoj disertaciji prilikom formiranja pre svega nacionalnih propisa iz date oblasti, kao i potencijalni doprinos standardizaciji određivanja dugotrajnih vrednosti indikatora buke u životnoj sredini.

1.3 METOD ISTRAŽIVANJA

Imajući u vidu pre svega ekonomska ograničenja, u doktorskoj disertaciji se polazi od pretpostavke da je na osnovu rezultata dugotrajnog permanentnog monitoringa buke, uzimajući u obzir sve faktore koji mogu da utiču na rezultate merenja, moguće primenom metoda višekriterijumskog odlučivanja izvršiti izbor merne strategije sa optimalnom dužinom intervala merenja koja bi zadovoljila polazni zahtev da uz minimalno trajanje angažovanja merne opreme može da obezbedi dovoljno tačne i precizne rezultate za procenu godišnjih vrednosti indikatora buke u životnoj sredini na svim mernim mestima istog karaktera.

Postupak izbora optimalne merne strategije za ocenu dugotrajne vrednosti indikatora buke u životnoj sredini je baziran na višekriterijumskom odlučivanju koje predstavlja traženje najboljeg rešenja iz niza dopustivih rešenja u smislu više usvojenih kriterijuma. Vrednosti kriterijumskih funkcija pokazuju koliko razmatrani sistem odgovara datim alternativama sistema. Optimizacija postupka izbora merne strategije treba da predstavlja određivanje rešenja koje je najbolje prema definisanim kriterijumima i koje zadovoljava sva data ograničenja.

Postupak za rešavanje optimizacionog problema sadrži 10 faza:

1. Formulisanje problema,
2. Definisanje i transformisanje kriterijuma za izbor optimalne merne strategije,
3. Izradu modela/strategije koja reprezentuje realnu (dugotrajnu) vrednost indikatora buke,
4. Izbor i primenu metode i izbora algoritma i programa za računar,
5. Definisanje kriterijuma za vrednovanje alternativnih rešenja,
6. Formulisanje alternativnih rešenja,
7. Vrednovanje alternativa,
8. Optimizaciju – izbor najbolje alternative,
9. Testiranje modela dobijenog rešenja, i
10. Implementaciju.

1.4 OČEKIVANI REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Reprezentativne veličine za ocenu stanja buke u životnoj sredini na godišnjem nivou su prema Direktivi 2002/49/EC vrednosti godišnjih indikatora buke L_{den} i L_{night} . U tom smislu, promenljivost emisije buke izvora i meteoroloških parametara tokom godine, kako god da utiču na prostiranje zvuka, moraju biti uzeti u obzir prilikom utvrđivanja vrednosti pomenutih veličina, bilo da se radi o postupku utvrđivanja metodom merenja, tj. dugotrajnim kontinualnim monitoringom, ili metodom procene njihove vrednosti na osnovu merenja u kraćim vremenskim intervalima. Karakteristike dugotrajnog monitoringa eliminišu ovaj postupak za slučaj masovne primene, pa se zbog toga primenjuje tehnika polupermanentnog monitoringa pomoću koje se vrši procena godišnjih vrednosti indikatora buke na osnovu izmerenih vrednosti u kraćim vremenskim periodima izabranim u toku godine. Tačnost procenjenih vrednosti zavisi od dužine vremenskog intervala merenja polupermanentnog

monitoringa, kao i od promenljivosti imisije buke na mestu prijema koja uključuje vremensku promenljivost emisije izvora i uticaja meteoroloških parametara na prostiranje zvuka.

I pored toga što evropski propisi ne raspolažu metodologijom za procenu vrednosti ekvivalentnog godišnjeg nivoa buke u životnoj sredini na osnovu polupermanentnih merenja, dosadašnji rezultati velikog broja realizovanih eksperimentalnih istraživanja u svetu upućuju na mogućnost iznalaženja prihvatljivog modela i strategije za realizaciju datog problema.

Budući da je svako merno mesto od interesa specifično sa stanovišta promenljivosti veličina parametara koji utiču na vrednost godišnjih indikatora buke, u prvom koraku se nameće potreba dugotrajnog kontinualnog monitoringa stanja nivoa buke na datoj lokaciji primenom stacionarne stanice za monitoring buke i to u trajanju od jedne godine. Dalja analiza dobijenih rezultata merenja za kraće vremenske intervale, izdvojene iz dugotrajnog kontinualnog monitoringa, dopušta primenu metoda višekriterijumske optimizacije za izbor vremenskog intervala merenja u okviru koga bi srednja vrednost rezultata merenja najpribližnije odgovarala vrednosti koja je dobijena dugotrajnim permanentnim monitoringom. Na taj način je moguće sa manjim brojem stanica za monitoring obezbediti masovnost rezultata u smislu raspolaganja dovoljno tačnim i preciznim podacima o vrednostima godišnjih indikatora buke u životnoj sredini na većem broju mernih mesta.

U istraživanju se polazi od pretpostavke da je planiranom metodologijom moguće odrediti optimalnu dužinu intervala merenja na osnovu koje će sa tačnošću od 1,5 dB i preciznošću od 1 dB biti izvršena procena dugotrajnih godišnjih indikatora buke na posmatranim lokacijama, dominantno opterećenih bukom drumskog saobraćaja. Zahtevana tačnost podrazumeva da se nijedna vrednost bilo kog od izmerenih indikatora buke nekom od strategija polupermanentnog monitoringa u apsolutnom iznosu ne razlikuje za više od 1,5 dB od stvarne (prave) vrednosti indikatora buke dobijene dugotrajnim permanentnim monitoringom. Postavljen zahtev za preciznošću od 1 dB podrazumeva da vrednost standardne devijacije rezultata merenja bilo kog od izmerenih indikatora buke nekom od strategija polupermanentnog monitoringa ne bude veća od 1 dB.

Rezultat formiranog modela bi trebalo da predstavlja njegovu preporuku za izbor optimalne strategije merenja sa stanovišta dobijanja zadovoljavajućih rezultata. Na kraju, uporednom analizom pojedinih strategija, za krajnji rezultat istraživanja se očekuje donošenje opšte strategije kratkotrajnih merenja koja bi važila za bilo koje merno mesto sličnih karakteristika i omogućila procenu vrednosti godišnjih indikatora buke u životnoj sredini sa zadovoljavajućom preciznošću.

1.5 STRUKTURA DISERTACIJE

Doktorska disertacija sadrži sedam glava i jedan prilog. Korišćena terminologija i pojmovi u doktorskoj disertaciji iz oblasti buke u životnoj sredini su uređeni i definisani aktuelnim standardima iz date oblasti.

U uvodnom delu su definisani predmet, cilj i očekivani rezultati istraživanja, istaknuti su značaj i aktuelnost sprovedenih istraživanja. Dati su pregled i analiza aktuelnog stanja u području istraživanja, kao i opravdanost za daljim istraživanjima u toj oblasti. Na kraju je izložena struktura istraživanja u doktorskoj disertaciji.

U drugoj glavi, koja se odnosi na indikatore buke u životnoj sredini, izložena je aktuelna pravna regulativa iz oblasti buke u životnoj sredini koja propisuje i bliže definiše indikatore buke, kao i njihovu primenu. Navedene su poznate metode za određivanje vrednosti indikatora buke u životnoj sredini i relevantni nacionalni propisi u oblasti istraživanja. Posebna pažnja je posvećena značaju indikatora buke u proceni štetnih efekata buke u životnoj sredini na zdravlje stanovništva.

Budući da drumski saobraćaj predstavlja dominantni izvor buke i osnovni činilac vrednosti indikatora buke u urbanim sredinama, treća glava obrađuje izvore buke u životnoj sredini sa posebnim osvrtom na drumski saobraćaj i mere za kontrolu nivoa buke drumskog saobraćaja u urbanim sredinama.

Četvrta glava doktorske disertacije opisuje osnovne pojmove Statističke analize uzorka kao nezaobilazne discipline u obradi i analizi brojnih rezultata sprovedenih merenja za potrebe istraživanja. Naročito se ukazuje na faktore koji utiču na tačnost i preciznost rezultata merenja buke i načine njihove kvantifikacije u funkciji definisanja vrednosti proširene merne nesigurnosti i na osnovu nje određivanja prave vrednosti merene veličine.

Elementi višekriterijumske optimizacije, kao osnovnog alata za rešavanje postavljenog problema u istraživanju, razmatrani su u petoj glavi do nivoa koji je potreban za razumevanje obrađivane materije u istraživanju. Kroz opisivanje faza postupka višekriterijumske optimizacije, matematičkog modela višekriterijumskog odlučivanja i adekvatnih metoda za njegovo rešavanje, stvorena je osnova za praktično potvrđivanje hipoteza koje su postavljene na početku istraživanja.

Šesta glava doktorske disertacije povezuje razmatranja i zaključke svih prethodnih celina sa zajedničkim ciljem izbora optimalne merne strategije za procenu dugotrajne vrednosti

indikatora buke u životnoj sredini primenom višekriterijumskog odlučivanja. Definišu se lokacije na terenu na koje se odnosi istraživanje i njihove specifičnosti sa stanovišta saobraćajnog opterećenja. Vrš se statistička analiza rezultata dugotrajnog monitoringa buke na datim lokacijama i uočavaju zakonitosti u ponašanju vrednosti indikatora buke tokom različitih vremenskih perioda na osnovu čega se usvajaju pojedina alternativna rešenja za mernu strategiju, formira skup kriterijuma i vrši izbor metode za višekriterijumsku optimizaciju. Sprovode se detaljni proračuni primenom algoritma optimizacije izbora merne strategije metodom PROMETHEE, a dobijeni rezultati se proveraju i potvrđuju pomoću softverskog paketa „Visual PROMETHEE“ u slučaju svih mernih mesta.

U sedmoj glavi doktorske disertacije se navode postignuti rezultati u istraživanju, definiše se opšti zaključak o opravdanosti samog istraživanja, kao i posebni zaključci o opravdanosti načina rešavanja problema, ispunjavanju očekivanja sa početka istraživanja i ograničenjima pod kojima se rezultati istraživanja mogu smatrati validnim. Dalje se obrazlaže originalni naučni doprinos doktorske disertacije i oblast paktične primene postignutih rezultata. Na kraju se navode mogući pravci budućih istraživanja u datoj oblasti.

Indikatori buke u životnoj sredini

PRAVNA REGULATIVA

KRITERIJUMI ZA IZBOR INDIKATORA BUKE

INDIKATORI BUKE U UPOTREBI I NJIHOVA PRIMENA

DEFINICIJE RELEVANTNIH INDIKATORA BUKE

GRANIČNE VREDNOSTI INDIKATORA BUKE

METODE ZA ODREĐIVANJE VREDNOSTI INDIKATORA BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI

RELEVANTNI NACIONALNI PROPISI U OBLASTI BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI

PRIMENA INDIKATORA BUKE U PROCENI ŠTETNIH EFEKATA BUKE NA ZDRAVLJE

VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMIZACIJA IZBORA MERNE STRATEGIJE ZA PROCENU
DUGOTRAJNE VREDNOSTI INDIKATORA BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI

2.1 PRAVNA REGULATIVA

Buka u životnoj sredini predstavlja globalni problem svetske zajednice u čije je rešavanje uključeno mnoštvo stručnjaka različitih profesija – inženjera, pravnika, ekonomista, lekara, organizovanih na nacionalnom, evropskom i svetskom nivou, koji shodno delatnosti sistematski preduzimaju i sprovode aktivnosti na kontroli i upravljanju bukom, kao i sprečavanju i sanaciji štetnih posledica buke na ljudsko zdravlje. Pitanje buke u životnoj sredini je tako obuhvaćeno setom tehničkih, pravnih i zdravstvenih mera i propisa, iskazanih kroz odgovarajuće tehničke standarde i pravilnike, zakonsku regulativu i medicinsku zaštitu.

Mere koje se sprovode širom Evrope u cilju smanjenja buke u životnoj sredini obično su nižeg prioriteta u poređenju sa ekološkim problemima poput zagađenja vazduha i vode, često i zbog toga što se smatralo da se takva pitanja najbolje rešavaju na nacionalnom ili lokalnom nivou, tako da je regulativa Evropske unije o upravljanju bukom bila u početnim fazama zasnovana na ciljevima internog tržišta koji su većinom bili usmereni ka usaglašavanju dozvoljenih vrednosti buke koju svojim radom stvaraju određene mašine i uređaji. Međutim, kako su informacije o uticaju buke na zdravlje ljudi vremenom postajale sve više dostupne široj javnosti, postajala je i sve upečatljivija potreba za višim nivoom zaštite stanovnika Evropske unije od buke u životnoj sredini kroz širi okvir mera u čitavoj Evropi. U tom smislu, poslednja dekada dvadesetog veka predstavlja početak ozbiljnijeg pristupa problemu buke. Svi izveštaji i dokumenti bazirani na reakcijama građana na problem buke i upozorenjima naučno-stručne javnosti na direktna i indirektna štetna dejstva buke, kao i na njihov kumulativni karakter, pokazuju da je buka problem globalne prirode i da je u skladu sa tim treba tretirati celovitom i sveobuhvatnom strategijom. Osnovnim dokumentima iz tog perioda, koji čine prekretnicu u odnosu ka buci i osnov za usvajanje budućih strategija o upravljanju bukom u životnoj sredini, smatraju se dokument Komisije Evropske zajednice „Peti akcioni program za životnu sredinu“ (1993) [7], dokument Evropske komisije „Zelena knjiga - politika o buci u narednom periodu“ (1996) [17] i dokument Svetske zdravstvene organizacije „Smernice za komunalnu buku“ (1999) [3].

U isto vreme, Međunarodna organizacija za standardizaciju započela je sa procedurom izmene i prilagođavanja standarda ISO 1996 „Akustika - Opis i merenje buke u životnoj sredini“ iz 1982. godine.

Usvajanjem „Zelene knjige“ postavljene su osnove za preduzimanje daljih akcija koje između ostalog podrazumevaju i donošenje nove evropske direktive po pitanju usklađivanja metoda

za procenu izloženosti buci, mapiranja buke i usklađivanju indikatora buke u životnoj sredini. Evropska komisija je 1998. godine sa tim ciljem formirala radne grupe sa određenim zadacima u oblasti usklađivanja propisa o buci, pri čemu je prvi zadatak podrazumevao preporuku pokazatelja/indikatora buke koji bi se koristili u Evropskoj uniji za opisivanje svih spoljnih izvora radi procene, mapiranja, planiranja i kontrole buke. Neophodnost harmonizacije veličina, postupaka i mera kojima se opisuje i rešava problem buke postao je jedan od primarnih zadataka predstojećih dokumenata. Naime, izrada karata buke je u većini država članica EU započeta 70-ih godina prošlog veka, ali zbog tehničkih ograničenja i razlika u primenjivanim metodama proračuna svaki je proces izrade bio jedinstven, zbog čega nije postojala mogućnost međusobnog upoređivanja karata buke i uspostavljanja jedinstvene zaštite od buke na nivou Evropske unije. Iz tog razloga, Evropski parlament i Savet Evrope su 25. juna 2002. godine usvojili Direktivu 2002/49/EC o proceni i upravljanju bukom u životnoj sredini (*Environmental Noise Directive – END*) sa sledećim opštim ciljevima:

1. Definisanje opšteg pristupa kojim bi se sprovođenjem određenih aktivnosti na prioritetnoj osnovi izbegli, sprečili ili smanjili štetni uticaji i smetnje izazvane izloženošću buci u životnoj sredini, i
2. Uspostavljanje osnove za razvoj mera za smanjenje buke koju emituju glavni izvori, naročito drumska i železnička vozila i infrastruktura, vazduhoplovi, eksterna i industrijska oprema i pokretna mehanizacija.

Osnovni zadaci Direktive su:

1. Usklađivanje postupaka izrade strateških karata buke na nivou Evropske unije;
2. Prikupljanje informacija o buci u obliku strateških karata buke (nivoi buke su prikazani pomoću usklađenih indikatora buke L_{den} i L_{night});
3. Određivanje ukupnog broja stanovnika izloženih određenim nivoima buke;
4. Informisanje javnosti i Evropske komisije o trenutnom stanju, kao i o strategiji i načinima finansiranja sledećih mera za upravljanje bukom u životnoj sredini:
 - izrada strateških karata buke primenom metoda procene koje su zajedničke svim zemljama članicama;
 - informisanje javnosti o stanju buke u životnoj sredini i njenim efektima;
 - usvajanje i sprovođenje akcionih planova za smanjenje nivoa buke na nivou čitave Evropske unije utemeljenih na rezultatima prikazanim pomoću karata buke;
 - održavanje povoljnih nivoa buke u postojećim okvirima.

Za izvršenje prvog zadatka – uspostavljanje zajedničke opšte metode za procenu i merenje buke u životnoj sredini, sprovedena su dva međunarodna projekta – „Harmonoise“ i „Imagine“, pre svega kao rezultat predloga i izveštaja radne grupe i brojnih članaka objavljenih tokom tog perioda [29,30,31,53]. Projekat „Harmonoise“, realizovan od 2001. do 2005. god., sadrži metodologiju za predviđanje izloženosti buci i modele prostiranja buke u urbanim područjima koja potiče od drumskog i železničkog saobraćaja [23].

U projektu „Imagine“, započetom 2003. god., na osnovu metodologije koja je razvijena u prethodnom projektu, vrši se unapređivanje postojećeg modela prostiranja buke koja potiče od drumskog i železničkog saobraćaja i razvija novi matematički model za predikciju buke letelica i industrijskih izvora buke [25,26]. Razvijene metodologije u navedenim projektima predstavljaju osnovu za harmonizovani pristup izradi strateških karata buke i akcionih planova u urbanim sredinama, koji je prema Direktivi obavezujuć za zemlje članice EU u drugoj fazi njene implementacije od 2012. godine. I pored toga što su projekti uspešno završeni pre nekoliko godina, metodologija koja je razvijena i nazvana „Harmonoise/Imagine“ se još uvek zvanično ne preporučuje za procenu buke u zemljama Evropske unije, zbog čega izrada strateških karata buke kao polaznog i osnovnog dokumenta za sagledavanje stanja buke u životnoj sredini, pa time i definisanje veličina za njihovo kreiranje i dalje počiva na nacionalnim rešenjima i modelima koji se u pojedinim slučajevima međusobno bitno razlikuju.

U skladu sa članom 6.2 Direktive 2002/49/EC, Evropska komisija je 2012. godine razvila opšte metode za procenu buke (*Common NOise aSSessment methOdS* - CNOSSOS-EU) drumskog, železničkog i vazdušnog saobraćaja, kao i industrijske buke, čija je primena u cilju strateškog mapiranje buke u skladu sa članom 7. Direktive obavezujuća od 2019. godine u svim državama EU. Metodološki okvir CNOSSOS EU predstavlja osnovu za izmenu Aneksa II Direktive 2002/49/EC. CNOSSOS-EU ima za cilj poboljšanje pouzdanosti, doslednost i uporedivost rezultata procene buke u zemljama članicama EU na osnovu podataka uzastopnih ciklusa mapiranja buke.

Osnovne razloge izrade strateških karata buke kao prikaza postojećeg i/ili predviđenog stanja imisije buke na posmatranom području predstavljaju:

- odgovornost prema zajednici,
- uspostavljanje sistema upravljanja bukom u životnoj sredini i zaštite od buke kao sastavnog elementa prostorno-planske dokumentacije,
- zdravlje stanovništva.

Izradom strateških karata buke se dobija uvid u postojeće stanje buke u prostoru s obzirom na nivo buke, zbog čega one služe kao polazište u procesu definisanja mera za sprečavanje porasta, odnosno smanjenje emisije i imisije buke u budućnosti. Karte buke prikazuju na razumljiv i vizuelan način mehanizam širenja buke od mesta emisije, kao i uticaj veličine, namene i prostornog položaja građevina na širenje buke, čime daju jasan uvid u rasprostranjenost „tihih područja“ kao važnu informaciju pri prostornom planiranju u urbanim sredinama.

Suštinski elementi za kalibraciju strateške karte buke kao osnovnog dokumenta o stanju buke u životnoj sredini jesu svakako vrednosti odgovarajućih indikatora buke koje se utvrđuju primenom različitih metoda merenja. Kada su u pitanju statičke strateške karte buke, od interesa je poznavanje vrednosti ekvivalentnog nivoa buke za dato merno mesto, pri čemu vremenski interval posmatranja iznosi godinu dana. Imajući u vidu promenljivost nivoa saobraćajne buke tokom 24 časa, koji je posebno uočljiv između dnevnog i noćnog perioda, kao i uticaj saobraćajne buke na ljudske aktivnosti u tim periodima, neophodno je raspolagati pokazateljima stanja nivoa buke na izabranim mernim mestima za period od godinu dana, i to za 24-časovni period koji obuhvata dnevni, večernji i noćni period - L_{den} , kao i posebno za 8-časovni noćni period - L_{night} , koji su Direktivom 2002/49/EC određeni kao godišnji indikatori buke u životnoj sredini.

2.2 KRITERIJUMI ZA IZBOR INDIKATORA BUKE

Postupak usklađivanja indikatora buke zahteva usvajanje seta kriterijuma za izbor pojedinih indikatora iz skupa mogućih indikatora, kako na osnovu naučne opravdanosti, tako i na osnovu njihove primenljivosti u praksi i zakonodavstvu. Prema tome, moguće je definisati sledeći set kriterijuma [19]:

1. validnost – kao kriterijum povezanosti indikatora sa efektima buke na ljudsko zdravlje, a pre svega ometanje govora, uznemirenost i ometanje sna;
2. jednostavna upotreba u praksi – kriterijum koji definiše stepen jednostavnosti izračunavanja indikatora na osnovu dostupnih podataka, kao i merenja raspoloživom opremom;
3. transparentnost – kriterijum koji upućuje na izbor što manjeg broja indikatora, po mogućnosti jednog, lako objašnjivog široj populaciji, intuitivnog, jednostavnog i povezanog sa fizičkom merom;

4. primenljivost – kriterijum koji poredi mogućnost primene datog indikatora za procenu i praćenje promena i prekoračenja graničnih vrednosti;
5. doslednost – kriterijum koji sprečava prevelike razlike u prirodi novih indikatora u odnosu na već postojeće indikatore u upotrebi;

Iako je postignuta opšta saglasnost o kriterijumima za izbor indikatora buke, ipak postoje znatne razlike u relativnoj važnosti svakog od njih. Velika odstupanja od postavljenih izbornih principa mogu imati veliki uticaj na troškove uspostavljanja svakog novog indikatora u pojedinim fazama, iskazane kroz jednokratne troškove koji se javljaju u fazi uvođenja svakog novog indikatora prilikom konverzije postojećeg u novoizabrani indikator, kao i kroz troškove kasnije praktične upotrebe novoizabranih indikatora buke.

Sa naučnog stanovišta, najbolji kriterijum za izbor indikatora buke jeste njegova sposobnost da predvidi određeni efekat buke na ljudsko zdravlje. Prema tome, za različite zdravstvene simptome se koriste različiti indikatori buke. Dugoročni efekti, kao što su kardiovaskularna oboljenja, uglavnom su povezani sa indikatorima koji obuhvataju akustičku situaciju na otvorenom prostoru tokom dugog vremenskog perioda, kao što je to prosečni godišnji nivo buke tokom noći na delu fasade najizloženijem buci $L_{night,outside}$, dok su trenutni efekti, poput poremećaja sna, bolje povezani sa maksimalnim nivoom buke L_{Amax} pojedinog događaja, kao što je prolazak kamiona, aviona ili voza [72]. Sa praktične tačke gledišta, indikatori bi trebalo da budu takvi da ih je lako objasniti javnosti, tako da se mogu razumeti intuitivno. Indikatori treba da budu u skladu sa postojećim propisima i praksom u zakonodavstvu kako bi se omogućila brza i laka primena zakonskih mera, kao i njihovo sprovođenje.

2.3 INDIKATORI BUKE U UPOTREBI I NJIHOVA PRIMENA

Imajući u vidu upotrebu različitih indikatora buke u pojedinim evropskim zemljama, kriterijume za izbor indikatora buke, alternative i skup mogućih indikatora buke, Direktiva 2002/49/EC propisuje korišćenje usklađenih indikatora buke u zemljama članicama Evropske unije, kao fizičkih veličina kojima se opisuje buka koju u životnoj sredini stvaraju različiti izvori buke na otvorenom prostoru i koje u određenoj meri štetno utiču na ljudsko zdravlje.

Direktivom 2002/49/EC, kao i zakonskim propisima Republike Srbije [60] koji su proistekli iz nje, predviđena je upotreba osnovnih i dodatnih indikatora buke. Osnovne indikatore buke čine:

1. Indikator ukupne buke L_{den} - indikator koji opisuje ukupno uznemiravanje bukom za vremenski period od 24 časa, tj. za period dan-veče-noć;
2. Indikator dnevne buke L_{day} - indikator koji opisuje uznemiravanje bukom u toku dana;
3. Indikator večernje buke $L_{evening}$ - indikator koji opisuje uznemiravanje bukom u toku večeri;
4. Indikator noćne buke L_{night} - indikator koji opisuje ometanje sna u toku noći.

Osnovni indikatori buke poput indikatora ukupne buke L_{den} i indikatora noćne buke L_{night} se upotrebljavaju za izradu strateških karata buke, dok se prilikom akustičkog planiranja prostora i određivanja područja koja treba da budu zaštićena od buke (tihe zone), pored navedenih, upotrebljavaju i indikatori dnevne i večernje buke L_{day} i $L_{evening}$.

Radi utvrđivanja posebnih uslova korišćenja prostora, kao i specifičnosti izvora buke, osim osnovnih indikatora buke se koriste i dodatni (posebni) indikatori buke i s njima povezane granične vrednosti, kao što je to na primer u sledećim slučajevima [13]:

- kada posmatrani izvor buke radi samo kratko vreme (npr. manje od 20 % vremena od ukupnih dnevnih perioda jedne godine, ukupnih večernjih perioda jedne godine ili ukupnih noćnih perioda jedne godine),
- kada je prosečan broj događaja buke u jednom ili više perioda vrlo mali (npr. manje od jednog bučnog događaja na sat), pri čemu je događaj definisan kao buka trajanja kraćeg od pet minuta (npr. buka od prolaska voza ili preleta aviona),
- kada se radi o buci koja sadrži istaknutu niskofrekvencijsku komponentu,
- kada veličine poput L_{Amax} ili nivoa izloženosti zvuku L_{AE} (SEL) mogu da pruže efikasnu zaštitu od istaknutih pojedinačnih vršnih vrednosti nivoa buke tokom noćnog perioda,
- kada je potrebna posebna zaštita od buke vikendom ili u određenim delovima godine,
- kada je potrebna posebna zaštita u dnevnom razdoblju,
- kada je potrebna posebna zaštita u večernjem razdoblju,
- kada se ocenjuje ukupna buka iz različitih izvora,
- kada se radi o tihim područjima u prirodi,
- kada se radi o buci koja sadrži istaknute tonove,
- kada se radi o buci koja sadrži impulse.

Propisi Republike Srbije [60] u smislu bližeg definisanja i upotrebe uspostavljenih indikatora buke u životnoj sredini, predviđaju sledeće:

- za potrebe monitoringa buke i pojedinačnih merenja buke mogu se koristiti dodatni indikatori buke kao što su:
 1. merodavni nivo buke L_{RAeqT} i
 2. nivo izloženosti buci L_{AE} .
- Period od 24 časa se deli na tri referentna vremenska intervala:
 1. *Dan*, traje 12 časova (od 6 do 18 časova);
 2. *Veče*, traje 4 časa (od 18 do 22 časa);
 3. *Noć*, traje 8 časova (od 22 do 6 časova).

2.4 DEFINICIJE RELEVANTNIH INDIKATORA BUKE

Godišnji indikator ukupne buke L_{den} , koji opisuje ometanje bukom za vremenski period od godinu dana, definiše se sledećom jednačinom [13]:

$$L_{den} = 10 \log \left[\frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right) \right] \text{ [dB]}, \quad (2.1)$$

gde je:

L_{day} - A-frekvencijski ponderisani dugotrajni prosečni nivo zvuka za sve dnevne periode u toku jedne godine;

$L_{evening}$ - A-frekvencijski ponderisani dugotrajni prosečni nivo zvuka za sve večernje periode u toku jedne godine;

L_{night} - A-frekvencijski ponderisani dugotrajni prosečni nivo zvuka za sve noćne periode u toku jedne godine.

Primena navedenih vrednosti korekcija za različita doba dana je propisana važećim propisima [13] kao posledica različite reakcije ljudi na buku u specifičnim vremenskim periodima tokom dana ili nedelje. Uzimajući u obzir da se veći broj ljudi za dane vikenda nalazi kod kuće, odlukom nadležnih organa se može primeniti i odgovarajuća korekcija ekvivalentnih nivoa buke za dnevne periode dana vikenda kako bi se omogućio njihov kvalitetniji odmor i oporavak [64].

A-frekvencijski ponderisani dugotrajni prosečni nivoi zvuka za pojedine referentne periode u toku jedne godine iz jednačine (2.1) određuju se prema sledećim jednačinama:

$$L_{day} = 10 \log \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_{day,i}}{10}} \right] \quad [\text{dB}] \quad (2.2)$$

$$L_{evening} = 10 \log \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_{evening,i}}{10}} \right] \quad [\text{dB}] \quad (2.3)$$

$$L_{night} = 10 \log \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_{night,i}}{10}} \right] \quad [\text{dB}] \quad (2.4)$$

gde je:

i - redni broj nekog dana u godini ($i = 1 \div 365$);

N - ukupan broj dana u godini (365);

U prethodnim izrazima se termin *godina* odnosi na relevantnu godinu u pogledu emisije zvuka i prosečnu godinu u pogledu meteoroloških uslova.

Visina tačke u kojoj se određuju L_{den} i L_{night} zavisi od primene [60]:

- 1) Kada se radi o proračunima za strateške karte buke, a treba odrediti izloženost zgrade buci, visina tačke je $4,0 \pm 0,2$ m (od 3,8 do 4,2 m) iznad tla, na najizloženijem delu fasade, a to je spoljni zid okrenut prema posmatranom zvučnom izvoru;
- 2) Kada se buka meri za potrebe izrade strateških karata buke, a treba odrediti izloženost zgrade buci, mogu se odabrati i druge visine ali ne manje od 1,5 m iznad tla;
- 3) Za potrebe akustičkog planiranja ili akustičkog zoniranja prostora se mogu odabrati i druge visine ali ne niže od 1,5 m iznad tla, na primer:
 - kod seoskih područja sa jednospratnim kućama,
 - kod planiranja lokalnih mera zaštite od buke za određene stanove,
 - pri izradi detaljnih karata buke u manjim, ograničenim zonama, kada treba prikazati izloženost pojedinačnih stanova buci.

2.5 GRANIČNE VREDNOSTI INDIKATORA BUKE U REPUBLICI SRBIJI

Granične vrednosti indikatora buke u naseljenim mestima, prema zonama naselja, date su u tabeli 2.1. Granične vrednosti se odnose na ukupnu buku koja potiče od svih izvora buke na posmatranoj lokaciji, a utvrđuje se osnovnim indikatorima ili merodavnim nivoom buke.

Tabela 2.1 *Granične vrednosti indikatora buke na otvorenom prostoru* [60]

Zona	Namena prostora	Nivo buke [dB]	
		za dan i veče	za noć
1	Područja za odmor i rekreaciju; Bolničke zone i oporavilišta; Kulturno-istorijski lokaliteti; Veliki parkovi;	50	40
2	Turistička područja; Kampovi; Školske zone;	50	45
3	Čisto stambena područja;	55	45
4	Poslovno-stambena područja; Trgovačko-stambena područja; Dečja igrališta;	60	50
5	Gradski centar; Zanatska zona; Trgovačka zona, Administrativno-upravna zona sa stanovima; Zona duž autoputeva; Zona duž magistralnih i gradskih saobraćajnica;	65	55
6	Industrijska zona; Skladišna i servisna područja bez stambenih zgrada; Transportni terminali bez stambenih zgrada;	Buka na granici ove zone ne sme da prelazi graničnu vrednost u zoni sa kojom se graniči	

Granične vrednosti indikatora buke u zatvorenim prostorijama u kojima borave ljudi date su u tabeli 2.2 i odnose se na merodavni nivo ukupne buke u prostorijama.

Tabela 2.2 Granične vrednosti indikatora buke u zatvorenim prostorijama [60]

	Namena prostorija	Nivo buke [dB]	
		za dan i veče	za noć
1.	Boravišne prostorije (spavaća i dnevna soba) u stambenoj zgradi pri zatvorenim prozorima;	35	30
2.	U javnim i drugim objektima, pri zatvorenim prozorima:		
2.1	Zdravstvene ustanove i privatna praksa, i u njima:		
	a) bolesničke sobe;	35	30
	b) ordinacije;	40	40
	c) operacioni blok bez medicinskih uređaja i opreme;	35	35
2.2	Prostorije u objektima za odmor dece i učenika; Spavaće sobe domova za boravak starih lica i penzionera;	35	30
2.3	Prostorije za vaspitno-obrazovni rad (učionice, slušaonice, kabineti i sl.); Bioskopske dvorane; Čitaonice u bibliotekama;	40	40
2.4	Pozorišne i koncertne dvorane;	30	30
2.5	Hotelske sobe;	35	30

2.6 METODE ZA ODREĐIVANJE VREDNOSTI INDIKATORA BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI

Vrednosti osnovnih indikatora buke se mogu određivati procenjivanjem ili merenjem. Za procenjivanje (predviđanje) buke se koristi isključivo proračun. Do početka primene opštih metoda za procenu buke 2019. godine (CNOSSOS-EU), za određivanje vrednosti osnovnih indikatora buke se koriste privremene nacionalne metode. U slučaju da one nisu razvijene, Direktivom 2002/49/EC i važećim propisima Republike Srbije [60], za tu svrhu se preporučuje upotreba pojedinih privremenih metoda država članica EU u zavisnosti od vrste izvora buke.

Određivanje vrednosti osnovnih indikatora buke na osnovu merenja se u Republici Srbiji vrši u skladu sa standardima SRPS ISO 1996-1 [64] i SRPS ISO 1996-2 [65].

2.7 RELEVANTNI NACIONALNI PROPISI U OBLASTI BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI

Problem buke u životnoj sredini u Republici Srbiji je sagledan odgovarajućom pravnom regulativom i propisima. Relevantnim dokumentima se smatraju:

- Zakon o zaštiti od buke u životnoj sredini, „Službeni glasnik RS” br. 36/09 i 88/10;
- Uredba o indikatorima buke, graničnim vrednostima, metodama za ocenjivanje indikatora buke, uznemiravanja i štetnih efekata buke u životnoj sredini, „Službeni glasnik RS” br. 75/10;
- Pravilnik o metodama merenja buke, sadržaju i obimu izveštaja o merenju buke, „Službeni glasnik RS” br. 72/10;
- Pravilnik o metodologiji za izradu akcionih planova, „Službeni glasnik RS” br. 72/10;
- Pravilnik o metodologiji za određivanje akustičkih zona, „Službeni glasnik RS” br. 72/10;
- Pravilnik o uslovima koje mora da ispunjava stručna organizacija za merenje buke, kao i o dokumentaciji koja se podnosi uz zahtev za dobijanje ovlašćenja za merenje buke, „Službeni glasnik RS” br. 72/10;
- Pravilnik o sadržini i metodama za izradu strateških karata buke i načinu njihovog prikazivanja javnosti, „Službeni glasnik RS” br. 80/10.
- SRPS ISO 1996-1:2010: „Akustika – Opisivanje, merenje i ocenjivanje buke u životnoj sredini – Deo 1: Osnovne veličine i procedure ocenjivanja“, Institut za standardizaciju Srbije, 2010;
- SRPS ISO 1996-2:2010: „Akustika – Opisivanje, merenje i ocenjivanje buke u životnoj sredini – Deo 2: Određivanje nivoa buke u životnoj sredini“, Institut za standardizaciju Srbije, 2010.

Navedena dokumenta su usklađena sa aktuelnim propisima Evropske unije i evropskim standardima koji se odnose na oblast buke u životnoj sredini.

2.8 PRIMENA INDIKATORA BUKE U PROCENI ŠTETNIH EFEKATA BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI NA ZDRAVLJE STANOVNIŠTVA

Buka kao jedan od bitnih činilaca kvaliteta životne sredine predstavlja vrlo čest uzrok zdravstvenih problema stanovništva na području Evrope. Rezultati istraživanja pokazuju da buka drumskog saobraćaja u urbanim sredinama uznemirava svaku treću osobu, a da iz istog razloga svaka peta osoba pati od poremećaja sna [24]. Epidemiološke analize ukazuju da dugotrajna izloženost visokim nivoima buke ima za realnu posledicu povećan rizik od kardiovaskularnih bolesti kao što je infarkt miokarda. Ostale brojne implikacije buke u životnoj sredini na zdravlje stanovništva ukazuju da buku definitivno treba smatrati pretnjom javnom zdravlju u modernim vremenima.

Buka može da ima širok spektar neželjenih efekata na ljudsko zdravlje [4]:

- Bol i zamor sluha,
- Oštećenje sluha, uključujući tinitus,
- Uznemiravanje,
- Smetnje u društvenom ponašanju (agresivnost, protest i bespomoćnost),
- Poremećaj sna i sve njegove posledice u odnosu na duži i kraći period,
- Kardiovaskularna oboljenja,
- Hormonski poremećaji (hormon stresa) i njihove moguće posledice na metabolizam i imunološki sistem,
- Smanjenje učinka na poslu ili u izvršavanju školskih obaveza.

Polazeći od činjenice da indikatori buke predstavljaju fizičke veličine kojima se opisuje buka u životnoj sredini i da su povezani sa njenim štetnim efektom na ljudsko zdravlje [13], za ocenu uznemiravanja i štetnih efekata buke na stanovništvo primenjuje se odnos *doza buke-efekat*, koji predstavlja:

- Vezu između ometanja (uznemirenosti) bukom i indikatora buke L_{den} za buku drumskog, železničkog i vazdušnog saobraćaja, kao i za industrijsku buku;
- Vezu između remećenja sna i indikatora buke L_{night} za buku drumskog, železničkog i vazdušnog saobraćaja, kao i za industrijsku buku.

Procenat stanovništva ugroženog bukom od saobraćaja u toku dana se u državama Evropske unije procenjuje sledećim jednačinama [60]:

a) buka drumskog saobraćaja

$$\% A = 1.795 \cdot 10^{-4} \cdot (L_{\text{den}} - 37)^3 + 2.110 \cdot 10^{-2} \cdot (L_{\text{den}} - 37)^2 + 0.5353 \cdot (L_{\text{den}} - 37) \quad (2.5)$$

$$\% HA = 9.868 \cdot 10^{-4} \cdot (L_{\text{den}} - 42)^3 - 1.436 \cdot 10^{-2} \cdot (L_{\text{den}} - 42)^2 + 0.5118 \cdot (L_{\text{den}} - 42) \quad (2.6)$$

b) buka železničkog saobraćaja

$$\% A = 4.538 \cdot 10^{-4} \cdot (L_{\text{den}} - 37)^3 + 9.482 \cdot 10^{-2} \cdot (L_{\text{den}} - 37)^2 + 0.2129 \cdot (L_{\text{den}} - 37) \quad (2.7)$$

$$\% HA = 7.239 \cdot 10^{-4} \cdot (L_{\text{den}} - 42)^3 - 7.851 \cdot 10^{-3} \cdot (L_{\text{den}} - 42)^2 + 0.1695 \cdot (L_{\text{den}} - 42) \quad (2.8)$$

c) buka vazdušnog saobraćaja

$$\% A = 8.588 \cdot 10^{-6} \cdot (L_{\text{den}} - 37)^3 + 1.777 \cdot 10^{-2} \cdot (L_{\text{den}} - 37)^2 + 1.221 \cdot (L_{\text{den}} - 37) \quad (2.9)$$

$$\% HA = 9.199 \cdot 10^{-5} \cdot (L_{\text{den}} - 42)^3 + 3.932 \cdot 10^{-2} \cdot (L_{\text{den}} - 42)^2 + 0.2939 \cdot (L_{\text{den}} - 42) \quad (2.10)$$

Procenat stanovništva koji u toku noći može biti uznemiren bukom saobraćaja se procenjuje sledećim jednačinama:

a) buka drumskog saobraćaja

$$\% A = 13.8 - 0.85 L_{\text{night}} + 0.01670 L_{\text{night}}^2 \quad (2.11)$$

$$\% HA = 20.8 - 1.05 L_{\text{night}} + 0.01486 L_{\text{night}}^2 \quad (2.12)$$

b) buka železničkog saobraćaja

$$\% A = 12.5 - 0.66 L_{\text{night}} + 0.01121 L_{\text{night}}^2 \quad (2.13)$$

$$\% HA = 11.3 - 0.55 L_{\text{night}} + 0.00759 L_{\text{night}}^2 \quad (2.14)$$

c) buka vazdušnog saobraćaja

$$\% A = 13.714 - 0.807 L_{\text{night}} + 0.01555 L_{\text{night}}^2 \quad (2.15)$$

$$\% HA = 18.1478 - 0.956 L_{\text{night}} + 0.01482 L_{\text{night}}^2 \quad (2.16)$$

U prethodnim jednačinama su:

%A - procenat ugroženog stanovništva,

%HA - procenat veoma ugroženog stanovništva.

U tabelama 2.3 i 2.4 su dati podaci o procentu ugroženog (%A) i veoma ugroženog stanovništva (%HA) pri različitim nivoima izloženosti buci L_{den} i L_{night} koja dominantno potiče od avionskog, drumskog i železničkog saobraćaja, dobijeni na osnovu dokumenta Evropske komisije o veličini međusobne povezanosti između buke različitih vidova saobraćaja i uznemirenosti koju ona izaziva kod stanovništva Evropske unije [18].

Tabela 2.3 *Procenat ugroženog (%A) i veoma ugroženog stanovništva (%HA) Evropske unije pri različitim nivoima izloženosti buci L_{den} avionskog, drumskog i železničkog saobraćaja*

L_{den} [dB]	Avionski saobraćaj		Drumski saobraćaj		Železnički saobraćaj	
	%A	%HA	%A	%HA	%A	%HA
45	11	1	6	1	3	0
50	19	5	11	4	5	1
55	28	10	18	6	10	2
60	38	17	26	10	15	5
65	48	26	35	16	23	9
70	60	37	47	25	34	14
74	73	49	61	37	47	23

Tabela 2.4 *Procenat ugroženog (%A) i veoma ugroženog stanovništva (%HA) Evropske unije pri različitim nivoima izloženosti buci L_{night} avionskog, drumskog i železničkog saobraćaja*

L_{night} [dB]	Avionski saobraćaj		Drumski saobraćaj		Železnički saobraćaj	
	%A	%HA	%A	%HA	%A	%HA
45	9	5	9	4	6	2
50	12	7	13	5	8	3
55	16	10	18	8	10	4
60	21	14	23	11	13	6
65	27	19	29	15	17	8
70	33	24	36	20	21	10
74	39	29	42	24	25	12

3

Izvori buke u urbanim sredinama

IZVORI KOMUNALNE BUKE

MERE ZA SMANJENJE SAOBRAĆAJNE BUKE U URBANIM SREDINAMA

VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMIZACIJA IZBORA MERNE STRATEGIJE ZA PROCENU
DUGOTRAJNE VREDNOSTI INDIKATORA BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI

Promene akustičkog stanja u urbanim područjima postaju naročito izražene sredinom 20. veka, između ostalog i kao posledica naglog porasta broja motornih vozila. Podaci pokazuju da je u tom periodu 2,6 milijarde ljudi na planeti Zemlji raspolagalo sa oko 50 miliona automobila, dok na početku 21. veka 5,7 milijardi ljudi poseduje i svakodnevno koristi 10 puta veći broj automobila, njih oko 500 miliona, pri čemu se smatra da ukupni „svetski vozni park“ čini oko 800 miliona motornih vozila ukoliko se uzmu u obzir i teretna vozila i motorcikli [73]. Budući da svetska automobilska industrija plasira na tržište oko 50 miliona vozila godišnje, očekuje se da će 30-ih godina ovog veka na planeti biti u upotrebi skoro milijardu putničkih automobila. Iskazano kroz stepen motorizacije, kao pokazatelja broja putničkih automobila na 1 000 stanovnika ili broja stanovnika na jedan putnički automobil, istraživanja ukazuju na tendenciju njegovog ekspanzivnog rasta sve do okvirnog odnosa od 350 do 400 putničkih automobila na 1 000 stanovnika ili $2,8 \div 2,5$ stanovnika na jedan putnički automobil, što je ostvarljivo u uslovima nacionalnog dohotka od oko 7 500 US\$ po stanovniku [73].

Pored stepena motorizacije, drugi bitan činilac obima saobraćaja koji utiče na formiranje akustičke slike u naseljenim područjima je mobilnost, kao pokazatelj broja putovanja po stanovniku, ostvaren prevoznim sredstvima u toku jednog dana ili godine. U suštini, mobilnost je funkcija nivoa životnog standarda stanovništva i prvenstveno zavisi od visine dohotka stanovništva i stanja saobraćajnih sistema.

Saobraćaj u složenoj gradskoj strukturi definišu tri faktora:

1. Putna i ulična mreža,
2. Brojnost motornih vozila i
3. Kretanje motornih vozila kroz urbanu sredinu.

Putna i ulična mreža se preko funkcionalne i fizičke klasifikacije, a na osnovu savremenih urbanističko-saobraćajnih postavki i planersko-projektantskih zahteva deli na primarnu putnu mrežu (autoputevi, magistrale, saobraćajnice, sabirne ulice) i sekundarnu putnu mrežu (pristupne ulice, parkirališta, trotoari, pešački prelazi). Pri tome, primarna mreža je namenjena protočnom saobraćaju, a sekundarna omogućuje prilaz do određenih ciljeva.

Jedan od osnovnih aktuelnih problema u većini gradova je što nasleđeno stanje ulične mreže ne zadovoljava trenutni obim saobraćaja u smislu poprečnog profila, trase i izgrađenosti. Primarna mreža zbog toga nema dovoljne kapacitete da u kritičnim časovima prihvati saobraćajne tokove iz sekundarne mreže.

Negativni uticaji koje izaziva saobraćaj nazivaju se *negativnim eksternim efektima*, u koje spadaju: saobraćajne nezgode, zagušenja u saobraćaju, zauzimanje površina, buka, izduvni gasovi i nekontrolisano oslobađanje štetnih i opasnih materija. Ekološki problemi izazvani saobraćajem u gradovima, pre svega kao posledica sve viših nivoa buke i aerozagađenja, pripadaju kategoriji gde se naročita pažnja posvećuje efektima navedenih zagađivača životne sredine na zdravlje stanovništva [73].

Imajući u vidu probleme koje stvara buka u životnoj sredini, veliki broj zemalja u okviru nacionalnog zakonodavstva propisuje izvesna ograničenja koja se odnose na dozvoljene nivoe buke. Sve veći značaj i pažnja koje evropske vlasti posvećuju pre svega buci saobraćaja ogleda se i kroz praćenje evolutivnog toka dozvoljenih nivoa buke motornih vozila koje Evropska komisija sprovodi godinama unazad.

U skladu sa prethodnim aktivnostima, aprila 2014. godine je od strane nadležnih organa Evropske unije doneta “Uredba o nivou zvuka motornih vozila” (*Regulation on the sound level of motor vehicles*) kao dokumenta kojim se usvaja i definiše novi metod ispitivanja emisije buke sa revidiranim graničnim dozvoljenim vrednostima nivoa emisije buke po određenim kategorijama i podkategorijama motornih vozila. Novi propis se može posmatrati kao završna faza dugog niza dešavanja na polju poboljšanja reprezentativnosti testiranja, ali istovremeno i kao početna faza redovnog smanjenja graničnih vrednosti nivoa emisije buke motornih vozila u budućnosti, kako bi se postiglo značajnije smanjenje uticaja saobraćajne buke na ljudsko zdravlje i poboljšanje kvaliteta života u urbanim sredinama.

3.1 IZVORI KOMUNALNE BUKE

Buka u životnoj sredini ili komunalna buka se definiše kao buka koju stvaraju svi izvori buke koji se javljaju u čovekovom okruženju, isključujući pritom buku koja nastaje na samom radnom mestu i u industrijskim pogonima.

Glavni izvori komunalne buke koji se svakodnevno sreću u čovekovom okruženju uključuju izvore buke na otvorenom prostoru i izvore buke u zatvorenom prostoru.

Izvori komunalne buke na otvorenom prostoru podrazumevaju:

- saobraćaj (drumski, železnički i avionski);
- građevinske mašine koje se koriste pri izvođenju javnih radova;
- industriju;

- mašine za kućnu upotrebu (kosačica, motorna testera i sl.);
- komunalne mašine i vozila;
- sportske aktivnosti, koncerte, zabavne parkove, alarme;

Izvori komunalne buke u zatvorenom prostoru obuhvataju:

- kućne aparate;
- ventilacione sisteme i uređaje za klimatizaciju, pumpne stanice, trafostanice;
- uređaje za reprodukciju muzike;
- zabave.

Neki od nabrojanih izvora buke u zatvorenom prostoru se mogu pojaviti i kao izvori buke na otvorenom prostoru.

I pored toga što nije uvek glavni uzrok žalbi, saobraćaj predstavlja dominantni izvor buke u komunalnoj sredini, uključujući sve njegove oblike: drumski, železnički i avionski, kao i sve oblike i tipove prevoznih sredstava.

Buka drumskog saobraćaja je najrasprostranjeniji izvor buke u svim evropskim zemljama i primarni je uzrok ometanja ljudskih aktivnosti. Drumski saobraćaj uključuje sledeće izvore buke: motorcikle, automobile (putničke i dostavna vozila), kamione (laka i teška teretna vozila) i autobuse.

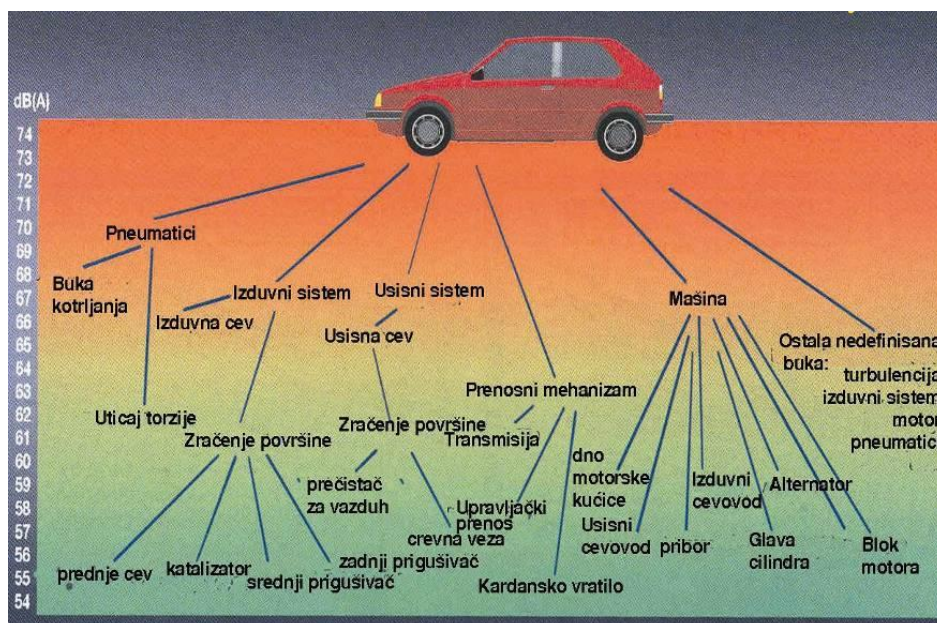
Buka koju proizvodi drumski saobraćaj pri kretanju vozila konstantnom brzinom zavisi od:

- brzine kretanja vozila,
- strukture saobraćajnog toka,
- karakteristika kolovoza,
- topografije terena,
- meteoroloških uslova i
- rezidualne buke.

Buka je promenljiva u oblastima gde kretanje vozila uključuje promene brzine i snage, npr. u zoni semafora, raskrsnica, uspona ili nizbrdica.

Putnička i teretna vozila se razlikuju po vrednostima nivoa buke koji generišu, ali i po spektralnim sadržajima generisane buke, dok autobusi i kamioni imaju slične karakteristike buke.

Dominanti izvori buke kod putničkih i teretnih vozila su pogonska jedinica vozila i kontakt površine kolovoza sa pneumaticima. Na slici 3.1 je ilustrovan doprinos svih mehanizama generisanju ukupnog nivoa buke koji stvara putničko vozilo koje zadovoljava važeći standard za dozvoljeni nivo emisije buke putničkih automobila od 74 dB na rastojanju od 15 m od izvora [21].



Sl. 3.1 Doprinos različitih mehanizama generisanju ukupnog nivoa buke putničkog vozila

3.2 MERE ZA SMANJENJE NIVOAA SAOBRAĆAJNE BUKE U URBANIM SREDINAMA

Buka se na osnovu podataka Svetske zdravstvene organizacije (WHO) smatra posle zagađenosti vazduha drugim po redu negativnim faktorom životne sredine prema uticaju koji ima na zdravlje ljudi. Efektima komunalne buke se poklanja sve više pažnje, budući da do sada sprovedena istraživanja pokazuju da ona otežava nastanak sna, čini san površnim, skraćuje fazu dubokog sna i dovodi do buđenja, što se manifestuje promenom raspoloženja, osećanjem umora, nevoljnošću, padom radne sposobnosti, glavoboljom i pojačanom nervozom.

U Evropi se brojni naučni i stručni projekti bave iznalaženjem načina za smanjenje povišenih nivoa buke. Među njima se ističe projekat “Sistematsko smanjenje buke u gradskim stambenim područjima” - SYLVIE (nem. *SYstematisch Lärmsanierung von innerstädtischen WohnVIerteln* ili eng. *Systematic noise abatement in inner city residential areas*), pokrenut od strane Gradske uprave Beča 1999. godine [32]. Neki od projekata se bave istraživanjima više vrsta izvora buke, ne samo buke saobraćaja i industrijske buke, zatim istraživanjima

buke usled rada mašina na otvorenom prostoru, istraživanjima uticaja blizine ugostiteljskih objekata i dečjih igrališta na boravišni i radni prostor u naseljenim područjima itd. Projekti koji se bave problematikom buke saobraćaja su zbog velikog broja parametara koji utiču na nivo buke ograničili svoja istraživanja samo na neke od njih, kao što su npr. istraživanja uticaja vrste pneumatika drumskih vozila ili nepravilnosti na točkovima železničkih vozila, istraživanja uticaja karakteristike vozne površine kolovoza ili šina, istraživanja uticaja rada motora vozila i sl.

Problem buke u urbanim sredinama se može efikasno rešavati primenom savremenih tehnologija i zakonskim usvajanjem strožijih granica emisije buke motornih vozila.

Aktivnosti na smanjenju nivoa saobraćajne buke se sprovode kroz primenu četiri osnovne grupe mera [34]:

1. Smanjenje buke na izvoru,
2. Smanjenje rasprostiranja buke,
3. Zaštita od buke na mestu imisije,
4. Ekonomske mere i regulativa.

Prva grupa predstavlja primarne mere, dok su ostale tri sekundarne mere zaštite od buke.

3.2.1 SMANJENJE BUKE NA IZVORU

Povišeni nivoi buke u drumskom saobraćaju su redovno posledica konstrukcije vozila i interakcije pneumatika vozila i vozne površine. Opšte je poznata činjenica da buka pogonske jedinice dominira na nižim brzinama, dok na višim brzinama dominira buka kontakta pneumatika i kolovoza, kao i da postoji određena "prelazna brzina" pri kojoj su doprinosi oba mehanizma generisanja buke isti. Kako je poslednjih decenija dosta toga urađeno na rešavanju problema smanjenja buke pogonske jedinice, to je prelazna brzina iznad koje dominira buka pneumatika sve manja, tako da za putničke automobile ona iznosi 40 km/h, a za kamione 60 km/h. Praktično, buka pogonske jedinice dominira samo u gradskim uslovima, gde su brzine kretanja vozila od 30 do 50 km/h, dok glavni mehanizam generisanja buke na otvorenom prostoru (autoputevi) predstavlja interakcija pneumatika i kolovoza [16].

Kako brzine kretanja vozila u urbanim sredinama variraju, smanjivanje buke na izvoru podrazumeva delovanje na obe komponente. Delovanje koje se odnosi na poboljšanja konstrukcije vozila obuhvata niz mera vezanih za smanjenje buke motora, prenosnog mehanizma, pneumatika vozila i slično [54].

Aktivnosti na redukciji emisije buke motora su naročito intenzivirane u drugoj polovini 20. veka, tako da je 1970. godine usvojena Direktiva 70/157/EEC kojom su propisani dopušteni nivoi emisije buke motora za različite kategorije i podkategorije vozila. Direktiva je radi ograničavanja buke koju proizvode motorna vozila do danas doživela nekoliko izmena i dopuna [21], što je predstavljeno u tabeli 3.1. Europska komisija propisala je brojne norme koje vode tehnološkim poboljšanjima uređaja, opreme i samog vozila.

Tabela 3.1 Istorijski pregled dozvoljenih nivoa emisije buke motornih vozila [21]

EU Direktiva:		70/157/EEC	77/212/EEC	84/424/EEC	92/97/EEC
Period primene:		1970	1977 - 1982	1985 – 1990	1993 - 1996
Vrsta vozila		Granična vrednost [dB]			
Putnički automobil		82	80	77	74
Dostavno vozilo i minibus	Max. mase ≤ 2 t	84	81	78	76
	Max. mase > 2 t i $\leq 3,5$ t	84	81	79	77
Autubusi mase $> 3,5$ t	Pogonska snaga < 150 kW	89	82	80	78
	Pogonska snaga ≥ 150 kW	91	85	83	80
Kamioni mase $> 3,5$ t	Pogonska snaga < 75 kW	89	86	81	77
	Pogonska snaga ≥ 75 kW i < 150 kW	89	86	83	78
	Pogonska snaga ≥ 150 kW	91	88	84	80

Budući da sva proizvedena vozila moraju da zadovolje ograničenja propisana navedenom Direktivom, pažnja se sve više usmerava na mogućnost smanjenja buke od interakcije pneumatika i vozne površine, što se može ostvariti na sledeće načine:

- smanjenjem brzine vozila,
- izborom određenog tipa vozne površine,
- održavanjem kolovoza i vozila,
- upravljanjem saobraćajem (saobraćajno opterećenje i preusmeravanje saobraćaja),
- ponašanjem vozača i uvođenjem određenih „zabrana“.

Jednu od vrlo efikasnih mera za smanjenje nivoa buke predstavlja ograničavanje dozvoljene brzine vozila. Njeno uspešno sprovođenje zahteva uvođenje automatskog praćenja brzine kretanja vozila, što se u ograničenoj meri i sprovodi. Ovom merom se ne utiče samo na

smanjenje nivoa buke, već se povećava i sigurnost vožnje i opšta bezbednost svih učesnika u saobraćaju. Dvostrukim smanjenjem brzine vozila se postiže smanjenje nivoa buke za $6\div 8$ dB.

Kada se radi o vrsti vozne površine, značajna je činjenica da površina kolovoza sa otvorenom i poroznom teksturom nije pogodna samo za smanjenje buke, već obezbeđuje i bolje prijanjanje pneumatika, a time i veću sigurnost vožnje [16,54]. Ovakvom voznom površinom se postiže smanjenje nivoa buke od 2 do 4 dB. U nekim evropskim zemljama (Francuska, Holandija) su takve vozne površine propisane standardom. Nedostatak im je potreba za intenzivnim održavanjem tokom projektnog veka, kao i znatna oštećenja posebno tokom zimskog perioda kao posledica smrzavanja. Uticaj površine kolovoza na nivo buke je istraživao u okviru Evropskog projekta SILVIA – SILenda VIA (eng. *Silent Roads*) u koji je uključeno 11 evropskih zemalja [36].

Dobro održavanje ulica i puteva smanjuje dinamičke uticaje vozila i tereta na konstrukciju oslanjanja vozila [40], ali istovremeno utiče i na smanjenje nivoa buke [23]. Loše održavanje puteva znatno utiče na povećanje saobraćajne buke, pre svega kao posledica interakcije pneumatika i površine kolovoza. Tehničko stanje vozila, odnosno njegova ispravnost, predstavljaju takođe bitan faktor u kreiranju nivoa saobraćajne buke. Pravilnim i redovnim održavanjem vozila se postižu značajni rezultati na smanjenju nivoa emisije buke vozila.

Upravljanje saobraćajem podrazumeva delovanje na smanjenje saobraćajnog opterećenja preusmeravanjem dela ukupnog saobraćaja ili vozila određenog tipa na druge saobraćajnice, ograničavanjem vremena u kojem se može obavljati saobraćaj (npr. zabrana saobraćaja teških vozila noću), kao i obezbeđivanjem stanja slobodnog saobraćajnog toka (npr. gašenjem semafora noću). Obezbeđivanjem stanja slobodnog saobraćajnog toka moguće je nivo buke smanjiti do 4 dB. Gašenje semafora tokom noći može imati dvojak efekat. Sa jedne strane se obezbeđuje stanje slobodnog saobraćaja, ali se sa druge strane time istovremeno omogućava i povećanje brzina, pa je smanjenje nivoa buke na ovaj način retko veće od 2 dB. Takođe, poznato je da teretna vozila znatno povećavaju nivo buke. Pri ograničavanju vožnje pojedinim tipovima teretnih vozila potrebno je ispravno definisati faktore ekvivalencije koji pokazuju koliko je vozila referentne klase (laka vozila) akustički ekvivalentno posmatranoj klasi vozila. Na primer, za smanjenje nivoa buke za 10 dB, potrebno je smanjiti saobraćajno opterećenje za 90% [16].

Kada se radi o mogućnosti preusmeravanja saobraćaja, bitno je imati u vidu da uklanjanje saobraćaja s jedne saobraćajnice uzrokuje povećanje nivoa buke na drugoj saobraćajnici.

Ova je mera donekle opravdana ako se saobraćaj sa manjih gradskih saobraćajnica preusmerava na novije saobraćajnice ili one koje su predviđene za saobraćaj teretnih vozila. Efekat navedene mere je manje povećanje nivoa buke na saobraćajnici na koju je preusmeren saobraćaj, ali i znatnije smanjenje nivoa buke na manjoj gradskoj saobraćajnici usled rasterećenja saobraćaja.

Poznato je da nivo buke pojedinačnog vozila ne zavisi samo od brzine vozila, već i od stepena prenosa i načina ubrzavanja i usporavanja. Pasivnom vožnjom se može postići smanjenje nivoa buke za oko 5 dB za putnička i teretna vozila i do 7 dB za motocikle [16]. Saobraćaj motorcikala predstavlja poseban problem jer može da utiče na povećanje buke i do 20 dB. Iz tog razloga se uvode zabrane vožnje motorcikala npr. noću ili zabrane njihove vožnje bez ugrađenih specijalnih prigušivača zvuka.

3.2.2 SMANJENJE RASPROSTIRANJA BUKE

U urbanim sredinama je praktično neizvodljivo svođenje nivoa saobraćajne buke na propisane vrednosti preduzimanjem mera za smanjenje buke na izvoru, zbog čega se često primenjuju mere smanjenja rasprostiranja buke na mestu imisije koje obuhvataju primenu raznih barijera za zaštitu od buke, kao i planiranje i upravljanje prostorom u blizini saobraćajnice.

Poznato je da drumske saobraćajnice, kao i tramvajske i železničke pruge generišu povišene nivoe buke u svojoj okolini. Prilikom planiranja izgradnje nove saobraćajnice ili rekonstrukcije već postojeće saobraćajnice u urbanim sredinama, potrebno je obratiti posebnu pažnju zaštiti od buke postojećih objekata. U takvim slučajevima je potrebno razgraničiti dve situacije – prvu, kada je prostor u neposrednoj blizini saobraćajnice ređe izgrađen i drugu, kada je prostor u neposrednoj blizini saobraćajnice gusto izgrađen. Pravilnim planiranjem saobraćajnice kroz područje ređe izgrađenosti mogu se izbeći neželjene posledice povećanih nivoa buke od saobraćaja. Ukoliko se planira izvođenje radova na saobraćajnoj infrastrukturi u već gusto izgrađenim područjima, velika pažnja se mora posvetiti zaštiti postojećih objekata u smislu urbanističkog planiranja gradskih zona i saobraćajnica u odnosu na stambene zgrade i definisanja dopuštenih planskih nivoa buke za pojedine zone prema nameni i sadržaju prostora kroz postupak akustičkog zoniranja teritorije.

U okviru planiranja i upravljanja prostorom radi smanjenja rasprostiranja buke moguće je preduzeti sledeće mere:

- osigurati dovoljnu udaljenost stambenih zona od izvora buke,
- smestiti pojedine sadržaje na koje buka nema veliki uticaj (npr. parkirališta, trgovački centri i sl.) u područja između izvora buke i stambenih zona koje su „osetljive“ na povišene nivoe buke.

Najčešći i vrlo efikasan način smanjenja rasprostiranja buke predstavljaju barijere za zaštitu od buke postavljene neposredno uz drumske ili železničke saobraćajnice. Barijerama odgovarajućih dimenzija i konstrukcije se postiže efekat smanjenja nivoa buke na projektom predviđeni nivo odmah nakon montaže. Pravilno odabrane barijere mogu na mestu imisije smanjiti nivo buke i do 15 dB. Ako se objekti nalaze u neposrednoj blizini vrlo opterećene saobraćajnice, smanjenje nivoa buke iznosi oko 5 do 10 dB [16]. Barijere se razlikuju prema obliku, materijalu od koga su napravljene, a na osnovu toga i prema akustičkim svojstvima. Donošenje odluke o njihovom postavljanju i određivanje tipa barijere predstavlja multidisciplinarni projekat stručnjaka raznih profila: akustičara, arhitekata i građevinara. Istraživanja koja je 1999. god. sproveo I-INCE (The International Institute of Noise Control Engineering) pokazala su da, iako su skuplje u poređenju sa ostalim, najčešću primenu u praksi imaju zaštitne barijere sa apsorbujućim svojstvima.

Postojeći objekti, kao npr. zgrade, zaslони (ograde, reklamni panoi), vegetacija (npr. drvoređi) i sl., koji se često nalaze neposredno uz saobraćajnice, danas su najčešća varijanta barijera za zaštitu od buke iako im to nije osnovna funkcija. Podaci govore da je na ovaj način u nekim slučajevima nivo buke moguće sniziti i do 12 dB [16].

Smeštanje saobraćajnica u useke (denivelacija) ili izgradnja tunela u slučaju zahteva velikog stepena smanjenja nivoa buke, takođe predstavljaju moguće metode smanjenja saobraćajne buke. Tuneli se u urbanim zonama grade na mestima čija je cena zemljišta vrlo visoka i najdelotvorniji su način zaštite od buke. Ipak, ova mera se retko primenjuje budući da su cene građenja, održavanja, rasvete i ventilacije vrlo visoke. Zidovi na ulazu u tunele su uglavnom obloženi apsorbujućim panelima kako bi se smanjilo rasprostiranje buke u okolinu. Oblaganje zidova panelima našlo je takođe veliku primenu na ulazima i izlazima iz podvožnjaka koji su više zastupljeni u urbanim sredinama. Naime, oblaganjem zidova apsorbujućim panelima se nivo buke može smanjiti i do 10 dB [16].

3.2.3 ZAŠTITA OD BUKE NA MESTU IMISIJE

Ukoliko ne postoji mogućnost primene metoda za smanjenje buke na izvoru i metoda za sprečavanje njenog rasprostiranja, ponekad je potrebno primeniti mere zaštite od buke na mestu imisije. Navedena mera zaštite od buke podrazumeva primenu tehnika za zvučnu izolaciju, pa time i veću pažnju pri projektovanju objekata. Kod primene zvučne izolacije se najviše postiže izolovanjem zidova, prozora i vrata objekata. Primena zvučne izolacije kao zaštite od buke se uglavnom razmatra kao poslednja varijanta zbog visoke cene koštanja. Naime, cena dodatne zvučne zaštite stambenog objekta iznosi otprilike 15 % od cene samog objekta kada je spoljašnji nivo buke u opsegu od 75 do 77 dB [16]. I pored toga, otvoreni prostori objekta (npr. balkoni i dvorišta) će i dalje imati povišene nivoe buke.

Radi smanjenja nivoa buke u samom objektu se sve veća pažnja posvećuje projektovanju samog objekta. Kod objekata smeštenih uz saobraćajnice se najveći problem s povišenim nivoima buke pojavljuje u prostorijama koje su neposredno orijentisane na saobraćajnicu. U cilju smanjenja cene zvučne izolacije takvog objekta se manje osjetljivi prostori (kuhinje, kupaonice, ostave) već u fazi projektovanja mogu orijentisati prema saobraćajnici kako bi preostali delovi (spavaće, dnevne i radne sobe) bili sa “tiše” strane objekta.

3.2.4 EKONOMSKE MERE I REGULATIVA

Ekonomske mere zaštite podržane zakonskom regulativom obuhvataju: naknade za vozila čiji je nivo buke veći od propisanog, subvencije kojima se podstiče smanjenje nivoa buke, formiranje cene goriva (npr. cena benzina u odnosu na cenu dizela [16]), osnivanje fondova čija su sredstva namenjena sprovođenju mera zaštite od buke, istraživanjima i razvoju.

Iako se ekonomskim merama može na jednostavan način uticati na smanjenje nivoa buke, one se i u razvijenim evropskim zemljama primenjuju ograničeno.

3.2.5 OPTIMALNE MERE SMANJENJA NIVOA BUKE

Mere koje se odnose na smanjenje brzine, uređenje i zamenu vozne površine kolovoza, brušenje vozne površine šina, održavanje vozila, ponašanje vozača u prometu, kao i na upravljanje saobraćajem u smislu preusmeravanja saobraćaja i ograničavanja saobraćaja u vremenu i prostoru, svakako bi znatno doprinele smanjenju nivoa buke u urbanim sredinama. Međutim, takva očekivanja u kraćem periodu nisu realna iz mnogo razloga. Ocena rezultata primene nekih od mera bi zahtevala dugoročna posmatranja i učestala merenja nivoa buke. Od navedenih mera je posebno značajno preusmeravanje saobraćaja sa jedne saobraćajnice

na drugu ili sa jednog oblika prevoza na drugi. Sumarni prikaz uticaja pojedinih mera za zaštitu od buke za smanjenje nivoa buke u urbanim sredinama, gde su brzine uglavnom od 30 do 60 km/h, prikazan je u tabeli 3.2.

Tabela 3.2 *Smanjenje buke drumskog saobraćaja u zavisnosti od izbora mere zaštite*

Mera zaštite od buke		Efekat mere [dB]
Smanjenje buke na izvoru	Rad motora vozila	3 ÷ 5
	Smanjenje brzine	2 ÷ 8
	Vozna površina	2 ÷ 5
	Upravljanje saobraćajem	2 ÷ 4
	Preusmeravanje saobraćaja	5 ÷ 10
	Ponašanje vozača	0 ÷ 5
Smanjenje rasprostiranja buke / Planiranje prostora	Dovoljna udaljenost od saobraćajnica	3 ÷ 5
Smanjenje rasprostiranja buke / Zaklanjanje prostora koji se štiti	Primena barijera	0 ÷ 15
	Smeštanje saobraćajnica u useke	0 ÷ 5
	Smeštanje saobraćajnica u tunele	0 ÷ 30
Zaštita od buke na mestu imisije	Zvučna izolacija objekata	3 ÷ 10
	Raspored prostorija u objektu	0 ÷ 12
Ekonomske mere i regulativa	Plaćanje naknade za “bučna” vozila	-
	Formiranje cene goriva	-
	Subvencije za novija “tiha” vozila	-

Izgradnja barijera, kao dokazano najefikasnijeg rešenja za smanjenje nivoa buke, ne predstavlja veći problem u slučaju autoputeva i železničkih pruga koje prolaze blizu naselja. Međutim, u slučajevima kada glavni saobraćajni tokovi pojedinih vrsta saobraćaja prolaze kroz naselja, odnosno poslovno-stambene zone, postavlja se pitanje primene takve mere zaštite od buke kojom bi pored smanjenja nivoa buke bilo potrebno postići i njeno uklapanje u postojeći prostor ne narušavajući njegovu funkcionalnost i estetiku.

4

Statistička analiza uzorka u funkciji istraživanja

ZNAČAJ I PRIMENA STATISTIKE U ISTRAŽIVANJU

DESKRIPTIVNA STATISTIKA

PROCENA MERNE NESIGURNOSTI U OBRADI REZULTATA ISTRAŽIVANJA

VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMIZACIJA IZBORA MERNE STRATEGIJE ZA PROCENU
DUGOTRAJNE VREDNOSTI INDIKATORA BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI

4.1 ZNAČAJ I PRIMENA STATISTIKE U ISTRAŽIVANJU

Statistika se kao naučna disciplina bavi razvojem metoda prikupljanja, opisivanja, prikazivanja i analiziranja podataka, kao i primenom tih metoda u procesu donošenja zaključaka na osnovu prikupljenih i analiziranih podataka. Odluke i zaključci doneti na osnovu rezultata istraživanja pomoću statističkih metoda se nazivaju procenama i prognozama, dok se odluke i zaključci koji se donose bez primene statističkih metoda smatraju nagađanjima i kao takvi nisu pouzdani.

Na osnovu pristupa izučavanju problema i prirode predmeta koji se razmatraju, vremenom su se izdvojila dva statistička pravca [38]:

1. Teorijska ili matematička statistika, koja se bavi razvojem, izvođenjem i dokazivanjem statističkih teorema, metoda, formula, pravila i zakona, i
2. Primijenjena statistika, koja podrazumeva primenu tih teorema, metoda, formula, pravila i zakona u rešavanju realnih problema.

Primijenjena statistika se u najširem smislu može podeliti na dve oblasti - deskriptivnu statistiku i inferencijalnu statistiku.

Deskriptivna statistika se sastoji od metoda prikupljanja, sređivanja, prikazivanja i opisivanja postojećih podataka pomoću grafikona, tabela i sumarnih pokazatelja.

Inferencijalna ili induktivna statistika je oblast koja obuhvata statističke metode pomoću kojih se na osnovu rezultata iz uzorka dolazi do zaključaka o karakteristikama celog skupa. U okviru induktivne statistike se statističkim metodama vrši kvantitativna analiza međusobnih odnosa između pojava koje imaju masovni karakter i donose određeni zaključci o zakonitostima po kojima se odvijaju posmatrane pojave, što se smatra statističkom analizom.

Deskriptivnu i induktivnu statistiku povezuje verovatnoća koja predstavlja šansu javljanja određenog ishoda.

Predmet istraživanja statistike predstavljaju u načelu pojave koje su po svojoj prirodi varijabilne, koje imaju masovni karakter i čija pravila (zakonitosti) po kojima se odvijaju nisu unapred određena egzaktnim uzročno-posledičnim vezama. U tom smislu, predmet proučavanja matematičke statistike su rezultati posmatranja ili eksperimenata koje je moguće ponoviti neograničen broj puta pri istim uslovima, a kod kojih nije moguće tačno predviđanje rezultata za svaki pojedinačan eksperiment, pri čemu su dati rezultati izraženi nekim karakterističnim obeležjima koja mogu biti kvantitativna ili kvalitativna.

Priroda i varijabilni karakter buke u životnoj sredini, koji je uslovljen brojnim faktorima, posmatran u amplitudnom, frekvencijskom i vremenskom domenu, predstavlja u novije vreme jedan od aktuelnih predmeta proučavanja primenjene statistike sa bitnim značajem i posledicama u raznim oblastima ljudskog delovanja, a posebno u oblasti tehnike i zdravstva.

Primena statistike u istraživanju podrazumeva da se u pripremi istraživanja izabranog problema poštuju sledeća pravila:

- Populaciju koja je predmet istraživanja potrebno je detaljno proučiti, zabeležiti njene osnovne karakteristike i ciljeve istraživanja, kreirati kvalitetan uzorak i odabrati metodu za prikupljanje podataka;
- Izabrati prikladne metode za opis skupa prikupljenih podataka (deskriptivna statistika);
- Izabrati prikladne statističke metode za zaključivanje o populaciji na osnovu prikupljenih podataka na uzorku.

4.1.1 POPULACIJA I STATISTIČKI UZORAK

Osnovni skup ili *populaciju* čine svi elementi ili jedinice posmatranja (rezultati merenja) koje se žele obuhvatiti istraživanjem, tj. čije se karakteristike ispituju i o kojima se želi zaključivati.

Prikupljanje podataka o obeležjima svih jedinica statističkog skupa je često ekonomski neisplativo u pogledu angažovanja potrebnih materijalnih i ljudskih resursa ili zahteva previše vremena, a po nekada nije ni moguće ako je on npr. beskonačan. U takvim slučajevima se vrši reprezentativno posmatranje kojim se obuhvata samo deo jedinica statističkog skupa ili *statistički uzorak*. Kao takav, statistički uzorak predstavlja deo statističkog skupa na osnovu čijih se osobina donose zaključci o karakteristikama skupa iz koga je uzorak izabran. Dakle, uzorkom se dolazi do procene karakteristika osnovnog skupa, a statističkom metodom se određuje pouzdanost i preciznost te procene. Svi ti postupci čine metodu koja se naziva *metoda uzoraka* ili *reprezentativna metoda*.

Smisao primene metode uzoraka je u nastojanju da se dobiju dovoljno precizne procene parametara osnovnog skupa, tj. populacije, a da se pri tome ispita samo jedan njegov deo.

Prilikom izbora veličine uzorka potrebno je voditi računa o sledećim faktorima:

- željenom, unapred određenom stepenu preciznosti zaključivanja koji se želi postići,
- stepenu varijabilnosti podataka u osnovnom skupu,

- visini potrebnih troškova za formiranje uzorka,
- dužini vremena koje je potrebno za formiranje uzorka,
- veličini osnovnog skupa.

Poznato je da što je populacija homogenija, to je potrebno izabrati manji broj elemenata u uzorak da bi se dostigla preciznost određenog parametra. Pošto je i informacija o varijabilitetu obeležja osnovnog skupa takođe značajna, a ujedno i veoma često nepoznata, postupak određivanja veličine uzorka se svodi na inventivnost i veštinu. Standardna devijacija (varijabilitet) se u praktičnim istraživanjima procenjuje na osnovu ranijih istraživanja, analogije između sličnih istraživanja, kao i sprovedenih istraživačkih rezultata. Ukoliko ni jedan od navedenih načina nije zadovoljavajući, tada se računa standardna devijacija uzorka i povećava broj jedinica u uzorku dok se ne obezbedi željena preciznost procene.

Na veličinu uzorka značajno utiče stepen pouzdanosti procene traženog parametra populacije. Kako se stepen pouzdanosti procene smanjuje, tako se smanjuje i veličina uzorka i suprotno.

Činjenica da se istraživanja provode pod određenim finansijskim ograničenjima ne utiče samo na odluku o veličini uzorka, već i na vrstu uzorka i način prikupljanja podataka. U tom smislu, ukoliko je učestalost pojavljivanja nekog obeležja u populaciji veća, to je potrebna veličina uzorka manja i suprotno. Veličinu uzorka nije moguće uopšteno definisati jer ona zavisi od varijabilnosti pojave koja se meri i od preciznosti kojom se pojava želi izmeriti. Svakako, poželjno je da uzorak bude što veći, ali se u konkretnim istraživanjima može dogoditi da povećavanjem uzorka istraživanje postaje sve skuplje.

Osnovni zadaci statističkog zaključivanja pomoću metode uzoraka se odnose na procenjivanje nepoznatih parametara osnovnog skupa (populacije) na osnovu konačnog niza podataka i na ispitivanje pretpostavki (testiranje hipoteza) o parametrima. Metoda uzoraka polazi od proučavanja odnosa između konačnog niza podataka (uzorka) i modela distribucije verovatnoće slučajne varijable.

Da bi zaključci o karakteristikama skupa bili validni, neophodno je da uzorak bude reprezentativan, odnosno da u njemu budu zastupljene sve tipične karakteristike statističkog skupa iz kojeg je izabran. Pri tome je bitno naglasiti da savršeno reprezentativan uzorak ne postoji, jer kada bi se slučajnim izborom uvek dobijao reprezentativan uzorak, onda bi se statističko zaključivanje svelo na merenje elemenata jednog uzorka, izračunavanje željene vrednosti i njeno proglašavanje za parametar skupa. S obzirom na to da je iz neke populacije

moгуće u zavisnosti od veličine skupa izabrati veći ili manji broj uzoraka, vrednosti koje se u njima dobiju će se razlikovati od uzorka do uzorka, pa samim tim i od vrednosti parametra. Zbog toga što najveći broj uzoraka nije savršeno reprezentativan, statistika koja se izračunava na osnovu vrednosti uzorka nije precizna ocena parametra, a zaključci koji se donose na osnovu uzorka nemaju apsolutnu sigurnost, već se govori o određenoj pouzdanosti izvedenog zaključka.

Uzorak je savršeno reprezentativan samo u sledeća dva slučaja:

1. Kada je veličina uzorka jednaka veličini skupa, i
2. Ako bi skup bio apsolutno homogen, odnosno sastavljen od identičnih jedinica, pa bi se posmatranjem samo jedne jedinice skupa došlo do istih rezultata kao i posmatranjem celog skupa.

4.1.2 STATISTIČKO OBELEŽJE

Varijabilitet u smislu raznovrsnosti i raznolikosti je univerzalno prisutan u okruženju, bilo kada je reč o osobinama objekata ili o rezultatima merenja pojedinih veličina. Statistička istraživanja se odnose na skup objekata, tj. jedinki ili eksperimentalnih rezultata merenja određenih veličina (npr. nivoa buke) i skup odabranih osobina ili veličina koje se na njima posmatraju. Osobine ili veličine koje se posmatraju na jedinkama nazivaju se *varijable*. Prema tome, varijabilna pojava je ona pojava na koju utiče veliki broj varijabilnih faktora i na osnovu toga uzima različite vrednosti od jednog do drugog slučaja svog ispoljavanja.

Jedinice osnovnog skupa se mogu međusobno razlikovati po brojnim karakteristikama (varijablama), koje u konkretnom istraživanju mogu, ali ne moraju biti predmet interesovanja. U zavisnosti od cilja istraživanja, pažnja se usmerava na jednu, dve ili veći broj ovakvih osobina. Takve karakteristike se nazivaju statističko obeležje.

Obeležje (promenljiva, varijabla) je osobina po kojoj se jedinice skupa (populacije) među sobom razlikuju i postaje jedino bitna za statističko zaključivanje. Vrednost promenljive (obeležja) koja se odnosi na jedinicu posmatranja predstavlja podatak ili opservaciju. U tom smislu, podaci su skup činjenica koji su dobijeni kao rezultat posmatranja individualnih objekata. Obeležja mogu biti kvantitativna (numerička) ili kvalitativna (atributivna).

Kvantitativna (numerička) promenljiva je ona vrsta promenljive koja se može iskazati broјčano. Podaci o kvantitativnoj promenljivoј se nazivaju kvantitativnim podacima. Vrednosti određene kvantitativne promenljive mogu biti prebroјive i neprebroјive.

Promenljiva čije se vrednosti mogu prebrojati naziva se prekidnom ili diskretnom promenljivom i ona može da uzme samo izolovane vrednosti koje su najčešće celi brojevi, a ne i međuvrednosti. Skup mogućih vrednosti koje uzima obeležje je konačan ili prebrojiv.

Neprekidna ili kontinuirana promenljiva može imati bilo koju vrednost između dva broja. Njene vrednosti se ne mogu prebrojati i najčešće je rezultat merenja.

Promenljive koje se prirodno ne mogu iskazati broјčano, ali se mogu razvrstati u različite kategorije, jesu kvalitativne ili kategorijske promenljive (atributivne). Prikupljeni podaci o ovakvoj promenljivoj se nazivaju kvalitativni podaci. Vrednost atributivnog (kvalitativnog) obeležja se izražava opisno. U statistici se i atributivna obeležja mogu izraziti numerički, preko kodova, rangova, procenata i sl. i svrstati u posebne kategorije.

4.2 DESKRIPTIVNA STATISTIKA

4.2.1 METODE ZA OPISIVANJE KVALITATIVNIH PODATAKA

Osnovna mera kojom se opisuje zastupljenost jedne kategorije u uzorku je frekvencija kategorije. Ukoliko varijabla X ima k kategorija: $x_1, x_2, \dots, x_k$, odnosno $x_i, i = 1, \dots, k$, tada frekvencija kategorije x_i predstavlja broj izmerenih vrednosti varijable koje pripadaju kategoriji $x_i, i = 1, \dots, k$ i označava se sa f_i .

Relativna frekvencija kategorije x_i je broj izmerenih vrednosti varijable koje pripadaju kategoriji x_i podeljen sa ukupnim brojem izmerenih vrednosti za ispitivanu varijablu, $i = 1, \dots, k$. Ako je n dimenzija uzorka, tj. broj svih izmerenih vrednosti ispitivane varijable, relativna frekvencija kategorije x_i se računa kao f_i / n .

4.2.2 DESKRIPTIVNE STATISTIČKE MERE

Numeričke mere su statistički pokazatelji koji opisuju posmatrane podatke na sintetički način tako da se karakteristike svih posmatranih podataka opisuju jednim podatkom.

Deskriptivne statističke mere se klasifikuju u četiri grupe [38]:

1. mere centralne tendencije (srednje vrednosti);
2. mere varijabiliteta (disperzije; odstupanja);
3. relativno učešće (proporcija);
4. mere oblika rasporeda;

Deskriptivne statističke mere opisuju podatke kako na nivou skupa tako i na nivou uzorka, tj. pripisuju se statističkom skupu ili uzorku u zavisnosti od toga da li se izračunavaju na bazi skupa ili na bazi uzorka.

Deskriptivne mere koje se analiziraju i izračunavaju pomoću vrednosti obeležja kod svih jedinica osnovnog skupa nazivaju se parametri skupa. Uzorak predstavlja samo sredstvo kojim se dolazi do podataka o karakteristikama skupa, što znači da uzorak sam po sebi nije cilj, već sredstvo da se dođe do neke bitne numeričke karakteristike skupa koja predstavlja parametar skupa. Parametar skupa (ili samo parametar) predstavlja neku sumarnu numeričku karakteristiku skupa.

Iz same definicije parametra se može zaključiti da je to jedan broj koji se odnosi isključivo na skup i da se do njega može doći jedino putem obuhvatanja svih elemenata skupa.

Najčešće korišćeni parametri skupa su aritmetička sredina (μ), standardna devijacija (σ) i proporcija (p) dela statističkih jedinica koje imaju određeno svojstvo.

Kako se u statistici retko koristi metod popisa zbog velikih troškova ili nemogućnosti obuhvatanja svih jedinica skupa (ako je skup beskonačan), to znači da se do vrednosti parametra skupa ne može doći. Međutim, u statistici se o nepoznatom parametru skupa dolazi na osnovu odgovarajućeg pokazatelja iz uzorka. Deskriptivne mere koje se izračunavaju pomoću podataka u uzorku se nazivaju statistika uzorka. S obzirom na to da služe za procenu parametara osnovnog skupa, ove deskriptivne mere se nazivaju proceniteljima.

Statistika uzorka je varijabla koja se naziva sampling-varijabla. Najznačajnije sampling-varijable su aritmetička sredina uzoraka ($\bar{x}$), standardna devijacija uzoraka (s) i proporcija uzoraka (P).

Kod procene parametara osnovnog skupa pomoću uzorka bitno je poznavanje oblika distribucije verovatnoće sampling-varijable ili kraće sampling-distribucije. Za sampling-distribuciju aritmetičkih sredina uzoraka važe sledeća pravila:

- Ako je slučajni uzorak veličine n izabran iz normalno distribuiranog osnovnog skupa s aritmetičkom sredinom μ i standardnom devijacijom σ , aritmetička sredina uzoraka je slučajna varijabla $\bar{x}$ sa normalnim zakonom distribucije i parametrima μ (očekivana vrednost) i $\sigma_{\bar{x}}$ (standardna devijacija ili standardna greška procene aritmetičke sredine).

- Ukoliko je slučajni uzorak dovoljno veliki ($n > 30$) i izabran iz osnovnog skupa bilo kojeg oblika distribucije posmatranog obeležja s aritmetičkom sredinom μ i standardnom devijacijom σ , aritmetička sredina uzoraka $\bar{x}$ teži normalnom obliku distribucije sa parametrima μ i $\sigma_{\bar{x}}$.
- Ako se napravi k mogućih uzoraka veličine n iz osnovnog skupa od N elemenata, zatim se izračuna aritmetička sredina za svaki uzorak čije su vrednosti $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_k$, onda je aritmetička sredina aritmetičkih sredina svih mogućih uzoraka jednaka aritmetičkoj sredini osnovnog skupa:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{x}_i}{k} = \mu \quad (4.1)$$

Vrednost parametra osnovnog skupa je uvek konstanta, što znači da za bilo koji niz podataka osnovnog skupa postoji samo jedna vrednost aritmetičke sredine. To se ne odnosi na aritmetičku sredinu uzoraka budući da različiti uzorci iste veličine, izabrani iz istog osnovnog skupa, daju različite vrednosti aritmetičke sredine. Vrednost aritmetičke sredine uzorka zavisice od toga koji su elementi izabrani u uzorak. Prema tome, aritmetička sredina uzorka je slučajna promenljiva.

4.2.2.1 Aritmetička sredina - osobine i interpretacija

Mere centralne tendencije se mogu podeliti u dve grupe - izračunate i pozicione.

Izračunate mere centralne tendencije se dobijaju računskim putem na osnovu formule, dok se pozicione određuju prema položaju koji data srednja vrednost ima unutar originalnih podataka. Najčešće korišćene izračunate srednje vrednosti su aritmetička, geometrijska i harmonijska sredina, dok u pozicione srednje vrednosti spadaju modus i medijana.

Aritmetička sredina je najčešće korišćena mera centralne tendencije. Naziva se još i srednja vrednost ili prosek. Dobija se kada se zbir svih vrednosti posmatranog obeležja podeli njihovim brojem. Aritmetička sredina kao prosečna vrednost svih jedinica skupa izravna apsolutne razlike između podataka posmatrane serije.

Aritmetička sredina se za negrupisane podatke (prosta aritmetička sredina) dobija kada se zbir vrednosti svih obeležja podeli brojem podataka:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (4.2)$$

Aritmetička sredina (ponderisana aritmetička sredina) se kod grupisanih podataka dobija tako što se vrednost svakog obeležja ponderiše odgovarajućom frekvencijom, a zatim se zbir tako dobijenih vrednosti podeli sumom svih frekvencija:

$$\bar{x} = \frac{\sum(f_i x_i)}{n} \quad (4.3)$$

Ukoliko su podaci grupisani kao neprekidna obeležja, najpre se određuje sredina svakog intervala, a zatim se sredine intervala množe odgovarajućim frekvencijama. Aritmetička sredina nije najbolji pokazatelj kada u seriji postoje ekstremne vrednosti.

Aritmetička sredina osnovnog skupa μ predstavlja parametar koji se procenjuje brojem ili intervalom. Predstavljanje aritmetičke sredine osnovnog skupa μ intervalom se zasniva na formiranju intervala određene širine u zavisnosti od željene pouzdanosti (ili poverenja) procene – što je interval širi, procena je pouzdanija, tj. veća je verovatnoća da će se aritmetička sredina osnovnog skupa naći u njemu.

Za određivanje medijane kao pozicione srednje vrednosti skupa je najpre potrebno poredati izmerene vrednosti $x_1, x_2, \dots, x_n$ varijable X po veličini (u rastućem poretku, tj. od manjeg prema većem). Ukoliko je broj izmerenih vrednosti neparan, onda postoji vrednost koja je na srednjoj poziciji u uređenom skupu, pa se ona definiše kao medijana. Ukoliko je broj izmerenih vrednosti paran, tada se medijana definiše kao aritmetička sredina dva podatka na srednjoj poziciji.

4.2.2.2 Apsolutne i relativne mere disperzije

Mere centralne tendencije (srednje vrednosti) nisu dovoljne da u potpunosti opišu raspored jedinica statističkog skupa. Može se desiti da jedna mera srednje vrednosti bude potpuno ista za različite serije podataka, zbog čega ona ne može biti dovoljna karakteristika svih posmatranih jedinica sa stanovišta njihovog varijabiliteta.

Mere varijacije se mogu podeliti u zavisnosti od toga da li se varijacije izražavaju u apsolutnim ili relativnim mernim jedinicama. Ukoliko su mere izražene u jedinicama mere u kojim je izraženo obeležje, onda se govori o apsolutnim merama varijacije, a ako su izražene procentualno ili u standardnim devijacijama, onda je reč o relativnim merama varijacije. Mere varijacije se takođe mogu podeliti i na osnovu toga da li se njihova vrednost određuje prema poziciji koju zauzimaju u seriji podataka ili se dobijaju računskim putem, tj. pomoću obrasca, na izračunate i pozicione, kao i mere centralne tendencije.

- 1. Interval (raspon) varijacije** - Računa se kao razlika najveće i najmanje vrednosti obeležja u seriji:

$$R_x = x_{max} - x_{min} \quad (4.4)$$

- 2. Varijansa** (varijansa skupa - σ^2 , varijansa uzorka - s^2) - Ukoliko se umesto zbira apsolutnih odstupanja u brojilac stavi zbir kvadratnih odstupanja svih članova serije od aritmetičke sredine, a u imenilac broj podataka, dobija se mera varijabiliteta koja se naziva varijansa (srednja kvadratna greška merenja) i pokazuje prosečna kvadratna odstupanja od njihove aritmetičke sredine.

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{N} \quad (4.5)$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (4.6)$$

- 3. Standardna devijacija** (σ - standardna devijacija skupa, s - standardna devijacija uzorka) - Kako varijansa predstavlja meru varijabiliteta koja se često primenjuje u statistici, ona ima veliki nedostatak što kvadrira odstupanja, pa se prilikom njene interpretacije ona iskazuje u kvadratima mernih jedinica, a takođe se povećava veličina izračunatog pokazatelja. Zbog toga se izračunava kvadratni koren iz varijanse, čime se dobija najčešće korišćena mera varijabiliteta u statistici - standardna devijacija.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{N}} \quad (4.7)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (4.8)$$

Standardna devijacija predstavlja prosečno odstupanje svih podataka od aritmetičke sredine.

4.2.2.3 Pouzdanost i preciznost procene

Parametri osnovnog skupa se mogu procenjivati sa različitim nivoima pouzdanosti, pošto se procenjivanje nikada ne vrši preko tačkaste ocene (ocena jednim brojem).

Tačkasto procenjivanje podrazumeva da je aritmetička sredina uzorka tačkasta ocena aritmetičke sredine populacije. S obzirom na to da se radi o jednom od velikog broja mogućih

uzoraka i jednoj vrednosti statistike uzorka, realno je očekivati da je ova vrednost bliža ili dalja od prave vrednosti parametra populacije. Zato se u praksi češće koristi interval procenjivanja. Intervalno procenjivanje podrazumeva da se formira interval u kome se sa određenom verovatnoćom očekuje vrednost parametra osnovnog skupa. Interval procene sa odgovarajućom merom pouzdanosti (poverenja) se naziva interval poverenja.

Interval poverenja je raspon (područje) vrednosti za koje se veruje da uključuje nepoznatu vrednost parametra populacije. Uz ovaj interval ide i informacija o meri poverenja sa kojom se očekuje da ovaj interval zaista sadrži vrednost posmatranog parametra.

Nivo pouzdanosti koji je pridružen intervalu poverenja za ocenu aritmetičke sredine ili proporcije pokazuje kolika je sigurnost da ovaj interval sadrži pravu vrednost parametra skupa. Nivo pouzdanosti se obeležava sa $(1 - \alpha)$, gde α predstavlja verovatnoću greške, odnosno verovatnoću da interval neće obuhvatiti nepoznati parametar. Iako se može odabrati bilo koji nivo pouzdanosti, u praksi se najčešće koriste nivoi od 0.90, 0.95 i 0.99, odnosno 90 %, 95 % i 99 %. Ukoliko bi se na osnovu istog uzorka ocenjivao nepoznati parametar uz nivo pouzdanosti od 0.95, a zatim sa nivoom pouzdanosti od 0.99, dobila bi se dva intervala različitih širina, pri čemu bi interval koji je donet sa pouzdanošću od 0.99 bio širi, pa samim tim i neprecizniji [37]. Širi interval poverenja znači manje precizan zaključak. Drugim rečima, sa porastom pouzdanosti se smanjuje preciznost ocene. Interval ponekad može biti toliko širok da rezultat gubi svaku informativnost i praktičnu korist. Zbog toga se u praksi najčešće koristi nivo pouzdanosti od 95 %, jer se istovremeno postiže velika preciznost i visoka pouzdanost.

Interval procene aritmetičke sredine populacije se određuje tako što se aritmetičkoj sredini uzorka s jedne strane doda, a sa druge strane oduzme određen broj z_i standardnih grešaka procene, pri čemu taj broj zavisi od željene pouzdanosti intervalne procene. Broj z_i se naziva koeficijent pouzdanosti procene ili koeficijent poverenja. Najčešće se formiraju intervali procene sa 95 %-tnom pouzdanošću. Koeficijent poverenja u tom slučaju iznosi 1.96.

Interval procene aritmetičke sredine populacije se predstavlja izrazom oblika

$$P\{(\bar{x} - z_{\alpha/2} \cdot \sigma_{\bar{x}}) \leq \mu \leq (\bar{x} + z_{\alpha/2} \cdot \sigma_{\bar{x}})\} = 1 - \alpha \quad (4.9)$$

gde je:

P - pouzdanost,

α - verovatnoća greške u proceni aritmetičke sredine populacije,

$(1 - \alpha)$ - pouzdanost intervalne procene.

Izrazom (4.9) se središnja tačka intervala opisuje kao aritmetička sredina uzorka $\bar{x}$ oko koje se gradi interval, sa željom da se u njemu nađe aritmetička sredina populacije μ .

Osim koeficijenta poverenja, za određivanje intervala procene aritmetičke sredine populacije potrebno je izračunati i standardnu grešku aritmetičke sredine. U izrazima se za njeno izračunavanje (tabela 4.1) koriste sledeći simboli:

$\sigma_{\bar{x}}$ - standardna greška procene aritmetičke sredine populacije;

σ - standardna devijacija populacije (ako je otprilike poznata);

s - standardna devijacija uzorka;

$\hat{\sigma}$ - standardna devijacija populacije procenjena pomoću uzorka;

N - opseg (broj jedinica) populacije (osnovnog skupa);

n - opseg (broj jedinica) uzorka ($n > 30$);

f - frakcija izbora. Predstavlja odnos veličine uzorka i veličine populacije, tj. $f = n/N$. Recipročna vrednost frakcije izbora N/n se zove *korak izbora*.

Tabela 4.1 *Određivanje standardne greške aritmetičke sredine populacije*

Izraz za standardnu grešku aritmetičke sredine populacije	Uslovi za primenu izraza
$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	σ poznato i $f < 0.05$
$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N-n}{N-1}}$	σ poznato i $f \geq 0.05$
$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}}$	σ nije poznato i $f < 0.05$
$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N-n}{N-1}}$	σ nije poznato i $f \geq 0.05$
$\sigma_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n-1}}$	σ nije poznato i $f < 0.05$
$\sigma_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n-1}} \sqrt{\frac{N-n}{N-1}}$	σ nije poznato i $f \geq 0.05$

4.2.2.4 Procena totala populacije

Total populacije T predstavlja zbir vrednosti numeričke varijable konačnog osnovnog skupa. Ako konačni osnovni skup ima N elemenata, tada je aritmetička sredina populacije jednaka

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} = \frac{T}{N} \Rightarrow T = N \cdot \mu \quad (4.10)$$

Procena totala populacije brojem ($\hat{T}$) se određuje kao proizvod opsega populacije i aritmetičke sredine uzorka:

$$\hat{T} = N \cdot \bar{x} \quad (4.11)$$

Za intervalnu procenu totala je potrebno poznavati i standardnu grešku totala $\sigma_{\hat{T}}$ koja se određuje kao

$$\sigma_{\hat{T}} = N \cdot \sigma_{\bar{x}} \quad (4.12)$$

Interval procene totala osnovnog skupa se za $n > 30$ određuje pomoću izraza:

$$P\{(\hat{T} - z_{\alpha/2} \cdot \sigma_{\hat{T}}) \leq T \leq (\hat{T} + z_{\alpha/2} \cdot \sigma_{\hat{T}})\} = 1 - \alpha \quad (4.13)$$

Procenu totala osnovnog skupa je moguće odrediti i pomoću proporcije skupa ili procenta. Proporcija osnovnog konačnog skupa je parametar skupa koji se izračunava kao odnos jedinica posmatranja koje imaju određenu karakteristiku i ukupnog broja jedinica skupa:

$$p = \frac{M}{N} \quad (4.14)$$

Proporcija preostalih $N-M$ jedinica koje nemaju traženo obeležje se označava sa q i određuje kao:

$$q = \frac{N - M}{N} \quad (4.15)$$

pri čemu važi da je $p + q = 1$.

Procenitelj proporcije osnovnog skupa brojem je proporcija uzorka:

$$\hat{p} = \frac{m}{n} \quad (4.16)$$

gde je m broj članova uzorka sa određenim oblikom obeležja, a n veličina uzorka. Tada važi i da je

$$\hat{q} = \frac{n - m}{n} \quad (4.17)$$

Standardna greška se računa pomoću izraza:

$$\sigma_{\hat{p}} = \sqrt{\frac{\hat{p} \cdot \hat{q}}{n-1}} \quad \text{ako je } f < 0.05 \quad \text{i} \quad (4.18)$$

$$\sigma_{\hat{p}} = \sqrt{\frac{\hat{p} \cdot \hat{q}}{n-1} \cdot \frac{N-n}{N-1}} \quad \text{ako je } f \geq 0.05 \quad (4.19)$$

Interval procene proporcije za velike uzorke je definisan izrazom:

$$P\{(\hat{p} - z_{\alpha/2} \cdot \sigma_{\hat{p}}) \leq p \leq (\hat{p} + z_{\alpha/2} \cdot \sigma_{\hat{p}})\} = 1 - \alpha \quad (4.20)$$

Za male uzorke nije moguće procenjivanje na ovakav način.

Kao kriterijum za dovoljnu veličinu uzorka može se primeniti pravilo:

$$n \cdot \hat{p} \cdot \hat{q} > 9 \quad (4.21)$$

4.3 PROCENA MERNE NESIGURNOSTI U OBRADI REZULTATA ISTRAŽIVANJA

Merna nesigurnost je karakteristika svakog procesa merenja. Pripisuje se mernoj opremi koja se koristi, obučenosti osoblja koje izvodi merenje i uslovima okoline u kojoj se izvodi merenje [65].

Merna nesigurnost daje odgovor na pitanje koliko dobro rezultat predstavlja vrednost merene veličine i time omogućava korisniku rezultata da oceni njegovu pouzdanost. Takođe, omogućava poređenje rezultata merenja dobijenih iz različitih izvora, različitim metodama, ili u različitim laboratorijama i tako pomaže smanjivanju komunikacijskih barijera i finansijskih troškova. Pored toga, značajna je i presudna za ocenu usaglašenosti kada se rezultat poredi sa graničnim vrednostima definisanim specifikacijom ili propisima.

Svrha određivanja merne nesigurnosti je odluka da li je rezultat adekvatan za svrhu merenja i procena konzistentnosti rezultata sa drugim sličnim rezultatima.

Osnovne karakteristike izvođenja procesa merenja su:

- merna nesigurnost,
- stabilnost,
- najveća dozvoljena greška,
- ponovljivost,

- reproduktivnost i
- nivo veštine rukovaoca.

Pri tome je moguće izdvojiti i dva pojma - tačnost i preciznost, kao karakteristike kojima se identifikuju merna nesigurnost, stabilnost, ponovljivost i reproduktivnost merenja.

Tačnost predstavlja sposobnost opreme za merenje da pokazuje vrednosti bliske stvarnoj vrednosti merene veličine. Stvarna vrednost nije poznata pa se koristi konvencionalna ili dogovorena vrednost, najčešće srednja aritmetička vrednost rezultata višestruko ponovljene procedure merenja. S obzirom na to da se koristi dogovorena vrednost, pri definisanju tačnosti je neophodno identifikovati i grešku merenja, odnosno neodređenost merenja (mernu nesigurnost).

Preciznost predstavlja sposobnost opreme za merenje da pokazuje međusobno bliske vrednosti merene veličine. Osnovni pokazatelj preciznosti je standardna devijacija rezultata višestruko ponovljene procedure merenja, što znači da je standardna devijacija statistička mera ponovljivosti rezultata merenja.

Treba naglasiti da su pojmovi „greška merenja” i „merna nesigurnost” različiti. Greška merenja je razlika izmerene i stvarne (prave) vrednosti merene veličine. Merna nesigurnost je veličina kojom se kvantifikuje sumnja u rezultat merenja.

Prema standardu ISO 10012 (tačka 7.3.1 - merna nesigurnost) [62], za svaki proces merenja iz sistema menadžmenta merenjem se procenjuje merna nesigurnost. Procene merne nesigurnosti moraju biti zapisane, a analiza merne nesigurnosti se izvodi pre metrološkog potvrđivanja merne opreme i validacije procesa merenja. Svi poznati izvori rasipanja rezultata merenja treba da budu dokumentovani. Koncept i metode procene merne nesigurnosti i prikazivanje rezultata merenja su navedeni u „Uputstvu za izračavanje nesigurnosti u merenju” (*Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement - GUM*) [6]. Prema GUM-u, „nesigurnost je sumnja u rezultat” dok je merna nesigurnost „parametar pridružen rezultatu merenja koji karakteriše rasipanje vrednosti merene veličine i pripisuje se rezultatu merenja”.

GUM koncept procene merne nesigurnosti se bazira na:

- oceni rezultata merenja i proceni merne nesigurnost, umesto nepoznate „prave” ili „stvarne” vrednosti i grešaka merenja,

- analizi komponenata merne nesigurnosti koje potiču od slučajnih i sistematskih efekata pri oceni nesigurnosti rezultata merenja,
- metodama kombinovanja pojedinačnih nesigurnosti (svih onih koje utiču na rezultat merenja) da bi se iskazala jedinstvena ukupna vrednost merne nesigurnosti.

Svrha koncepta je da se:

- uspostave jedinstvena pravila za izražavanje merne nesigurnosti,
- jedinstveno izvede standardizacija i akreditacija laboratorija,
- obezbede potpune informacije o načinu na koji je dobijena i iskazana merna nesigurnost,
- obezbede osnove za međunarodno upoređivanje rezultata merenja.

Osnovne komponente merne nesigurnosti prema GUM-u čine:

- Standardna nesigurnost tipa A (u_A)** - Komponenta koja se određuje iz statističke raspodele rezultata merenja. Predstavlja standardnu devijaciju rasipanja rezultata merenja i u osnovi odgovara slučajnim greškama merenja u klasičnoj terminologiji.
- Standardna nesigurnost tipa B (u_B)** - Komponenta nesigurnosti nastala zbog očekivanih događaja (očekivane verovatnoće rasipanja, na primer nesigurnost očitavanja vrednosti i sl.). Odgovara sistematskim greškama merenja u klasičnoj terminologiji. Određuje se pojedinačnom analizom merenja i ne zavisi od broja merenja.

Pored osnovnih komponenata merne nesigurnosti, definišu se i:

- Kombinovana standardna nesigurnost (u_C):

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (4.22)$$

- Proširena merna nesigurnost (U):

$$U = k \cdot u_C \quad (4.23)$$

gde je k - faktor pokrivanja.

Vrednost faktora pokrivanja se bira u zavisnosti od nivoa poverenja (pouzdanosti) rezultata merenja. Promenom faktora pokrivanja se utiče na pouzdanost rezultata merenja, jer veći broj rezultata merenja pripada intervalu poverenja koji se smatra pouzdanim (tabela 4.2). Na primer, za $k = 2$ i normalnu raspodelu, 95.45 % rezultata merenja se nalazi u intervalu $\pm 2\sigma$.

Tabela 4.2 *Izbor faktora pokrivanja* [27]

Nivo poverenja P [%]	68.27	90	95	95.45	99	99.73
Faktor pokrivanja k	1.0	1.645	1.960	2.0	2.576	3.0

Kada se utvrdi vrednost proširene merne nesigurnosti, rezultat merenja se prikazuje relacijom:

$$X = \bar{X} \pm U \quad (4.24)$$

Ukupna merna nesigurnost merenja se može odrediti samo ako su poznati svi ključni faktori koji utiču na proces merenja. Među najbitnijim faktorima, prisutnim u skoro svim procesima merenja, čiji se uticaj na mernu nesigurnosti može proceniti, spadaju [35]:

1. Nepotpuno definisanje merne veličine,
2. Nesavršenstvo realizacije procesa merenja,
3. Nereprezentativni uzorak - mereni uzorak ne odražava mernu veličinu,
4. Neadekvatno poznavanje efekata uticaja okoline na merenje ili nesavršenstvo merenja uslova okoline,
5. Subjektivna sistematska greška operatora pri očitavanju pokazivanja analognih pribora,
6. Sumnjiva sposobnost merne opreme ili prag osetljivosti,
7. Netačne vrednosti pripisane etalonima, standardnim uzorcima ili referentnim materijalima korišćenih za merenje,
8. Nedovoljno poznavanje konstanti i drugih parametara dobijenih iz spoljašnjih izvora (priručnika) i korišćenih u toku obrade podataka,
9. Aproksimacije i pretpostavke korišćene u toku merenja i u mernoj proceduri,
10. Višestruka merenja pri različitim uslovima merenja.

Očigledno je da se svi faktori mogu razvrstati u nekoliko grupa: osoblje, metode, uslovi okoline, oprema i način postupanja sa predmetom merenja.

Kao jedna od metoda za proračun i procenu merne nesigurnosti, GUM metoda obuhvata nekoliko faza:

1. identifikovanje svih bitnih komponenata merne nesigurnosti,
2. proračun standardne nesigurnosti svake komponente merne nesigurnosti (merne nesigurnosti tipa A - u_A i tipa B - u_B),
3. proračun kombinovane merene nesigurnosti (u_C),
4. proračun proširene merene nesigurnosti (U) i
5. utvrđivanje rezultata merenja (X).

Kod direktnih merenja, kada se vrednost merene veličine očitava na indikatorskoj jedinici merila, proračun i ocena merne nesigurnosti je jednostavnija. Procedure proračuna komponenti merne nesigurnosti, kombinovane i proširene merne nesigurnosti se mogu identifikovati prema standardu ISO 21748 [27].

Standardna merna nesigurnost tipa A (u_A) se ocenjuje na bazi statističke analize rezultata višestruko ponovljene procedure merenja. Najbolja ocena matematičkog očekivanja ili očekivane vrednosti merene veličine X koja se slučajno menja (slučajna promenljiva), i za koju je dobijeno n nezavisnih rezultata x_i u jednakim uslovima merenja, je srednja aritmetička vrednost ili srednja vrednost:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.25)$$

pri čemu je standardna devijacija rezultata merenja:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.26)$$

Standardna devijacija karakteriše promenljivost merne veličine, odnosno disperziju vrednosti merenja oko srednje vrednosti. Standardna merna nesigurnost tipa A, u_A , odgovara procenjenoj vrednosti standardne devijacije rezultata merenja:

$$u_A = s = \sigma \sqrt{\frac{n}{n-1}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.27)$$

Standardna merna nesigurnost tipa B (u_B) se zasniva na analizi ključnih podataka kao što su:

- Podaci preliminarnih merenja veličina koje čine jednačine merenja,
- Dokazi o obliku rasipanja rezultata,
- Podaci eksperimentalnih ispitivanja ili opšta znanja o ponašanju i osobinama odgovarajućih pribora i materijala,
- Podaci proizvođača merila,
- Nesigurnost konstanti i literaturnih podataka,
- Podaci provere, kalibracije, dokazi izrade pribora itd.

Nesigurnost ovih podataka se obično prikazuje u vidu granica odstupanja vrednosti veličina od njihovih ocena.

Ocena standardnih mernih nesigurnosti tipa B (u_B) se određuje pojedinačnom analizom merenja, ne zavisi od broja ponavljanja merenja i obično je zasnovana na raspoloživim relevantnim podacima koji uzimaju u obzir:

1. Prethodne podatke merenja;
2. Iskustvo i poznavanje ponašanja relevantnih materijala i/ili instrumenata;
3. Karakteristike mernih instrumenata;
4. Podatke dobijene pri kalibraciji u kalibracionim kartonima i u drugim izveštajima;
5. Merne nesigurnosti određene na osnovu referentnih podataka iz literature;
6. Rezultate međulaboratorijskog uporednog ispitivanja.

Kombinovana standardna merna nesigurnost se određuje za slučaj kada se rezultat merenja dobija na osnovu vrednosti određenog broja ulaznih veličina, tj.

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad (4.28)$$

Kombinovana merna nesigurnost $u_c(y)$ se u zavisnosti od koeficijenta korelacije ulaznih veličina može odrediti na sledeći način [63]:

1. ulazne veličine su potpuno nekorelisane (koeficijent korelacije jednak nuli):

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N c_i^2 u^2(x_i)}, \quad (4.29)$$

gde se tzv. koeficijent osetljivosti c_i određuje na sledeći način:

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} \quad (4.30)$$

2. ulazne veličine su potpuno korelisane (koeficijent korelacije jednak jedinici):

$$u_c(y) = \sum_{i=1}^N c_i u(x_i) \quad (4.31)$$

3. ulazne veličine imaju koeficijent korelacije različit od 0 i 1:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N c_i^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1}^N c_i c_j u(x_i) u(x_j) r(x_i, x_j)} \quad (4.32)$$

Proširena merna nesigurnost (u) se dobija množenjem kombinovane merne nesigurnosti $u_c(y)$ sa faktorom pokrivanja:

$$U = k \cdot u_c(y) \quad (4.33)$$

Ukoliko je faktor pokrivanja $k = 2$, tada nivo poverenja iznosi 95 %, što znači da će jedan od dvadeset rezultata merenja biti izvan intervala $y \pm U$.

Rezultat merenja se izražava kao:

$$Y = y \pm U \quad (4.34)$$

4.3.1 PROCENA MERNE NESIGURNOSTI PRI ODREĐIVANJU NIVOA ZVUČNOG PRITISKA

Smernice za procenu merne nesigurnosti pri određivanju nivoa zvučnog pritiska su sadržane u standardu SRPS ISO 1996-2 [65].

Osnovnim faktorima koji utiču na vrednost nivoa zvučnog pritiska se smatraju:

- Priroda izvora buke,
- Vremenski interval merenja,
- Meteorološki uslovi,
- Rastojanje merne tačke od izvora,
- Merna metoda,
- Merni instrument.

Glavne izvore merne nesigurnosti pri određivanju nivoa zvučnog pritiska predstavljaju:

- Merni lanac,
- Radni uslovi u kojima se sprovodi merenje,
- Meteorološki uslovi,
- Lokacija merne tačke i
- Rezidualna buka.

Prava vrednost ekvivalentnog nivoa zvuka se prema definisanim izvorima merne nesigurnosti određuje na osnovu sledećeg izraza:

$$L_{Aeq,true} = L_{Aeq,m} + \delta_{slm} + \delta_{sou} + \delta_{met} + \delta_{res}, \quad (4.35)$$

gde je:

δ_{slm} - merna greška zbog mernog lanca i lokacije merne tačke,

δ_{sou} - merna greška zbog radnih uslova izvora,

δ_{met} - merna greška zbog meteoroloških uslova i

δ_{res} - merna greška zbog rezidualne buke.

Ukupna proširena merna nesigurnost se određuje kao:

$$u^2(L_{Aeq,m}) = (c_{slm} \cdot u_{slm})^2 + (c_{sou} \cdot u_{sou})^2 + (c_{met} \cdot u_{met})^2 + (c_{res} \cdot u_{res})^2, \quad (4.36)$$

gde je:

c_{slm} - koeficijent osetljivosti za merni lanac i lokaciju merne tačke,

c_{sou} - koeficijent osetljivosti za radne uslove izvora,

c_{met} - koeficijent osetljivosti za meteorološke uslove,

c_{res} - koeficijent osetljivosti za rezidualnu buku,

u_{slm} - merna nesigurnost zbog mernog lanca i lokacije merne tačke,

u_{sou} - merna nesigurnost zbog radnih uslova izvora,

u_{met} - merna nesigurnost zbog meteoroloških uslova i

u_{res} - merna nesigurnost zbog rezidualne buke.

Merna nesigurnost zbog mernog lanca i lokacije merne tačke (u_{slm}) uključuje sledeće faktore:

- Direktivnost,
- Frekvencijsku ponderaciju,
- Nivo linearnosti,
- Kalibraciju,
- Napon napajanja,
- Statički pritisak vazduha,
- Temperaturu vazduha,
- Vlažnost vazduha,
- Upotrebu štitnika mikrofona od vetra,
- Lokaciju merne tačke.

Merna nesigurnost zbog lokacije merne tačke se određuje kao standardna devijacija ponovljivih merenja (najmanje 3 do 5) u različitim mernim tačkama i jednačine (4.38).

Merna nesigurnost zbog mernog lanca i lokacije merne tačke za klasu instrumenta koji se koristi za merenje buke u životnoj sredini (klasa 1) ima vrednost 1 dB:

$$u_{slm} = 1.0 \text{ dB} \quad (4.37)$$

Merna nesigurnost zbog radnih uslova izvora (u_{sou}) se određuje kao standardana devijacija srednje vrednosti ponovljivih merenja:

$$u_{sou} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(L_{Aeq,m,i} - \bar{L}_{Aeq,m})^2}{n(n-1)}} \quad (4.38)$$

gde je: $L_{Aeq,m,i}$ - merna vrednost za i -to merenje;

$\bar{L}_{Aeq,m}$ - srednja vrednost za n merenja (najmanje 3 do 5).

Meteorološki uslovi utiču na promenljivost nivoa buke naročito pri dugotrajnim merenjima.

Nivo buke se meri u toku povoljnih meteoroloških uslova, odnosno kada je zadovoljen uslov:

$$\frac{h_s + h_r}{d} \geq 0.1 \quad (4.39)$$

gde je: d - rastojanje izvora i merne tačke

h_s - visina izvora

h_r - visina merne tačke.

Merna nesigurnost zbog meteoroloških uslova u tom slučaju iznosi:

$$u_{met} = 2.0 \text{ dB} \quad (4.40)$$

Merna nesigurnost zbog meteoroloških uslova se za kratkotrajna merenja može zanemariti.

Merna nesigurnost zbog rezidualne buke (u_{res}) varira u zavisnosti od razlike nivoa ukupne i rezidualne buke. Određuje se u slučajevima kada je potrebno odrediti nivo specifične buke. Uticaj rezidualne buke se može zanemariti ako je njen nivo manji za 10 dB i više od nivoa specifične buke.

Prava vrednosti ekvivalentnog nivoa zvuka se nakon određivanja ukupne merne nesigurnosti u i faktora pokrivanja k , izračunava kao:

$$L_{Aeq,true} = L_{Aeq,m} \pm ku(L_{Aeq,m}) \quad (4.41)$$

gde je:

$L_{Aeq,true}$ - prava vrednost ekvivalentnog nivoa buke;

$L_{Aeq,m}$ - izmerena vrednost ekvivalentnog nivoa buke.

5

Višekriterijumska optimizacija u funkciji istraživanja

POJAM OPTIMIZACIJE

OSNOVE VIŠEKRITERIJUMSKE OPTIMIZACIJE

VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMIZACIJA IZBORA MERNE STRATEGIJE ZA PROCENU
DUGOTRAJNE VREDNOSTI INDIKATORA BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI

5.1 POJAM OPTIMIZACIJE

Upotreba metoda višekriterijumske optimizacije u cilju donošenja racionalnih odluka pri obavljanju najrazličitijih vidova delatnosti je postala naročito zastupljena poslednjih decenija, tokom kojih je zabeležen i njihov intenzivan razvoj. Razlozi za to su teorijske i praktične prirode - višekriterijumska optimizacija (VKO) je u teorijskom smislu atraktivna jer se bavi nedovoljno struktuiranim problemima, dok u praktičnom smislu nudi veliku pomoć u rešavanju svakodnevnih zadataka izbora odluka i upravljačkih akcija. Takođe, nezaobilazan je alat u projektovanju i metodološkoj podršci pri eksploataciji najraznovrsnijih sistema.

U mnogim naučnim oblastima, ali i u svakodnevnom životu, često se nameće potreba nalaženja optimalne (maksimalne ili minimalne) vrednosti neke veličine, pri čemu je potrebno zadovoljiti određene uslove, odnosno ograničenja. Takođe, često je potrebno da se optimizuje (maksimizuje ili minimizuje) više veličina, odnosno sprovede istovremena optimizacija više ciljnih funkcija, kada se dobija problem višekriterijumske optimizacije.

Teorija optimizacije proučava način postizanja najprihvatljivijeg ili najboljeg od ponuđenih rešenja, tzv. optimalnog rešenja, uzimajući u obzir razliku između dobrog i lošeg, odnosno manje dobrog rešenja. Optimum pritom predstavlja sinonim za maksimalno dobro ili minimalno loše rešenje.

Optimizacija se definiše kao nauka koja određuje najbolje rešenje određenog matematički definisanog problema. Proučavanjem i primenom različitih optimizacionih metoda stiče se sposobnost prepoznavanja optimuma i u onim problemima koji nisu kompletno matematički formulisani.

Optimizacija predstavlja složen proces dolaženja do rešenja i odvija se u više faza i na više nivoa odlučivanja. Osnovni koraci ili faze u optimizaciji su:

1. Definicija ciljeva i namena sistema i identifikacija načina postizanja željenih ciljeva;
2. Formalni (matematički) opis sistema, definisanje načina vrednovanja i definisanje kriterijumskih funkcija;
3. Korišćenje postojećih normativnih metoda (optimizacija u užem smislu);
4. Usvajanje konačnog rešenja ili donošenje odluke;
5. Ukoliko konačno rešenje nije usvojeno, sređivanje nove informacije i ponavljanje postupka od drugog koraka ponovnim definisanjem zadatka.

Na nivou odlučivanja ključnu ulogu ima donosilac odluke. Donosilac odluke u složenim sistemima često nije jedna osoba, već je to skup osoba sa specifičnim strukturama skupa koje problem posmatraju sa različitih stanovišta i nastupaju sa različitim zahtevima ili interesima. U takvim slučajevima tehnički nivo treba da predloži donosiocu odluke u cilju lakšeg donošenja konačne odluke skup dobrih rešenja, što znači da predložena rešenja treba da budu jasno, kratko i precizno obrazložena, kao i da njihov broj bude relativno mali. Postupak donošenja konačne odluke zavisi od strukture donosioca odluke, skupa rešenja koji im se prezentira i širih društvenih normi.

Proces odlučivanja sadrži tri opšta koraka [50]:

1. Upoznavanje sistema,
2. Određivanje mera efektivnosti i
3. Optimizaciju.

Dakle, za optimizaciju je neophodno poznavanje sistema i mere vrednovanja.

Postupak rešavanja optimizacionog problema ima pet faza [50]:

1. Formulacija problema,
2. Izrada matematičkog modela koji reprezentuje realni sistem,
3. Izbor i primena metode i izbora algoritma i programa za računar,
4. Testiranje modela dobijenog rešenja,
5. Implementacija.

U inženjerskoj praksi planiranja sistema se koristi tzv. prilaz diskretnih modela, kada se umesto izrade sveobuhvatnog matematičkog modela projektuju varijantna rešenja. Postupak rešavanja optimizacionog problema za ovakav prilaz ima sledeće faze [50]:

1. Formulisanje problema,
2. Prikupljanje podataka o sistemu,
3. Definisane kriterijuma za vrednovanje alternativnih rešenja,
4. Formulisanje alternativnih rešenja,
5. Vrednovanje alternativa,
6. Optimizacija - izbor najbolje alternative,
7. Završno projektovanje i
8. Implementacija.

U nekim slučajevima se koriste oba prilaza. Da bi se primenila neka optimizaciona metoda, u većini slučajeva je potrebna matematička formalizacija problema, odnosno matematički model.

5.1.1 ZADATAK OPTIMIZACIJE

Zadatak optimizacije sistema jeste da na osnovu usvojenih kriterijuma i ograničenja izabere najbolju alternativu iz niza mogućih ili povoljnih alternativa. Takva alternativa se naziva optimalno rešenje optimizacionog zadatka. Optimalno rešenje predstavlja kompromis između želja (kriterijuma) i mogućnosti (ograničenja). Kriterijum se obično izražava kriterijumskom funkcijom koja za najbolju alternativu (varijantu, rešenje) treba da dostigne globalni ekstremum s obzirom na ograničenja koja uslovljavaju mogućnost postizanja cilja optimizacije.

5.1.2 CILJ OPTIMIZACIJE

Optimizacione metode pomažu pri odlučivanju u smislu da omogućavaju analitičaru da poveže sve podatke i relacije u datoj situaciji, a rezultat toga treba da omogući izbor dobre (optimalne) alternative, te da savlada sve kompleksnosti zadatka. Cilj primene optimizacione metode bi trebalo da bude snadbevanje donosioca odluke dobrim (boljim u odnosu na postojeće stanje) informacijama, koje ukazuju na posledice i uticaje izabrane odluke.

5.1.3 MATEMATIČKI MODELI I OPTIMIZACIJA

Matematički modeli i optimizacione metode imaju značajnu, a u nekim slučajevima i nezamenljivu ulogu u najbitnijim fazama procesa odlučivanja.

Pod matematičkim modelom realnog sistema se podrazumeva skup matematičkih relacija (formula, jednačina, nejednačina, logičkih uslova, operatora itd.) koje opisuju funkcionisanje sistema, odnosno određuju karakteristike stanja sistema (a preko ovih i izlaza) u zavisnosti od parametara sistema, ulaza, početnih uslova i vremena.

Optimizacioni matematički model ima tri elementa u vidu trojke (MM, L, K) , gde je:

MM - matematički model u užem smislu (relacije između veličina u sistemu),

L - skup ograničenja i

K - funkcija kriterijuma.

Problem optimizacije se matematički gledano svodi na određivanje ekstremuma kriterijumske funkcije K .

5.1.4 PREGLED METODA OPTIMIZACIJE

Za optimizaciju sistema se koriste različite metode zavisno od tipa relacija kriterijumske funkcije i ograničenja u matematičkom modelu. Kako se uvek teži uprošćavanju problema, veličina koju treba optimizovati se po pravilu predstavlja kao linearna funkcija nekih drugih veličina (promenljivih), pri čemu se pretpostavlja da su i ograničenja koja moraju biti zadovoljena takođe linearne funkcije.

Postoje različite metode optimizacije koje se mogu svrstati u grupe prema različitim aspektima. Sa stanovišta prisustva ograničenja, postoje metode za bezuslovnu optimizaciju (bez ograničenja) i uslovnu optimizaciju (uz ograničenja).

U metode bezuslovne optimizacije spadaju:

- Metode pretraživanja,
- Gradijentni postupci,
- Njutnove metode,
- Rešavanje jednačina $\frac{\partial f}{\partial x_j} = 0, j = 1, 2, \dots, n$,
- Varijacioni račun i rešavanje Ojlerove jednačine za zadatke optimalnog upravljanja.

U metode uslovne optimizacije spadaju:

- Linearno programiranje,
- Eliminacija i zamena varijabli,
- Metoda Langranžovih multiplikatora,
- Kaznene funkcije,
- Tehnike projektovanog gradijenta,
- Dinamičko programiranje,
- Iterativno zadovoljavanje ograničenja.

5.2 OSNOVE VIŠEKRITERIJUMSKE OPTIMIZACIJE

Optimizacija obuhvata samo jedan deo problema planiranja ili korišćenja sistema. Da bi se problem razmotrio sa svih stanovišta optimizacije i kako bi predviđanje bilo što bolje sagledano, u razmatranje se uzima više kriterijuma ili bar oni glavni. Traženje najboljeg rešenja u višekriterijumskom smislu jeste zadatak višekriterijumske optimizacije. Takvo (favorizovano) rešenje ima veliku šansu da na kraju bude stvarno najbolje kao dobar kompromis između različitih konfliktnih interesa učesnika.

Donosilac odluke u slučaju jednokriterijumske optimizacije implicitno zadržava slobodu da prihvati, promeni ili odbaci rešenje dobijeno na osnovu matematičkog modela optimizacije. Nadgradnja jednokriterijumske optimizacije je poznata u teoriji kao linearno i nelinearno programiranje, teorija igara, dinamičko programiranje itd. Navedene metode imaju svoju primenu u praksi, ali one nisu primenjive kod mnogih realnih problema gde postoji izbor između više alternativa sa i bez više suprostavljanih ili delimično suprostavljanih kriterijuma. Realni kriterijumi imaju neke zajedničke osobine, kao na primer odabir većeg broja atributa, različitost atributa, neuporedive jedinice mera, itd. Rešenje je izbor najbolje alternative iz skupa datih, tj. definisanih alternativa. Za svestrano i objektivno poređenje između većeg broja alternativa, ocenjenih u sistemu većeg broja različitih kriterijuma, datih u različitim jedinicama, često sa različitim relativnim značenjem i sa različitim zahtevima za minimizacijom ili maksimizacijom, potrebno je da se koriste metode za višekriterijumsku optimizaciju, što znači da se problem višekriterijumskog odlučivanja svodi na utvrđivanje konačnog ranga alternativa.

Pri izboru kriterijuma koji ulaze u višekriterijumsku bazu za odlučivanje treba voditi računa o tome da se u skladu sa zahtevima koje postavlja nosilac odlučivanja dobije sveobuhvatna i objektivna slika sa što manjim brojem različitih kriterijuma. Upotreba više kriterijuma koji znače isto se lako može pretvoriti u sopstvenu protivurečnost i deformisati osnovnu sliku forsirajući rezultate u određenom smeru. Izbor kriterijuma treba izvršiti kroz maksimalnu selektivnost i prilagođavanje konkretnom problemu, pa je u tom smislu velika odgovornost i kreativnost na nosiocu odlučivanja.

Razlika između jednokriterijumskih i višekriterijumskih modela odlučivanja je u tome što kod jednokriterijumskih metoda postoji jedna funkcija cilja koja je definisana nad skupom ograničenja, dok problemi kod višekriterijumskih metoda operišu sa dve ili više funkcija cilja (kriterijuma). Cilj je pronaći optimalne vrednosti, odnosno doći do najpovoljnijeg rešenja

(najpovoljnije alternative) u datim uslovima i pri određenim ograničenjima. Ukoliko je broj upoređivanih alternativa veći, utoliko je veća i verovatnoća da se donese što bolja odluka.

Dakle, opšte karakteristike svakog višekriterijumskog problema se za razliku od jednokriterijumskih problema ogledaju u prisutnosti sledećih elemenata:

- više kriterijuma (funkcija cilja, funkcija kriterijuma) za odlučivanje,
- više alternativa (rešenja) za izbor,
- proces izbora jednog konačnog rešenja.

U oblasti višekriterijumskog odlučivanja postoje dve vrste odlučivanja sa stanovišta opisivanja problema posredstvom odgovarajućeg matematičkog modela:

1. Višeciljno odlučivanje (VCO);
 - 1.1. Ciljno programiranje (CP) kao podgrupa VCO;
2. Višeatributno odlučivanje (VAO) ili višekriterijumska analiza (VKA).

Razlika je u tome što se kod višeciljnog odlučivanja, kada su alternative definisane implicitno preko skupa ograničenja, bira ona alternativa koja najbolje ispunjava definisane ciljeve (kriterijume), dok se kod višeatributnog odlučivanja ili višekriterijumske analize bira najbolja od unapred eksplicitno definisanih alternativa. Višeatributivno odlučivanje se koristi u situacijama kada postoji više kriterijuma i alternativa, kao i kada je za svaki kriterijum i za svaku alternativu data vrednost, odnosno atribut. Podaci koji se koriste u višeatributivnom odlučivanju smeštaju se u matricu odlučivanja, gde kolone opisuju kriterijume, a vrste alternative.

Višekriterijumska optimizacija je oblast gde se formiraju matematički modeli za određeni realni problem vodeći računa o više ciljeva, odnosno ispunjenosti više kriterijuma istovremeno. Osnovno je da treba naći rešenje koje je najbolje po svim razmatranim kriterijumima, koji mogu biti izraženi različitim mernim jedinicama, novčanim jedinicama, verovatnoćama pojavljivanja ili subjektivnim procenama datih po nekoj skali koja se formira za konkretni problem. Sve ovo ukazuje da bez donosioca odluke nema konačnog rešenja.

U slučajevima kada se razmatraju važne odluke, zadatke višekriterijumske optimizacije karakteriše relativno veliki broj kriterijuma. Što je broj kriterijuma veći, zadaci analize su složeniji i teži. U odlučivanju učestvuje veći broj pojedinaca ili grupa i svi oni favorizuju svoje sisteme vrednosti, odnosno kriterijume koji najbolje odslikavaju interese grupe kojoj

pripadaju. Radi efikasnijeg analiziranja odluke i pronalaženja pogodnog rešenja, kriterijumi se grupišu. Uobičajene su sledeće grupe kriterijuma [70]:

- ekonomski kriterijumi,
- tehnički kriterijumi,
- tehnološki kriterijumi,
- socijalni kriterijumi i
- ekološki kriterijumi.

Prema nameri donosioca odluke, odnosno prema problemu koji treba da reši, višekriterijumski zadaci se klasifikuju u tri grupe [70]:

1. Zadaci višekriterijumske optimizacije kojima se rešavaju problemi određivanja podskupa rešenja koja zadovoljavaju određene uslove i/ili izbora jednog rešenja iz ovog podskupa,
2. Zadaci višekriterijumskog ili višeatributnog rangiranja kojima se rešavaju problemi određivanja potpunog ili delimičnog redosleda, rang liste, rešenja koja pripadaju konačnom i prebrojivom skupu;
3. Zadaci višekriterijumske ili višeatributne selekcije kojima se rešavaju problemi izbora određenog broja rešenja koja pripadaju konačnom i prebrojivom skupu.

Sve složeniji uslovi poslovanja zahtevaju višekriterijumski pristup pri rešavanju poslovnih problema, čime se omogućava objektivno poređenje između većeg broja alternativa ocenjenih u sistemu većeg broja različitih raznorodnih kriterijuma, datih u različitim jedinicama, sa različitim relativnim značajem, i sa različitim zahtevom za ekstremizacijom.

Zadatak VKO je da pomogne dosiocu odluke da izabere rešenje koje smatra najboljim u datom problemu. Zato se naporu ka rešavanju postavljenog višekriterijumskog problema često nazivaju i višekriterijumska analiza.

U praksi su retki slučajevi kada postoji savršeno rešenje zadatka VKO. Razlike u kriterijumima, a pogotovu njihova potpuna ili delimična konfliktnost, predstavljaju suštinu problema VKO. Zato je koncept savršenog rešenja veoma ograničenog teorijskog i praktičnog značaja.

Rešenje koje na kraju usvoji donosilac odluke naziva se najbolje ili preferirano rešenje. Osnovna uloga donosioca odluke pri rešavanju problema višekriterijumskog odlučivanja

ogleda se ne samo u donošenju konačne odluke primenjenom metodologijom, već i u definisanju višekriterijumske baze - sistema kriterijuma za evaluaciju alternativa, izboru preferencijskih funkcija, određivanju relativnog značaja kriterijuma i odgovarajućih parametara, što sve predstavlja osetljive faze u rešavanju problema poslovnog odlučivanja.

Činjenica da zadaci VKO po pravilu nemaju savršeno rešenje upućuje na preispitivanje koncepta optimalnosti u kontekstu postojanja više kriterijuma. Drugim rečima, pošto ne postoji rešenje koje je najbolje po svim kriterijuma istovremeno, nema opravdanja da se za neko rešenje kaže da je optimalno. Kada ne postoji savršeno rešenje zadatka VKO, u određivanju najboljeg rešenja presudnu ulogu ima donosilac odluke koji odlučuje šta mu je važnije i koje rešenje radije prihvata (preferira).

Zavisno od toga kako i kada se donosilac odluke uključuje u rešavanje problema, razlikuju se tri grupe metoda, odnosno tri osnovna pristupa [70]:

1. Aposteriorni pristup,
2. Apriorni pristup,
3. Interaktivni i kooperativni pristup.

Donosilac odluke se u aposteriornom pristupu uključuje u analizu i rešavanje problema posle određivanja skupa dominantnih rešenja, dakle aposteriori. On sam treba da izabere najbolje rešenje. Zadatak analitičara je da iz dopustivog skupa izdvoji podskup dominantnih rešenja. Ovaj pristup je više teorijskog nego praktičnog značaja. Dva su osnovna razloga tome. Prvi je taj što je izdvajanje podskupa dominantnih rešenja analitički često nerešiv problem. Za izvesne zadatke diskretne optimizacije i za višekriterijumsko linearno programiranje to je u principu moguće uraditi, ali prilično teško. Drugi razlog je to što podskup dominantnih rešenja može da bude veoma širok (velik ili beskonačan broj elemenata skupa), tako da donosilac odluke ne može lako da odabere rešenje.

U apriornom pristupu donosilac odluke treba unapred, pre rešavanja zadatka VKO, da iskaže svoj odnos prema kriterijumima. Ovo može da se uradi utvrđivanjem prioriteta ili hijerarhije kriterijuma, dodeljivanjem težina pojedinim kriterijumima, određivanjem relativnih odnosa između svaka dva kriterijuma ili na neki drugi način. Analitičar na osnovu toga treba rešavanjem zadatka da predloži donosiocu odluke jedno rešenje koje najviše odgovara njegovim iskazanim preferencijama. Nedostatak ovog pristupa je u tome što donosilac odluke teško može iz jednog pokušaja precizno da odredi svoj stav prema kriterijumima, naročito na način koji zahtevaju određeni matematički model i metoda. On se po pravilu protivi da

unapred eksplicitno kaže kakav odnos postoji između kriterijuma ako će to kasnije da mu predstavlja obavezu. Jedino što je izvesno jeste da on rešenje traži u skupu dominantnih rešenja. Analizom rešenja za razne skupove težinskih koeficijenata, na primer, donosilac odluke može da prepozna međusobni odnos kriterijuma i rešenja i da dobije bolji uvid u suštinu problema. Apriorni pristup je teorijski najviše razmatran i praktično najčešće primenjivan. Razvijeno je mnogo metoda apriorne VKO, a neke od njih su prilično jednostavne, što im daje veliku prednost za praktične primene u posebnim situacijama.

Interaktivni pristup obuhvata metode koje kombinuju apriorni i aposteriorni pristup sa aktivnim učešćem donosioca odluke. Pristup se zasniva na neprekidnom korišćenju računara u fazi odlučivanja i korisnički realizovanom okruženju. Savremeni softverski alati treba da pruže donosiocu odluke snažnu podršku u ekperimentisanju sa različitim skupovima svojih preferenci. Jednostavno i brzo obavljanje raznovrsnih analiza treba da olakšaju donosiocu odluke konačni izbor. Očigledno je da interaktivne metode podrazumevaju intenzivno korišćenje ekspertnih sistema i sistema zasnovanih na znanju. Ovi sistemi bi trebalo da sadrže sistematizovana znanja o ranijim rešavanju sličnih zadataka i da ih na inteligentan način koriste da bi pomogla donosiocu odluke. U tom smislu ovakvi pristupi pretpostavljaju određenu saradnju donosioca odluke i računara, zbog čega se i nazivaju kooperativnim.

Interaktivni i kooperativni pristupi su moderni i predstavljaju najveći izazov. Problemi koje treba pritom rešavati su interesantni i sa stanovišta veštačke inteligencije i softverske implementacije. Kooperacijom donosioca odluke i računara bi trebalo da se otkrije struktura njegovih odnosa prema kriterijumima, tzv. preferentna struktura ili struktura preferencija donosioca odluke. Pri tome se pojavljuju problemi za čija su rešavanja potrebna znanja i istraživanja u oblastima psiholoških i socioloških nauka.

Matematička istraživanja zadataka VKO ostaju pretežno u okvirima apriornih i aposteriornih pristupa.

5.2.1 FAZE VIŠEKRITERIJUMSKE OPTIMIZACIJE

Proces rešavanja problema primenom višekriterijumske optimizacije sadrži četiri osnovne faze:

1. Prva faza predstavlja postavku problema - kreativni posao koji se karakteriše subjektivizmom pojedinca ili grupe u određivanju skupa alternativa i kriterijuma.
2. U drugoj fazi se određuju relativne važnosti (težine) kriterijuma i to na dva načina - subjektivnom procenom ili korišćenjem odgovarajućih tehnika, a sa ciljem suzbijanja subjektivizma.
3. Treća faza podrazumeva izbor adekvatne metode višekriterijumske optimizacije za rešavanje konkretnog problema. Bitan faktor za izbor metode je mogućnost korišćenja iskustva u rešavanju sličnih problema u prošlosti, kao i mogućnost korišćenja ekspertnih sistema sa ugrađenim bazama slučajeva, koji preporučuju metodu višekriterijumske optimizacije za rešavanje konkretnog problema iz baze slučajeva.
4. Poslednja, četvrta faza u višekriterijumskoj optimizaciji jeste proučavanje stabilnosti rešenja bilo odabrane jedne najbolje alternative, bilo odabranog ranga alternativa, ili podskupa dobrih alternativa na promene izvesnih ulaznih podataka. Svakako je najinteresantnije proučavati stabilnost rešenja na promene relativnih težina kriterijuma kao svojevrsnih reprenata subjektivizma u višekriterijumskoj optimizaciji.

Kriterijumi predstavljaju karakteristike alternativa koje su relevantne u konkretnom izboru posmatranog problema odlučivanja. Za razliku od alternativa koje su unapred definisane, kriterijumi se uvek samostalno biraju i formulišu. To znači da je njihov izbor subjektivan, jer skup atributa odražava individualan stav, odnosno otkriva specifične ciljeve koji se žele postići donetom odlukom. Zbog toga su skupovi kriterijuma različiti za svakog od autora, a razlikuju se i po broju i po sadržaju, kao i po značaju koji im se pripisuje.

Izbor kriterijuma je veoma značajna faza višekriterijumskog odlučivanja u kojoj se odlučuje kako će se pratiti realizacija postavljenih ciljeva, pa lista kriterijuma mora da bude kompletna i isključujuća. Kompletnost liste kriterijuma podrazumeva da su obuhvaćeni svi aspekti problema koji su značajni pri izboru. Lista kriterijuma se izvodi na osnovu liste svih podciljeva koji služe realizaciji glavnog cilja. Isključivost podrazumeva da kriterijumi treba da budu formulisani tako da ne postoji preklapanje njihovih sadržaja, jer bi dupliranje karakteristika u postupku ocenjivanja alternativa moglo da izazove veći uticaj od stvarnog uticaja.

5.2.2 MATEMATIČKI MODEL VIŠEKTERIJUMSKOG ODLUČIVANJA

Model višekriterijumskog odlučivanja ima sledeću opštu matematičku formulaciju:

$$\begin{aligned} \text{Max}\{f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)\}, \quad m \geq 2, \\ x \in A = [a_1, a_2, \dots, a_n], \end{aligned} \quad (5.1)$$

gde su:

m - broj kriterijuma (atributa), $j=1,2,\dots,m$,

n - broj alternativa (akcija), $i=1,2,\dots,n$,

f_j - kriterijumi (atributi), $j=1,2,\dots,m$,

a_i - alternative (akcije) za razmatranje, $i=1,2,\dots,n$,

A - skup svih alternativa (akcija).

Pri tome su poznate i vrednosti f_{ij} svakog razmatranog kriterijuma f_j dobijene sa svakim od mogućih alternativa a_i :

$$f_{ij} = f_j(a_i), \quad \forall(i,j), \quad i = 1,2,\dots,n; \quad j = 1,2,\dots,m \quad (5.2)$$

Svaki atribut treba da obezbedi sredstvo ocene (evaluacije) nivoa jednog kriterijuma (cilja). Veći broj atributa treba da karakteriše svaku akciju (alternativu) i oni se biraju na osnovu izabranih kriterijuma od strane donosioca odluke.

Uobičajeno je da se model VKO prikazuje odgovarajućom matricom vrednosti kriterijuma za pojedine alternative koja se naziva matrica odlučivanja:

$$\begin{matrix} a_1 & [f_{11} & \cdots & f_{1m}] \\ \dots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_n & [f_{n1} & \cdots & f_{nm}] \end{matrix} \quad (5.3)$$

Moguće je formulisati određene pojmove i relacije za modele VKO:

- Alternativa a_s je *dominantna* nad ostalim alternativama ako je ispunjeno da je

$$f_j(a_s) \geq f_j(a_k) \quad \forall j = 1,2,\dots,m \quad \text{ i } \quad \forall k = 1,2,\dots,n; \quad s \neq k \quad (5.4)$$

Odnosno, alternativa a_s je bolja bar po jednom kriterijumu od svih ostalih alternativa i ni po jednom kriterijumu nije lošija od svih ostalih alternativa.

- Sledi da ukoliko postoji dominantna akcija, onda postoji i optimalno - savršeno rešenje modela VKO, a to je upravo ta dominantna akcija. Tada se za izbor samo jedne alternative ne postavlja problem višekriterijumskog odlučivanja.

Međutim, problemi ove vrste u opštem slučaju nemaju dominantnu alternativu, odnosno i kada postoji dominantna alternativa, može se postaviti zahtev za dalju i

složeniju analizu. Može se dogoditi da neka alternativa dominira samo nad jednom ili nad više alternativa, ali ne nad svim alternativama iz skupa razmatranih alternativa.

- Alternativa a_q je *efikasna* ili *nedominirana* alternativa ako nad njom nije dominantna bilo koja druga alternativa, tj. ako ne postoji neka druga alternativa a_v za koju je ispunjeno:

$$\begin{cases} f_j(a_v) \geq f_j(a_q) \quad \forall j = 1, 2, \dots, m \quad \text{i} \quad \forall v = 1, 2, \dots, n; \quad v \neq q \\ \text{ili} \\ f_j(a_v) \geq f_j(a_q) \quad \text{bar za jedno } j \end{cases} \quad (5.5)$$

Odnosno, alternativa a_q je takva da ne postoji neka druga alternativa a_v koja je bolja bar po jednom kriterijumu i istovremeno a_v nije lošija ni po jednom od preostalih kriterijuma. Ili, efikasna alternativa može imati bolju vrednost za neki kriterijum u odnosu na druge efikasne alternative samo pod uslovom da se pogorša vrednost bar jednom od preostalih kriterijuma. Za efikasne alternative se kaže da su neuporedive u smislu dominiranja.

- Alternative a_t i a_v su *ekvivalentne* ako imaju iste vrednosti za sve kriterijume:

$$f_j(a_t) = f_j(a_v) \quad \forall j = 1, 2, \dots, m \quad (5.6)$$

- Alternativa a_r je *neefikasna* (*dominirana*) ako nad njom dominira bar jedna iz skupa preostalih alternativa:

$$\begin{cases} f_j(a_v) \geq f_j(a_r) \quad \forall j = 1, 2, \dots, m \\ \text{ili} \\ f_j(a_v) \geq f_j(a_r) \quad \text{bar za jedno } j \end{cases} \quad (5.7)$$

Kod problema izbora samo jedne alternative, potrebno je izvršiti odgovarajuću redukciju modela, tj. treba zadržati samo jednu od ekvivalentnih alternativa i izostaviti sve neefikasne alternative. Cilj koji treba definisati jeste rešenje takvog višekriterijumskog problema. Jedna od mogućih definicija je da rešenje predstavlja skup svih efikasnih akcija – neuporedivih akcija (alternativa) u smislu da nijedna ne dominira nad nekom drugom. Međutim, ovakva definicija nema praktičnu vrednost u konkretnim problemima, jer skup svih efikasnih akcija u suštini i čini model višekriterijumskog odlučivanja.

5.2.3 REŠAVANJE MODELA VIŠEKRITERIJUMSKOG ODLUČIVANJA

U praksi su poznate razne metode za rešavanje modela VKO. Podaci za konkretni problem VKO mogu biti takvog karaktera da nije moguća direktna primena neke od metoda rešavanja, što je slučaj kada se raspolaže brojnim i opisnim podacima, ili su podaci takve prirode da otežavaju rešavanje modela (veliki brojevi ili mali brojevi u celom modelu ili za neke kriterijume). Zbog toga je nezavisno od metode koja će se koristiti za rešavanje u prvom slučaju neophodno, odnosno u drugom slučaju poželjno izvršiti odgovarajuće transformacije kriterijuma:

- a) kvantifikaciju kvalitativnih kriterijuma,
- b) modifikaciju atributa istog kriterijuma,
- c) normalizaciju i linearizaciju kriterijuma i
- d) definisanje težinskih koeficijenata kriterijuma.

Neke metode rešenja VAO imaju svoje dalje zahteve za definisanjem određenih parametara metoda.

a) Kvantifikovanje kvalitativnih kriterijuma

Prilikom izbora i formulisanja kriterijuma javlja se uobičajeni problem kvantifikovanja prisutnih kvalitativnih kriterijuma. Naime, radi preciznosti ocenjivanja i međusobnog poređenja alternativa, kvalitativne karakteristike je potrebno, kad god je to moguće, izraziti kvantitativnim pokazateljima koji će prikazati suštinu odgovarajućeg cilja.

Ako se za ocenjivanje alternativa koriste kvalitativni kriterijumi, onda se njihovim modalitetima pridružuju opisi kojima se izražavaju ukusi i preferencije nosioca odlučivanja. Pri kvantifikovanju ovih kriterijuma se koriste razne skale koje moraju imati dovoljno nivoa da bi se jasno uočila razlika između modaliteta posmatranog kvalitativnog atributa.

Za pretvaranje kvalitativnih kriterijuma u interval skale često se koriste tzv. *bipolarne skale*. To znači da se izabere skala od npr. 10 tačaka, pa se 0 dodeli najnižem nivou, a 10 najvišem nivou koji se može fizički realizovati. Veoma je važno precizno odrediti sredinu intervala, jer ona predstavlja granicu između poželjnog i nepoželjnog. Kategoriji *ekstremno visok kvalitet atributa* može se dodeliti 10 poena, za *vrlo visok* 9 poena, a za *visok kvalitet atributa* se može dodeliti interval između 5.1 i 8.9, na primer 7 poena. Isto tako, *niskom nivou* bi se moglo dodeliti na primer 3 poena, a *vrlo niskom nivou* 1 poen. Ovaj način transformacije atributa dao je izuzetno dobre rezultate u mnogim praktičnim situacijama realnog odlučivanja, iako na prvi pogled deluje proizvoljno.

Primer kvantifikovanja kvalitativnih atributa, koji se i primenjuje u predmetnom istraživanju, dat je u tabeli 5.1.

Tabela 5.1 Kvantifikovanje kvalitativnih atributa

Kvalitativna ocena	Loš	Nizak	Prosečan	Visok	Vrlo visok	Cilj kriterijuma
Kvantitativna ocena	1	3	5	7	9	<i>max</i>
	9	7	5	3	1	<i>min</i>

b) Modifikacija atributa istog kriterijuma

Modifikacija atributa istog kriterijuma može da olakša rešavanje modela i najčešće je potrebno usaglasiti visinu brojnih vrednosti kriterijuma, odnosno prevesti zahtev da se odredi minimalna vrednost nekog kriterijuma u određivanje maksimalne vrednosti modifikovanog (suprotnog) kriterijuma.

c) Normalizacija i linearizacija kriterijuma

Za upoređivanje kriterijuma različitih vrednosti, eventualno i različitih jedinica mere, koristi se jedan od dva osnovna pristupa - vektorska normalizacija ili linearna skala transformacija.

Vektorska normalizacija kriterijuma je postupak kojim se svaki vektor (vrsta) odlučivanja podeli sa svojom normom. Normalizovana vrednost n_{ij} , odnosno normalizovana matrica odlučivanja N se dobija na sledeći način:

$$Norma a_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m f_{ij}^2}, \quad (5.8)$$

gde je:

$i = 1, 2, \dots, n$ - broj alternativa,

$j = 1, 2, \dots, m$ - broj kriterijuma,

f_{ij} - vrednost j -tog kriterijuma po i -toj alternativni.

Kod kriterijuma tipa *maksimum* važi:

$$n_{ij} = \frac{f_{ij}}{Norma a_i} = \frac{f_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m f_{ij}^2}} \quad (5.9)$$

Kod kriterijuma tipa *minimum* važi:

$$n_{ij} = 1 - \frac{f_{ij}}{Norma a_i} = 1 - \frac{f_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m f_{ij}^2}} \quad (5.10)$$

Prednost ovog načina transformacije kriterijuma je u tome što se svi kriterijumi mogu izraziti merama koje imaju svoju jedinicu.

Linearna skala transformacija podrazumeva da se za kriterijum tipa *maksimum* svaki element j -te kolone se подели sa maksimalnom vrednošću te kolone. Na taj način se dobijaju linearizovani elementi matrice odlučivanja:

$$l_{ij} = \frac{f_{ij}}{f_j^{\max}} = \frac{f_{ij}}{\max f_{ij}} \quad , \quad (5.11)$$

$$f_j^{\max} = \{f_j | \max f_{ij}\}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (5.12)$$

Vrednosti l_{ij} se kreću u intervalu od 0 do 1 i rezultat je povoljniji što je bliži jedinici.

Kod kriterijuma tipa *minimum* se elementi linearizovane matrice odlučivanja određuju tako što se minimalni element j -te kolone se подели sa svakim elementom te kolone:

$$l_{ij} = \frac{f_j^{\min}}{f_{ij}} = \frac{\min f_{ij}}{f_{ij}} \quad , \quad (5.13)$$

$$f_j^{\min} = \{f_j | \min f_{ij}\}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (5.14)$$

d) Definisanje težinskih koeficijenata kriterijuma

Realni problemi najčešće nemaju kriterijume istog stepena značajnosti, zbog čega je potrebno da donosilac odluke definiše faktore značajnosti pojedinih kriterijuma koristeći odgovarajuće težinske koeficijente (težine) ili tzv. pondere za kriterijume. Ukoliko njihov zbir iznosi 1, to su tzv. normalizovane težine.

$$w = (w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_n) \quad , \quad (5.15)$$

gde je

$$\sum_{j=1}^m w_j = 1.$$

Definisanje težine kriterijuma nije uvek jednostavno. Svaki donosilac odluke u suštini subjektivno definiše težinske koeficijente. Težinski koeficijenti u nekim metodama imaju odlučujući uticaj na rešenje, pa može da se dogodi da uvedene vrednosti za težine ne obezbeđuju dobro rešenje, kada je potrebno analizirati kako se rešenje ponaša u zavisnosti od mogućih realnih varijanti za težine kriterijuma. Problem je jednostavniji ako postoje apsolutni prioriteti među kriterijumima.

Relativne težine kriterijuma se nekada izražavaju lingvistički. Na primer, za neki kriterijum se kaže da je *vrlo važan*, ili *srednje važan*, ili *malo važan*, itd. Subjektivni stav prema važnosti kriterijuma se simultano može iskazati i rečenicama tipa: “svi kriterijumi su podjednako važni, izuzev kriterijuma $f' \in K$ koji ima dva puta veću važnost od drugih”. Odnos prema važnosti kriterijuma moguće je lingvistički iskazati i poređenjem važnosti parova kriterijuma. Na primer: “kriterijumi f' i f'' su podjednako važni”, ili: “kriterijum f' je apsolutno važniji od kriterijuma f'' ”.

Iako subjektivizam u određivanju relativnih težina kriterijuma ima značajnu ulogu, u literaturi je prisutna težnja da se ovi postupci uredi, pa čak i standardizuju. Pri tome se polazi od sledećih pretpostavki:

- Subjektivni stav o relativnim težinama kriterijuma lakše je izraziti poredeći važnosti kriterijuma po parovima, nego za sve kriterijume odjednom, što naročito važi kada je broj kriterijuma veći od 5;
- Lingvističke iskaze o važnosti kriterijuma treba prevesti u numeričke vrednosti koristeći jednostavne standardizovane skale, ili fuzzy brojeve (definisane na standardizovanim domenima i sa standardizovanim funkcijama pripadnosti) kao način za iskazivanje izvesne neodređenosti koja je vezana za ove parametre problema.

Opšte prihvaćena skala za konverziju lingvističkih iskaza o važnosti kriterijuma u brojne vrednosti, odnosno za kvantifikaciju odnosa parova kriterijuma je skala koju je predstavio *Saaty* (tabela 5.2), definisana na intervalu $[9, 1/9]$ i bazirana na osnovnoj skali.

Tabela 5.2 Saaty-jeva skala za komparaciju parova kriterijuma na osnovu lingvističkih iskaza

Lingvistički iskaz	Intenzitet važnosti f' u odnosu na f'' (Kvantitativna vrednost f'/f'')	Objašnjenje / posledica
Podjednaka važnost kriterijuma f' i f''	1	Dve alternative jednako doprinose cilju.
Umerena važnost kriterijuma f' u odnosu na f''	3	Na temelju iskustva i procena, daje se umerena prednost jednoj alternativu u odnosu na drugu.
Jako izražena važnost kriterijuma f' u odnosu na f''	5	Na temelju iskustva i procena, strogo se favorizuje jedna alternativa u odnosu na drugu.
Dominantno visoka važnost kriterijuma f' u odnosu na f''	7	Jedna alternativa se izrazito favorizuje u odnosu na drugu; njena dominacija se dokazuje u praksi.
Apsolutna važnost kriterijuma f' u odnosu na f''	9	Dokazi na temelju kojih se favorizuje jedna alternativa u odnosu na drugu potvrđeni su s najvećom uverljivošću.
Međuisкази – iskazi između dva susedna iskaza	Međuvrednosti: 2,4,6,8	Ukoliko je potreban kompromis.
Ako kriterijum f' ima neku od navedenih vrednosti iz skale, kada se upoređuje sa kriterijumom f'' , tada kriterijum f'' uzima recipročnu vrednost kada se upoređuje sa kriterijumom f' .	Recipročne vrednosti gornjih nenula	

Razloge zbog čega je izabran baš interval $[9, 1/9]$ i zbog čega skala nema veći ili manji interval, Saaty objašnjava pomoću *psihološke teorije prema stimulansu merljive veličine* koju je 1846. godine postavio Weber, a prema kojoj čovek nije u stanju da pravi izbor iz neograničenog skupa podataka, tj. ne poseduje „instrument” kojim bi mogao da pravi razliku između dve vrednosti koje su veoma bliske. To znači da je vrednost s potrebno povećati za minimalni iznos Δs da bi se dostigla tačka gde ljudska čula mogu razlikovati s i $s+\Delta s$. Na osnovu matematičkog modela koji proističe iz ove teorije, Saaty je formulisao skalu od pet vrednosti i četiri međuvrednosti, pri čemu je vrednost devet (9) gornja, a jedan (1) donja granica intervala. Skup vrednosti $[1, 1/9]$ jesu recipročne vrednosti intervala $[9,1]$.

Na pitanje zašto je gornji limit devet, odnosno, zašto na primer nije postavljen interval $[1, \infty]$, *Saaty* daje nekoliko razloga:

1. Kvalitativne razlike su značajne u praksi i imaju element preciznosti kada se upoređuju subjekti koji su istog reda važnosti, ili veoma bliski kada su u pitanju osobine za poređenje.
2. Sposobnost čoveka da pravi kvalitativne razlike predstavljena je sa pet vrednosti: jednako, slabo, jako, veoma jako i apsolutno. Može se napraviti i kompromis između susednih vrednosti kada je potrebna veća preciznost. Prema tome, ukupno je devet vrednosti i one mogu biti uzastopne, pa bi takva skala mogla da bude potvrđena u praksi.
3. U praksi se često sreće klasifikacija stimulansa prema tri vrednosti: odbijanje, indiferencija i prihvatanje. Radi preciznije klasifikacije, svaka od ovih vrednosti je podeljena na tri: nisko, srednje i visoko, što ukupno čini devet vrednosti.
4. U psihologiji je razvijena teorija 7 ± 2 subjekata u simultanoj komparaciji, koja sugerise da ako se uzme 7 elemenata + 2 elementa, zadovoljavajući opis pod (1), i ako su svi za nijansu različiti među sobom, potrebno je devet bodova da bi se prikazale razlike među njima. Ukoliko bi postavljeni interval bio na primer $[1, \infty]$, to bi značilo da je čovekov razum sposoban da razlikuje relativnu dominaciju bilo koja dva objekta, što nije slučaj. Iz iskustva je poznato da je čovekova sposobnost razlikovanja ograničena, a kada se upoređuju dva objekta, pretpostavke su najčešće proizvoljne. Ovo sugerise da skale treba da imaju konačan rang, to jest da je bolje da granice intervala budu zatvorene u oblasti koja reflektuje stvarnu sposobnost poređenja objekata.

Jednu od jednostavnijih metoda da se korišćenjem *Saaty*-jeve skale odrede težine kriterijuma njihovim prethodnim poređenjem po parovima predstavlja formiranje tzv. dominacione matrice. Ovim postupkom se u matrici dominacije $D = \|D_{ij}\|_{n \times n}$ za svaki par kriterijuma određuje vrednost dominacije D_{ij} , $ij=1,2,\dots,m$, koja, ako f' dominira nad f'' , uzima neku vrednost iz tabele 5.2 u zavisnosti od stepena dominacije, a ako f' ne dominira nad f'' , tada je $D_{ij} = 0$. Nakon poređenja po parovima kriterijuma, formiraju se zbrovi ukupnih dominacija po svakom od kriterijuma, a zatim se vrši njihova normalizacija. Primer opisanog postupka je ilustrovan u tabeli 5.3.

Tabela 5.3 *Primena dominacione matrice za određivanje težine kriterijuma njihovim prethodnim poređenjem po parovima - primer*

Kriterijum:	f_1	f_2	f_3	Zbir	Normalizovani zbir (Težinski koeficijenti)
f_1	1	5	0	6	0.38
f_2	0	1	0	1	0.06
f_3	2	6	1	9	0.56
Ukupno:				16	1.00

Utvrđivanje relativnih težina kriterijuma Delfi metodom

Relativne težine kriterijuma igraju presudnu ulogu u donošenju odluke, odnosno u izboru optimalnog rešenja. Metode koje se najčešće koriste za određivanje težina svakog pojedinog kriterijuma su metode anketiranja, a najčešće korišćena i najrazvijenija među njima jeste *Delfi metoda*. Delfi metoda, nastala ranih šezdesetih godina XX veka u američkoj korporaciji RAND (Santa Monica, California), jedna je od osnovnih metoda prognoziranja i ujedno najpoznatija i najviše korišćena metoda ekspertnih ocena koje predstavljaju značajno poboljšanje klasičnih načina dobijanja prognoza zajedničkom konsultacijom grupe stručnjaka za proučavani problem. Dakle, radi se o metodološki organizovanom korišćenju znanja eksperata radi predviđanja budućih stanja.

Autori metode su se za svrhu utvrđivanja relativnih težina kriterijuma odlučili za sistematsko i organizovano prikupljanje pojedinačnih predviđanja grupe stručnjaka sa ciljem dobijanja tražene prognoze. Ovom metodom se izbegavaju direktna diskusija i konfrontacija ljudi i mišljenja, koji klasični način dobijanja zajedničkog predviđanja grupe stručnjaka na otvorenom sastanku čine neobjektivnim.

Polazna tačka metode jeste definisanje problema za koji se traži prognoza. Zatim se formira grupa stručnjaka za datu oblast koji će učestvovati u prognoziranju. Preporučuje se da grupu čini 10 do 15, a najviše 35 stručnjaka. Kontakti sa stručnjacima se obavljaju putem serije upitnika. Na taj način se od njih traže prognoze i raznovrsne informacije, pri čemu je anonimnost stručnjaka i dobijenih prognoza zagarantovana.

Prva serija upitnika koja se dostavlja stručnjacima sadrži neophodne informacije o predmetu istraživanja, a od njih se zahteva da daju svoju prognozu koja mora biti potkrepljena odgovarajućim argumentima. Na bazi dobijenih prognoza se pristupa izračunavanju prosečne

prognoze koja predstavlja srednju vrednost pojedinačnih prognoza, kao i izračunavanju variranja prognoza oko srednje vrednosti koje predstavlja meru preciznosti prognoza.

Druga serija upitnika koja se šalje stručnjacima sadrži izračunatu prosečnu prognozu, meru preciznosti prognoza i ekstremne prognoze s njihovim razlozima. Od stručnjaka se tada traži da preispitaju svoju prvobitnu prognozu, urade eventualnu korekciju i dostave mišljenje o ekstremnim prognozama, zajedno sa odgovarajućom argumentacijom.

Ovakav proces se obavlja u više koraka, obično četiri, a konačna prognoza se dobija kao srednja vrednost prognoza iz poslednje serije upitnika. Kao prosečna vrednost se uzima medijana – ona vrednost prognoze za koju je broj ocenjivača čija je prognoza veća od te vrednosti jednak broju ocenjivača čija je prognoza manja od te vrednosti.

Prilikom ocene težinskih vrednosti, potrebno je voditi računa o sledećem:

- ukupan zbir težina mora da iznosi 1 (jedan);
- ukoliko se oceni da određeni cilj/kriterijum nije relevantan za izbor alternative, dodeljuje mu se težinska vrednost 0 (nula);
- svaki ocenjivač je autonoman u proceni težinskih vrednosti ciljeva/kriterijuma.

Drugi način utvrđivanja relativnih težina kriterijuma se sprovodi na osnovu mišljenja i odluke samog obrađivača.

5.2.4 METODE ZA VIŠEKRITERIJUMSKU OPTIMIZACIJU

Metode koje od samog početka formiranja matematičkog modela za određeni realni problem vode računa o više ciljeva istovremeno razvijaju se u oblasti višekriterijumske optimizacije (VKO). Postoji više razloga koji utiču na to da su problemi VKO po prirodi suštinski drugačiji u odnosu na probleme jednokriterijumske optimizacije. Osnovni je baš u tome što se svi faktori koji utiču na odluku, odnosno svi ishodi koje bi imalo eventualno rešenje, posmatraju kao kriterijumi čije vrednosti treba da budu optimalne. Dakle, treba naći rešenje koje je najbolje po svim razmatranim kriterijumima istovremeno, a činjenica je da su neki od njih u skoro svim problemima odlučivanja međusobno delimično ili potpuno konfliktni.

Metode višekriterijumske analize u konceptijskom smislu nisu naročito složene, a u formalnom smislu su, što je svojevrsan apsurd, jednostavnije za razumevanje od klasične jednokriterijumske optimizacije. Za ove metode je karakteristično da su nastajale u periodu brzog razvoja i širenja informacionih tehnologija i da su zasnivane na primeni računara.

Metode za višekriterijumsku optimizaciju se mogu klasifikovati u pet grupa [46]:

1. **Metode za određivanje neinferiornih rešenja** kojima se određuje skup neinferiornih rešenja, a ostavlja se donosiocu odluke da na osnovu svoje preferencije usvoji konačno rešenje. Ovoj grupi metoda pripadaju:
 - Metoda težinskih koeficijenata,
 - Metoda ograničenja u prostoru kriterijumskih funkcija,
 - Višekriterijumska Simpleks metoda.
2. **Metode sa unapred izraženom preferencijom** pomoću kojih se formira sintezna (rezultantna) kriterijumska funkcija, pa se zadatak dalje rešava kao da je jednokriterijumski. Predstavnici ove grupe su:
 - Metoda PROMETHEE,
 - Ciljno programiranje,
 - Metoda ELECTREE,
 - Metoda surogat vrednosti razmene.
3. **Interaktivne metode** u kojima donosilac odluke posebno izražava svoju preferenciju interaktivnim korišćenjem odgovarajuće metode. U ovu grupu metoda spadaju:
 - Metoda STEM,
 - Metoda SEMOPS.
4. **Stohastičke metode** kojima se u optimizacioni model uključuju i pokazatelji neizvesnosti. Predstavnik stohastičkih metoda je metoda PROTRADE.
5. **Metode za isticanje podskupa neinferiornih rešenja** kojima se sužavanje skupa neinferiornih rešenja postiže uvođenjem dodatnih elemenata odlučivanja.

5.2.4.1 Metoda PROMETHEE

Metoda PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*) predstavlja jednu od najmlađih metoda u oblasti višekriterijumske analize (nastala je 1982. godine) i svrstava se u grupu metoda za višekriterijumski izbor u skupu alternativa opisanih sa više atributa koji se koriste kao kriterijumi [46]. Metoda omogućuje rangiranje kvalitativnih i kvantitativnih kriterijuma različite važnosti u relaciju parcijalnog uređenja u skupu alternativa (PROMETHEE I), ili u jedinstven rezultat (PROMETHEE II) na osnovu kojeg se alternative mogu potpuno rangirati. Problemi koji se mogu rešavati metodom

PROMETHEE II se odnose na rangiranje alternativa i izbor najprihvatljivije na osnovu definisanog broja kriterijuma.

Metode PROMETHEE I i PROMETHEE II se zasnivaju na pretpostavci da postoji potpuno ili delimično uređenje prostora kriterijumskih funkcija i to pre procesa višekriterijumske optimizacije. Uređenje prostora kriterijumskih funkcija je moguće ako je poznata preferencija donosioca odluke, tako da se mogu definisati relacije uređenja. Poznavanje relacija uređenja kriterijumskog prostora omogućava da se proces eliminacije sprovodi i u skupu neinferiornih rešenja. Ako je definisana relacija potpunog uređenja kriterijumskog prostora, tada koncepti neinferiornosti i optimalnosti postaju ekvivalentni.

Poznavanje preferencije na početku višekriterijumske optimizacije omogućava formulisanje zadatka VKO u vidu zadatka jednokriterijumske (skalarne) optimizacije, koji se zatim rešava klasičnim metodama. Teškoće u primeni metoda iz ove grupe javljaju se u onim praktičnim zadacima kada donosilac odluke ne može, ne zna ili ne želi da u potpunosti izrazi svoju preferenciju bez sagledavanja bar preliminarne rezultata višekriterijumske optimizacije.

Metodom PROMETHEE se rešava višekriterijumski problem u obliku

$$\text{Max}\{f_1(a_i), f_2(a_i), \dots, f_m(a_i) / a_i \in A\}, \quad (5.16)$$

gde je:

A – konačan skup alternativa;

a_i – varijante (alternative za izbor), $i = 1, 2, \dots, n$;

f_j – kriterijumi, $j = 1, 2, \dots, m$.

Kriterijume po pravilu treba posmatrati i kreirati kao *kriterijume koristi* koje treba maksimizirati ili zadovoljiti po principu „veće je bolje”, čime se postiže jednostavnija prezentacija metode. U slučaju kada su neki od kriterijuma *tipa troškovi*, kada se logično postavlja zahtev za njihovom minimizacijom, oni se mogu transformirati u kriterijume koristi, ili se postupak prilagođava tim kriterijumima.

Poredak alternativa i kriterijuma se obično prikazuje tabelarno (tabela 5.4). U tabeli se sa $f_j(a_i)$ obeležava vrednost j -tog kriterijuma za i -tu alternativu.

Tabela 5.4 Prikaz alternativa i kriterijuma

	f_1	f_2	...	f_j	...	f_m
a_1	$f_1(a_1)$	$f_2(a_1)$	...	$f_j(a_1)$	...	$f_m(a_1)$
a_2	$f_1(a_2)$	$f_2(a_2)$	...	$f_j(a_2)$	...	$f_m(a_2)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
a_i	$f_1(a_i)$	$f_2(a_i)$		$f_j(a_i)$		$f_m(a_i)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
a_n	$f_1(a_n)$	$f_2(a_n)$	...	$f_j(a_n)$	...	$f_m(a_n)$

Primenu metode PROMETHEE karakterišu dva koraka:

1. konstrukcija relacije preferencije u skupu alternativa A ;
2. korišćenje te relacije da bi se odgovorilo na problem.

Metoda PROMETHEE je razvijena za višekriterijumsku analizu skupa elemenata i primenjiva je za analizu skupa elemenata i za rangiranje alternativa. Postoje četiri varijante metode PROMETHEE:

- PROMETHEE I daje parcijalni poredak alternativa i pomaže donosiocu odluke da delimično rangira alternative,
- PROMETHEE II omogućava potpuni poredak alternativa (rangiranje),
- PROMETHEE III vrši rangiranje u odgovarajućim intervalima,
- PROMETHEE IV predstavlja proširenje PROMETHEE III za neprekidne skupove - razmatra neprekidan niz alternativa.

U predmetnom istraživanju se prikazuje detaljan postupak izbora najbolje alternative korišćenjem metoda PROMETHEE I i PROMETHEE II koje imaju zajedničke početne faze, s tim što metoda PROMETHEE II ima tri dodatne faze kojima se utvrđuje potpuni poredak alternativa:

1. Proširenje strukture preferencija i uvođenje opšteg kriterijuma;
2. Konstrukcija grafa višeg ranga;
3. Eksploatacija dobijenog grafa.

Metoda PROMETHEE uvodi funkciju preferencije $P(a_1, a_2)$ za alternative a_1 i a_2 koje su vrednovane kriterijumskim funkcijama f_j , $j = 1, 2, \dots, m$. Alternativa a_1 je bolja od alternative a_2 prema kriterijumu f ako je $f(a_1) > f(a_2)$, pa se tada funkcija preferencije definiše na sledeći način:

$$P(a_1, a_2) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } f(a_1) \leq f(a_2) \\ P(f(a_1) - f(a_2)), & \text{ako je } f(a_1) > f(a_2) \end{cases} \quad (5.17)$$

Funkcija preferencije je neopadajuća funkcija koja poprima vrednost *nula* za negativnu vrednost razlike $f(a_1)$ i $f(a_2)$, odnosno za $d \leq 0$. Pri tome je

$$d = f(a_1) - f(a_2). \quad (5.18)$$

Funkcija preferencije koja se pridružuje pojedinom kriterijumu jeste funkcija razlike kriterijumskih vrednosti alternativa, pa se tada u zavisnosti od tipa ekstremizacije (*max* ili *min*) može pisati:

$$P(a_1, a_2) = \begin{cases} P(f(a_1) - f(a_2)) & \text{kada je } f \text{ max} \\ P(f(a_2) - f(a_1)) & \text{kada je } f \text{ min} \end{cases} \quad (5.19)$$

Intenzitet preferencije alternative a_1 u odnosu na alternativu a_2 se izražava sledećom interpretacijom:

- $P(a_1, a_2) = 0$ znači indiferentnost između a_1 i a_2 , tj. nema preferentnosti a_1 nad a_2 ;
- $P(a_1, a_2) \approx 0$ znači slabu preferentnost a_1 nad a_2 ;
- $P(a_1, a_2) \approx 1$ znači jaku preferentnost a_1 nad a_2 ;
- $P(a_1, a_2) = 1$ znači strogu preferentnost a_1 nad a_2 .

Funkcija preferencije služi da razliku u vrednostima za svaki par alternativa svede po svakom kriterijumu u opseg od 0 do 1. Time se postiže ujedno normalizacija vrednosti u matrici odlučivanja i dobijanje informacija o preferentnosti (dominantnosti, boljitku) svake alternative u odnosu na svaku ostalu alternativu i to po svim kriterijumima. Autori metode su u zavisnosti od tzv. generalisanih (opštih) kriterijuma predložili šest tipova funkcija preferencije za koje smatraju da pokrivaju većinu standardnih zahteva u tom pogledu, pri čemu nosilac odlučivanja određuje najviše dva parametra za svaku kriterijumsku funkciju prema usvojenom tipu preferentnosti.

- **Parametar p** je prag preferentnosti ili značajnosti i predstavlja *najmanje* odstupanje između dve ocenjivane alternative koje treba smatrati značajnim, a približava se najvećem stepenu preferentnosti.
- **Parametar q** je prag indiferentnosti ili neznčajnosti i predstavlja *najveće* odstupanje između dve ocenjivane alternative koje treba smatrati neznatnim i nebitnim (beznčajnim).

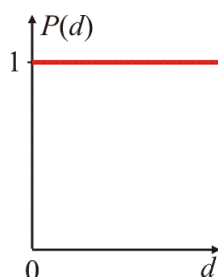
- **Parametar σ** je Gausov prag preferentnosti ili značajnosti i predstavlja odstupanje između dve ocenjivane alternative koje se smatra srednjim stepenom preferentnosti.

Sva tri parametra se mogu definisati alternativno kao celi brojevi ili procenti.

Brži rast kriterijumske funkcije podrazumeva veći izraz preferentnosti alternative a_1 u odnosu na alternativu a_2 u pojedinim segmentima.

I Običan (jednostavan) kriterijum

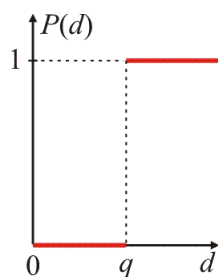
$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d \leq 0 \\ 1, & \text{ako je } d > 0 \end{cases} \quad (5.20)$$



U ovom slučaju postoji indiferentnost između alternativa a_1 i a_2 ako i samo ako je $f(a_1) = f(a_2)$, odnosno, ako je $d = 0$. U suprotnom, donosilac odluke ima strogu preferentnost za alternativu koja ima veću vrednost.

II Kvazi kriterijum

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq q \\ 1, & \text{ako je } d > q \end{cases} \quad (5.21)$$

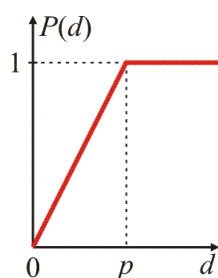


Dve alternative su za donosioca odluke indiferentne sve dok razlika njihovih vrednosti d ne prekorači prag indiferentnosti q . Nakon toga se radi o strogoj preferentnosti.

Donosilac odluke treba da odredi vrednost parametra q .

III Kriterijum sa linearnom preferencijom (linearni kriterijum)

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ d/p, & \text{ako je } 0 \leq d \leq p \\ 1, & \text{ako je } d > p \end{cases} \quad (5.22)$$

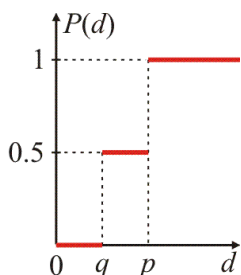


Sve dok je d manje od p , preferentnost donosioca odluke linearno raste sa d , a kad d postane strogo veće od p , nastaje situacija stroge preferentnosti.

Donosilac odluke treba da odredi vrednost parametra p - praga preferencije, a to je najmanja vrednost d koja uzima u obzir postojanje stroge preferencije jedne od odgovarajućih alternativa.

IV Kriterijum sa nivoima preferencije (nivojski ili stepenasti kriterijum)

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq q \\ 0.5, & \text{ako je } q < d \leq p. \\ 1, & \text{ako je } d > p \end{cases} \quad (5.23)$$

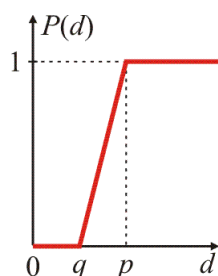


U ovom slučaju su prag indiferentnosti q i prag slabe preferentnosti p istovremeno definisani. Ukoliko se d nalazi između q i p , radi se o slaboj preferentnosti.

Donosilac odluke treba da odredi vrednost parametara p i q .

V Kriterijum sa linearnom preferencijom i oblašću indiferentnosti

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q}, & \text{ako je } q < d \leq p. \\ 1, & \text{ako je } d > p \end{cases} \quad (5.24)$$

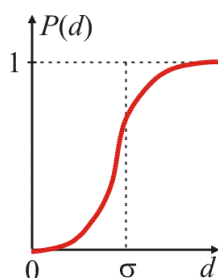


Donosilac odluke smatra da njegova preferencija odluke linearno raste između pragova q i p .

Donosilac odluke treba da odredi vrednost parametara q i p .

VI Gausov kriterijum

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d = 0 \\ 1 - e^{-\frac{d^2}{2\sigma^2}}, & \text{ako je } |d| > 0 \end{cases} \quad (5.25)$$



Donosilac odluke smatra da njegova preferentnost odluke ima izgled Gausove krive. Budući da nema prekida, funkcija je interesantna zbog osigurane stabilnosti rezultata.

Donosilac odluke treba da odredi vrednost parametra normalne distribucije σ .

Da bi se u cilju rangiranja po metodi PROMETHEE dobio konačan rang upotrebljivanih alternativa uz uvažavanje zahteva za maksimizacijom ili minimizacijom kriterijuma, potrebno je da se po izvršenom izboru preferencijskih funkcija i parametara, kao i otežavanju kriterijuma, odredi višekriterijumski indeks preferencije za svaki par uređivanih alternativa i isti uvrsti u tabelu indeksa preferencije (tabela 5.4).

Indeks preferentnosti alternative a_1 nad alternativom a_2 , $\pi(a_1, a_2)$, može se definisati izrazom:

$$\pi(a_1, a_2) = \frac{\sum_{j=1}^m w_j P_j(a_1, a_2)}{\sum_{j=1}^m w_j}, \quad 0 \leq \pi(a_1, a_2) \leq 1, \quad (5.26)$$

gde je:

w_j - relativni značaj (težina) kriterijuma; ukoliko su kriterijumi različitih težina,

$\pi(a_1, a_2)$ se računa kao ponderisana, a ne kao prosta aritmetička sredina;

$P_j(a_1, a_2)$ - funkcija preferencije (funkcija razlike kriterijumskih vrednosti alternativa) po j -tom kriterijumu.

Indeks preferentnosti $\pi(a_1, a_2)$ daje veličinu (meru) preferentnosti donosioca odluke alternative a_1 u odnosu na a_2 i varira između vrednosti 0 i 1. Što je bliži vrednosti 1 to je preferentnost veća:

- $\pi(a_1, a_2) \approx 0$ označava slabu preferentnost alternative a_1 u odnosu na alternativu a_2 po svim kriterijumima;
- $\pi(a_1, a_2) \approx 1$ označava jaku preferentnost alternative a_1 u odnosu na alternativu a_2 po svim kriterijumima.

Vrednosti indeksa preferentnosti određuje dijagram za rangiranje. Indeks preferentnosti govori o preferentnosti alternative a_1 u odnosu na alternativu a_2 , ali uzimajući u obzir sve kriterijume istovremeno, za razliku od $P_j(a_1, a_2)$, koja takođe govori o preferentnosti alternative a_1 u odnosu na alternativu a_2 , ali samo po j -tom kriterijumu.

Formiranje matrice indeksa preferentnosti se vrši na način prikazan u tabeli 5.5.

Tabela 5.5 Model matrice indeksa preferentnosti

	a_1	...	a_n
a_1	0	$\vdots$	$\pi(a_1, a_n)$
$\vdots$	$\vdots$	0	$\vdots$
a_n	$\pi(a_n, a_1)$	...	0

Primenom metode PROMETHEE I se saglasno datim uslovima za svaku alternativu a izračunava izlazna (Φ^+) i ulazna vrednost toka (Φ^-) alternative, na osnovu kojih se dobija parcijalni poredak upoređivanih alternativa:

$$\Phi^+(a_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n \pi(a_i, f_j), \quad (5.27)$$

$$\Phi^-(a_j) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \pi(f_j, a_i). \quad (5.28)$$

Izlazna vrednost toka $\Phi^+(a_1)$ pruža informaciju o tome koliko je alternativa a_1 bolja od svih ostalih alternativa iz skupa alternativa A po svim kriterijumima iz skupa kriterijuma K. Analogno tome, ulazna vrednost toka $\Phi^-(a_1)$ daje suprotnu informaciju, odnosno koliko su sve ostale alternative bolje od alternative a_1 . Što je izlazna vrednost toka $\Phi^+(a_1)$ veća, to alternativa a_1 više dominira nad ostalim alternativama u skupu alternativa A. Što je ulazna vrednost toka $\Phi^-(a_1)$ veća, to ostale alternative više dominiraju nad alternativom a_1 u skupu alternativa A.

Prema metodi PROMETHEE I, alternativa a_1 je *preferentna* u odnosu na alternativu a_2 , ako je ispunjen neki od sledećih uslova:

$$a_1 P^I a_2 \text{ ako je: } \begin{cases} \Phi^+(a_1) > \Phi^+(a_2) \wedge \Phi^-(a_1) < \Phi^-(a_2) \\ \Phi^+(a_1) > \Phi^+(a_2) \wedge \Phi^-(a_1) = \Phi^-(a_2) \\ \Phi^+(a_1) = \Phi^+(a_2) \wedge \Phi^-(a_1) < \Phi^-(a_2) \end{cases} \quad (5.29)$$

Alternativa a_1 je *indifirentna* u odnosu na alternativu a_2 po metodi PROMETHEE I (međusobno su jednake, nema međusobne preferentnosti), ako je ispunjeno:

$$a_1 I^I a_2 \text{ ako je } \Phi^+(a_1) = \Phi^+(a_2) \wedge \Phi^-(a_1) = \Phi^-(a_2). \quad (5.30)$$

Alternativa a_1 je *nekomparabilna* u odnosu na alternativu a_2 po metodi PROMETHEE I (ne mogu se porediti, nema zaključka o preferentnosti jedne u odnosu na drugu alternativu) u svim ostalim slučajevima:

$$a_1 R^I a_2, \text{ u ostalim slučajevima.} \quad (5.31)$$

Budući da PROMETHEE I daje parcijalni rang, koji podrazumeva i postojanje međusobne neuporedivosti alternativa, nastavak ove metode nazvan PROMETHEE II isključuje mogućnost neuporedivosti i daje konačan rang alternativa.

Mogućnost postojanja neuporedivosti je isključena uvođenjem karakteristike $\Phi(a_1)$ koja se naziva relacija čistog toka i predstavlja ukupnu preferentnost alternative a_1 . Izračunava se kao:

$$\Phi(a_1) = \Phi^+(a_1) - \Phi^-(a_1) \quad (5.32)$$

Prema metodi PROMETHEE II, alternativa a_1 je *preferentna* u odnosu na alternativu a_2 ako je ispunjen uslov:

$$a_1 P^{II} a_2 \text{ ako je: } \Phi(a_1) > \Phi(a_2). \quad (5.33)$$

Prema metodi PROMETHEE II, alternativa a_1 je *indiferentna* u odnosu na alternativu a_2 ako je ispunjen uslov:

$$a_1 I^I a_2 \text{ ako je: } \Phi(a_1) = \Phi(a_2) . \quad (5.34)$$

Za rešavanje problema odlučivanja se može koristiti i proširen modifikovan pristup metode PROMETHEE. Ovaj pristup se ogleda u korišćenju i drugih preferencijskih funkcija kao što su preferencijske funkcije prvog i drugog tipa, kada nosilac odlučivanja može iskazati svoje preferencije pomoću analitičke funkcije oblika:

$$P(d) = \begin{cases} |d|^{\frac{\alpha}{p\alpha}}, & \text{ako je } |d| \leq p \\ 1, & \text{ako je } |d| > p \end{cases}, \quad (5.35)$$

gde je:

α – parametar brzine, odnosno intenziteta preferencije ($0 < \alpha < \infty$);

p – prag (granica) preferencije.

U zavisnosti od željenog intenziteta preferencije koji želi da iskaže, nosilac odlučivanja bira vrednost parametara i određuje granice preferencije.

Univerzalna preferencijska funkcija kojom se mogu izraziti još kompleksniji zahtevi ima oblik:

$$P(d) = \begin{cases} m \cdot |d|^{\frac{\alpha}{p\alpha}}, & \text{ako je } |d| \leq p \\ m + \left[\frac{(1-m)}{(q-p)^\beta} \right] \cdot (|d| - p)^\beta, & \text{ako je } p < |d| \leq q \\ 1, & \text{ako je } |d| > q \end{cases}, \quad (5.36)$$

gde su:

α i β – parametri brzine, odnosno intenziteta preferencije ($0 < \alpha < \infty$; $0 < \beta < \infty$),

p – granica promene brzine (intenziteta preferencije),

q – granica preferencije i

m – parametar.

Bitna je činjenica da prema metodi PROMETHEE donosilac odluka mora „vagati” kriterijume i izabrati sklonost prema nekoj od datih funkcija. Metoda PROMETHEE ne daje posebne smernice za određivanje težine za kriterijume, već pretpostavlja da donosilac odluka može „vagati” kriterijume na odgovarajući način, barem kada kriterijuma nema previše. Svako „vaganje” ostaje subjektivno i ograničeno samo na vrednovanje alternativa, tako da osetljivost analize, koja pojašnjava kako izabrati težine kriterijuma, odnosno koji grafikon funkcije, postaje izuzetno važna.

Računarska podrška PROMETHEE metode

Računarski programi, alati i tehnike, koji zajedno služe kao podrška odlučivanju primenom računara, nazivaju se zajedničkim imenom sistemima za podršku odlučivanju i u stručnoj i naučnoj komunikaciji se označavaju skraćenicom DSS (*Decision Support Systems*). Naročit razvoj ovih sistema i interesovanje za njihovu primenu se beleži u poslednjih 20-ak godina.

Prva primena računara za rešavanje problema višekriterijumske optimizacije PROMETHEE metodom je realizovana krajem 1980. godine. Program je nazvan *PROMCALC* i predviđen je za rad pod operativnim sistemom MS DOS.

Program *Decision Lab*, kao naslednik programa *PROMCALC*, pri rešavanju problema u višekriterijumskom odlučivanju metodom PROMETHEE znatno olakšava praćenje procesa odlučivanja i analizu eksperimentalnih podataka. Jedna od karakteristika programa je i da uklapa funkcije jedne i više nezavisno promenljivih veličina.

Program *Visual PROMETHEE* [74] pruža značajnu podršku u situacijama kada su kriterijumi za donošenje odluka konfliktni i kada je potrebno izvršiti određena sortiranja klasa alternativa. Pogodnost ovog programa je i u tome što pruža mnoštvo različitih analiza i solucija koje donosiocu odluke u značajnoj meri pomažu da brzo, efikasno i vrlo jednostavno dođe do najpovoljnijeg rešenja u datom trenutku. Program je korisnički orijentisan, sa dobrim interfesom koji omogućava jednostavan i transparentan unos podataka za alternative, kriterijume i težinske vrednosti kriterijuma. Takođe, program pruža mogućnost pojedinačnog isključivanja kriterijuma iz procesa vrednovanja alternativa, kao i mogućnost isključivanja samih alternativa i ispitivanja moguće promene rangova preostalih alternativa.

Kompanija *D-Sight*, specijalizovana za računarski podržanu podršku odlučivanju, razvija različita programska rešenja sa ciljem realizacije raznovrsnih složenih procesa donošenja odluka. Programski paket *Decision Sights* je, između ostalog, našao izuzetnu primenu u rešavanju problema višekriterijumske optimizacije PROMETHEE metodom.

6

Izbor optimalne merne strategije za procenu dugotrajne vrednosti indikatora buke u životnoj sredini

SRSTRATEGIJE MONITORINGA BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI
PREGLED I ANALIZA REZULTATA U OBLASTI ISTRAŽIVANJA
RAZVOJ METODOLOGIJE DUGOTRAJNOG MONITORINGA BUKE U ISTRAŽIVANJU
EKSPERIMENTALNI REZULTATI MERENJA
PRIMENA VKO PRI IZBORU OPTIMALNE MERNE STRATEGIJE
IZBOR OPTIMALNE MERNE STRATEGIJE PRIMENOM PROMETHEE METODE
DISKUSIJA REZULTATA ISTRAŽIVANJA

VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMIZACIJA IZBORA MERNE STRATEGIJE ZA PROCENU
DUGOTRAJNE VREDNOSTI INDIKATORA BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI

Činjenica da se površina evropskih gradova u poslednjih 20 godina povećala za 20 % i da je broj stanovnika u njima u istom periodu uvećan za 6 % [44], učinila je da buka u takvom okruženju, uzrokovana intenziviranim saobraćajem, građevinarstvom, industrijom i rekreativnim aktivnostima, postaje ozbiljan, a u nekim slučajevima glavni lokalni problem stanja životne sredine i izvor sve većeg broja pritužbi od strane javnosti. Najnoviji podaci o zagađenju životne sredine bukom [69], dobijeni nakon prvog kruga strateškog mapiranja buke naselja Evropske unije, pokazuju da je 54 % stanovništva (56 miliona) u urbanim sredinama izloženo nivou buke L_{den} većem od 55 dB, a 15 % populacije (oko 15,5 miliona stanovnika) nivou buke L_{den} iznad 65 dB. Osim toga, oko 33,5 miliona stanovnika izvan aglomeracija živi u područjima gde nivo buke L_{den} prelazi 55 dB, a čak 7,6 miliona stanovnika živi u područjima gde nivo buke L_{den} premašuje 65 dB. Rezultati poslednjih istraživanja pokazuju da je od ukupno 89,5 miliona stanovnika izloženih nivou buke L_{den} iznad 55 dB, skoro 89 miliona izloženo uticaju saobraćajne buke [69]. Navedeni podaci su podstakli istraživače iz celog sveta da posvete više pažnje proučavanju i definisanju problema saobraćajne buke kao dominantnog izvora buke u urbanim područjima [2,14,22,28,33,43,48,51]. Iz tih razloga, praćenje nivoa buke u životnoj sredini, njegova procena i analiza rezultata postaju neophodnost, a naročito kada se raspravlja o mogućem oporavku područja sa zatečenim visokim nivoima buke, pre svega u zonama koje su namenjene specifičnim aktivnostima.

6.1 STRATEGIJE MONITORINGA BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI

Aktuelni pristup utvrđivanja stepena zagađenosti životne sredine bukom podrazumeva dve merne strategije za određivanje godišnjih indikatora buke na datoj lokaciji.

Prva strategija predstavlja dugotrajno merenje (*long-term measurement*) ekvivalentnog nivoa buke tokom dovoljno dugog perioda koji bi obuhvatio sve promene u radu izvora buke, kao i sve promene meteoroloških uslova. Imajući u vidu nepredvidivo ponašanje nivoa saobraćajne buke tokom vremena, nemogućnost preciznog utvrđivanja strukture i frekvencije vozila u određenom periodu, kao i povezanost strukture i frekvencije saobraćaja sa meteorološkim uslovima, za vremenski interval dugotrajnog merenja se u svrhu određivanja indikatora buke na datoj lokaciji uzima sa aspekta buke neki bitan deo kalendarske godine, obično jedan mesec, tri meseca, šest meseci, ili u krajnjem slučaju period od jedne kalendarske godine.

Druga strategija predstavlja seriju kratkotrajnih merenja (*short-term measurement*) ekvivalentnog nivoa buke koja se sprovode pod određenim (specifičnim, karakterističnim)

radnim režimom izvora buke i meteorološkim uslovima. Utvrđivanje godišnje vrednosti indikatora buke se u tom slučaju vrši primenom relevantne metode predviđanja. Izbor vremenskog intervala kratkotrajnog merenja, kao i broja kratkotrajnih merenja u okviru vremenskog intervala posmatranja od jedne kalendarske godine su od presudnog značaja za utvrđivanje indikatora buke na datoj lokaciji. Vremenski interval merenja za slučaj kratkotrajnih merenja iznosi najmanje 10 min., pri čemu se zbog uzimanja u obzir i promena meteoroloških uslova tokom merenja preporučuje interval od 30 min. Izbor vremenskog intervala kratkotrajnih merenja je aktuelna tema brojnih radova [1], kada se u zavisnosti od broja uticajnih faktora i njihovog doprinosa rezultatima merenja istraživači opredeljuju za različite vremenske intervale.

Rezultati dugotrajnih merenja su svakako precizniji i mogu da se koriste sa manje korekcija u odnosu na rezultate kratkotrajnih merenja.

Dugotrajna merenja ekvivalentnog nivoa buke se mogu realizovati primenom dve merne strategije - strategijom permanentnog monitoringa buke ili strategijom polupermanentnog monitoringa buke.

Permanentni monitoring buke predstavlja neprekidno merenje ekvivalentnog nivoa buke na datom, fiksnom mernom mestu i to 24 sata dnevno, 365 dana u godini, za šta se koriste trajno instalirane stanice za monitoring buke. Permanentni monitoring pruža mogućnost realnog uvida u trendove buke na ispitivanoj lokaciji i precizne podatke za kalibraciju strateških karata buke.

Polupermanentni monitoring, obično u neprekidnom trajanju od nekoliko dana do nekoliko nedelja ili meseci, svoju primenu nalazi kako za određivanje godišnjeg indikatora buke, tako i u slučajevima ekonomičnog praćenja trendova buke u životnoj sredini, utvrđivanja poštovanja graničnih vrednosti nivoa buke, informisanja javnosti i ukazivanja na postojeće probleme, podizanja nivoa znanja o odnosu doze izloženosti buci stanovništva i pratećim posledicama, kao i kalibracije karata buke. Za potrebe polupermanentnog monitoringa se koriste stanice za monitoring buke koje se brzo i jednostavno premeštaju sa jedne na drugu lokaciju.

Aдекватni vremenski intervali merenja polupermanentnog monitoringa buke, kao i broj merenja ekvivalentnog nivoa buke na istoj poziciji tokom godine kojima bi se obezbedili reprezentativni podaci za procenu godišnjih indikatora buke nisu definisani standardima koji se odnose na datu materiju. Istraživačima je na taj način prepušteno da trajanje

polupermanentnih merenja određuju na osnovu eksperimentalnih studija, uzimajući pritom u obzir različite režime rada izvora buke, npr. strukturu i frekvenciju saobraćaja u slučaju ispitivanja drumskog saobraćaja, tako da izabrani vremenski interval merenja bude reprezentativan u smislu kasnijih potreba za minimalnim korekcijama. Ukoliko se uslovi prostiranja ili emisije buke bitno razlikuju tokom različitih godišnjih doba, npr. zbog korišćenja zimskih pneumatika na vozilima ili postojanja snežnog pokrivača na kolovozu tokom zimskog perioda, istraživač u cilju dobijanja preciznijih podataka procenjuje izborom dinamičkog plana potrebu merenja u različitim godišnjim dobima, birajući vremenske intervale merenja tako da njima bude obuhvaćeno što više različitih meteoroloških uslova.

6.2 PREGLED I ANALIZA REZULTATA U OBLASTI ISTRAŽIVANJA

Monitoring buke u životnoj sredini se u urbanim područjima obično sprovodi pomoću malog broja relativno skupih profesionalnih analizatora zvuka velike preciznosti. Zahvaljujući razvoju mikro-elektromehaničkih sistema, danas su u upotrebi i drugi sistemi koji sa manjom ili većom preciznošću zadovoljavaju postavljene zadatke. Tako se na primer u više studija ističe mogućnost monitoringa buke u životnoj sredini primenom bežičnih (*wireless*) mreža senzora [5,47,59], a pojedini autori za tu svrhu sugerišu i mogućnost primene pametnih telefona (*smartphones*) [11,56].

6.2.1 AKTUELNO STANJE MONITORINGA BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI NA TERITORIJI SRBIJE

Monitoring buke u životnoj sredini se na osnovu Zakona o zaštiti od buke u životnoj sredini i pratećih propisa sprovodi u Srbiji na teritoriji nekoliko gradova. Iako su ovi propisi u skladu sa nacionalnim standardima [64,65], metodologija monitoringa buke se u različitim gradovima bitno razlikuje, pre svega po pitanju broja i u vezi sa tim načina izbora mernih mesta, zatim po broju merenja u toku referentnih perioda merenja (dan, večer, noć) koji definišu dinamiku monitoringa, po vremenskim intervalima merenja, kao i po mernim parametrima i indikatorima buke koji se koriste za evaluaciju buke [55].

Primena različitih procedura merenja je posledica više faktora koji se ogledaju u specifičnostima pojedinih gradova, kao što su: konfiguracija terena, struktura i vrsta saobraćajnica, struktura i obim saobraćaja, broj i položaj objekata osetljivih na buku, doprinos specifičnih izvora buke opštem stanju nivoa buke itd.

Dosadašnja praksa monitoringa buke u gradovima Srbije obično podrazumeva strategiju kratkotrajnih merenja ekvivalentnog nivoa buke sa 15-minutnim vremenskim intervalima

merjenja tokom kojih se evidentiraju podaci o strukturi i obimu saobraćaja [55]. Vremenski interval merjenja je u pojedinim slučajevima povećan na jedan sat. U poslednje vreme se u pojedinim gradovima (Novi Sad, Beograd i Pančevo) realizuje monitoring buke po metodologiji koja podrazumeva seriju kratkotrajnih merjenja sa 24-časovnim vremenskim intervalom merjenja. Strategija dugotrajnih polupermanentnih i permanentnih merjenja buke u cilju monitoringa buke u životnoj sredini je na području Srbije za sada prisutna u ograničenom obimu i u obliku probnih projekata na teritoriji Novog Sada [42] i Niša [41].

Monitoring nivoa buke drumskog saobraćaja na teritoriji grada Niša se sprovodi na mesečnoj osnovi od 1995. godine do danas. Metodologija monitoringa je definisana “Programima praćenja nivoa komunalne buke na teritoriji grada Niša” i koncipirana na seriji kratkotrajnih merjenja u okviru referentnih vremenskih intervala, pri čemu je dnevni interval merjenja (od 06 do 18 časova) podeljen na dva perioda (od 09 do 12 i od 13 do 16 časova), večernji interval merjenja obuhvata jedan period (od 18 do 22 časa), dok je noćni interval merjenja podeljen takođe na dva perioda (od 22 do 01 i od 02 do 05 časova). U okviru svakog od četiri tromesečna ciklusa merjenja se na mesečnom nivou vrši 15-minutno merenje parametara buke u navedenim periodima na svakom mernom mestu. Mesečne vrednosti indikatora buke se izračunavaju na osnovu rezultata tako definisanih pet kratkotrajnih merjenja i prikazuju u mesečnom izveštaju o stanju nivoa buke na izabranim lokacijama [57]. Procena godišnje vrednosti indikatora buke na pojedinim mernim mestima se vrši na osnovu četiri mesečne vrednosti indikatora buke koje su dobijene za po jedan mesec u svakom od godišnjih doba.

6.3 RAZVOJ METODOLOGIJE DUGOTRAJNOG MONITORINGA BUKE U ISTRAŽIVANJU

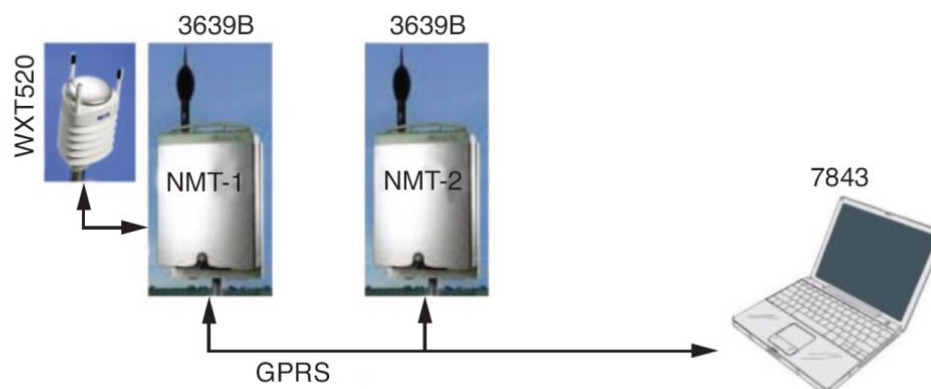
6.3.1 OPREMA KOJA JE KORIŠĆENA ZA POTREBE ISTRAŽIVANJA

Rešavanje problema izbora merne strategije za procenu godišnje vrednosti indikatora buke u životnoj sredini, kao osnovnog zadatka predmetnog istraživanja, zahteva između ostalog i odgovarajuću opremu za realizaciju neophodnih merjenja parametara buke.

Fakultet zaštite na radu u Nišu raspolaže od 2013. godine Sistemom za upravljanje bukom u životnoj sredini (*Environmental Noise Management System - ENMS*) danskog proizvođača *Brüel&Kjær*, namenjenim za potrebe dugotrajnog monitoringa buke u životnoj sredini. Osnovne elemente Sistema čine upravljački softver tipa 7843 i dve stanice za monitoring buke (*Noise Monitorig Terminal - NMT*) tipa 3639-B-203 (sl. 6.1). Sistem je radi praćenja meteoroloških uslova tokom merjenja dodatno opremljen i meteorološkom stanicom finskog

proizvođača *Vaisala*, tip WXT 520, namenjenom za merenje temperature i relativne vlažnosti vazduha, atmosferskog pritiska, brzine i pravca duvanja vetra, kao i merenje količine padavina.

Navedena oprema je ujedno korišćena za potrebe istraživanja u predmetnoj doktorskoj disertaciji. Vrednost opreme iznosi oko 80.000,00 evra.



Sl. 6.1 Sistem za upravljanje bukom u životnoj sredini - ENMS

Detaljna specifikacija komponentata Sistema za upravljanje bukom u životnoj sredini je navedena u tabeli 6.1.

Sistem za upravljanje bukom u životnoj sredini sadrži server sa profesionalnom bazom podataka *Microsoft SQL* kao centralnom komponentom servera i računar (radnu stanicu) koji je namenjen prijemu informacija i aplikacija sa servera [66]. Server obezbeđuje skladištenje i čuvanje osnovnih podataka o parametrima buke i vremenskim uslovima koje preuzima sa dve stanice za monitoring buke.

Centralni deo Sistema čini softver tipa 7843 koji sa stanicama za monitoring buke ostvaruje komunikaciju u realnom vremenu i obezbeđuje kontinuirano skladištenje podataka u obe stanice i centralnu bazu Sistema. Softver omogućuje preuzimanje, pretraživanje i pronalaženje podataka o parametrima buke sa servera, njihovu analizu, izradu izveštaja, kao i preuzimanje podataka o meteorološkim uslovima i lokaciji stanica.

Tabela 6.1 Komponente Sistema za upravljanje bukom u životnoj sredini

	Komponenta / karakteristike		Serijski broj
Merna stanica 1 (tip 3636-B-203)	1.1	Kabinet stanice, tip 3636-B-100	2870021
	1.2	Merač nivoa zvuka Brüel&Kjær, tip 2250-N	3001588
	1.3	Mikrofon Brüel&Kjær, tip 4189	2850910
	1.4	Štitnik za mikrofon Brüel&Kjær, tip UA-1404	-
	1.5	Predpojačavač Brüel&Kjær, tip ZC-0032	18212
	1.6	Akumulatorska baterija, tip QB-0065	195579-006
	1.7	Pribor za montažu na stub/zid, tip UA-2198	-
	1.8	GPRS ruter sa antenom	-
	1.9	GPS prijemnik ZZ-0249 „Garmin“, model 16x-HVS	191957/0
	1.10	Merni softver Brüel&Kjær BZ-7232, verzija 4.15 Licenca br. 65B8 7D2E CEB9 4F6A	3001588
	1.11	Merni softver Brüel&Kjær BZ-7223, verzija 4.x Licenca br. 4DA8 C290 A792 371B	3001588
	1.12	Merni softver Brüel&Kjær BZ-7222, verzija 4.x Licenca br. 5193 66D2 9E5F DBA5	3001588
Merna stanica 2 (tip 3636-B-203)	2.1	Kabinet stanice, tip 3636-B-100	2870020
	2.2	Merač nivoa zvuka Brüel&Kjær, tip 2250-N	3001596
	2.3	Mikrofon Brüel&Kjær, tip 4189	2850909
	2.4	Štitnik za mikrofon Brüel&Kjær, tip UA-1404	-
	2.5	Predpojačavač Brüel&Kjær, tip ZC-0032	18199
	2.6	Akumulatorska baterija, tip QB-0065	195579-005
	2.7	Pribor za montažu na stub/zid, tip UA-2198	-
	2.8	GPRS ruter sa antenom	-
	2.9	GPS prijemnik ZZ-0249 „Garmin“, model 16x-HVS	197467/0
	2.10	Merni softver Brüel&Kjær BZ-7232, verzija 4.15 Licenca br. 747D D22A ABE5 E5DB	3001596
Računar (tip 3642)	3.1	Proizvođač: DELL; Model: Optiplex 7010 Procesor: Intel (R) Core (TM) i7-3770CTU@3.4GHz RAM: 8 Gb; Hard disk: 700 Gb Software: Windows 7 Office: Microsoft Office 2013	2905168
	3.2	PC softver ENMS, tip 7843, verzija 2.8.1 (server i klijent), Licenca br. OR45530-8379816	-
	3.3	PC softver Brüel&Kjær BZ-5298	-
Meteorološka stanica Vaisala (tip WXT520)	Model AAA0AC30B0. Merni parametri: • temperatura vazduha, • relativna vlažnost vazduha, • pravac vetra, • količina padavina.		J3650011

Sistem standardno generiše 15-minutne vrednosti L_{eq} na osnovu uzorkovanih vrednosti L_{eq} sa dinamikom uzorkovanja 0.5 s, kao i četiri periodična izveštaja:

1. jednočasovni na osnovu uzorkovanih vrednosti L_{eq} sa dinamikom uzorkovanja 0.5 s,
2. dnevni na osnovu izračunatih jednočasovnih vrednosti indikatora buke,
3. mesečni na osnovu izračunatih dnevnih vrednosti indikatora buke,
4. godišnji na osnovu mesečnih vrednosti indikatora buke.

Takođe, sistem omogućava definisanje i kreiranje 12 dodatnih periodičnih izveštaja. Za potrebe predmetnog istraživanja su pored podrazumevanih izveštaja definisani i sledeći dodatni periodični izveštaji u okviru vremenskih intervala merenja:

1. izveštaj za period od ponedeljka do petka (radni dani),
2. izveštaj za period koji obuhvata subotu i nedelju (vikend), i
3. izveštaj za period od ponedeljka do nedelje (cela nedelja).

Stanice za monitoring buke tipa 36939-B su samokalibrišuće, prilagođene za daljinsko merenje buke u životnoj sredini bez nadzora [67]. Kao deo Sistema, služe za merenje parametara buke, zapis, obradu, skladištenje i prenos podataka. Osnovni elementi stanice su vodootporno kućište (kabinet) unutar koga se nalaze analizator zvuka, akumulatorska baterija i GPRS ruter, GPS prijemnik i spoljašnji mikrofoni. Monitoring i analiza buke se vrše analizatorom zvuka tipa 2250 koji merne podatke dobija sa spolja postavljenog mikrofona i iste zapisuje na memorijsku ploču, uključujući ekvivalentne nivoe buke (L_{Aeq}) ili nivoe zvučnog pritiska (SPL) po tercama i za čitav frekvencijski opseg u kome se vrši merenje, kontinualno u intervalu od pola ili jedne sekunde. Pomoću analizatora zvuka je takođe moguća identifikacija, zapis i kasnija analiza naročito bučnih događaja koji po nivoima odstupaju od uobičajenih dešavanja za dato merno mesto.

Sistem za upravljanje bukom u životnoj sredini pored primarne funkcije prikupljanja i skladištenja mernih podataka raspolaže i mogućnošću analize raspoloživih podataka iz baze i izrade različitih periodičnih izveštaja tokom trajanja merenja, obično jednočasovnih ili 15-minutnih, zatim izveštaja o proveru kalibracije mernog sistema, izveštaja o naročito bučnim događajima, kao i izveštaja o tehničkoj ispravnosti i funkcionisanju mernih uređaja za svaku od stanica.

6.3.2 IZBOR MERNIH MESTA ZA POTREBE ISTRAŽIVANJA

Predmetno istraživanje je zasnovano na rezultatima merenja parametara buke drumskog saobraćaja na tri karakteristične lokacije na teritoriji grada Niša:

1. Raskrsnica ulica Generala Milojka Lešjanina i Kneginje Ljubice - merno mesto MM1;
2. Ulica Vožda Karađorđa br. 29 - merno mesto MM2;
3. Bulevar dr Zorana Đinđića br. 81 - merno mesto MM3;

Ključne razloge za izbor navedenih mernih mesta predstavljaju:

- Merno mesto MM1: vrlo intenzivan drumski saobraćaj kroz raskrsnicu dve glavne gradske saobraćajnice tokom čitavog dana, pri čemu se u neposrednoj okolini nalaze stambeni objekti velike gustine stanovanja, poslovni objekti i naučno-obrazovne institucije;
- Merno mesto MM2: intenzivan drumski saobraćaj glavnom gradskom saobraćajnicom u čijoj se neposrednoj okolini nalaze obrazovne institucije: Osnovna škola “Vožd Karađorđe”, Gimnazija “Stevan Sremac” i Gimnazija “Bora Stanković”.
- Merno mesto MM3: intenzivan drumski saobraćaj glavnom gradskom saobraćajnicom u čijoj se neposrednoj okolini nalaze naučno-obrazovna institucija (Medicinski fakultet u Nišu), zdravstvene ustanove (Klinički centar Niš) i stambeni objekti velike gustine stanovanja;

Prikaz i položaj mernih mesta u odnosu na saobraćajnice i objekte u neposrednoj okolini su predstavljeni na slikama 6.2 ÷ 6.7.



Sl. 6.2 Prikaz mernog mesta MM1



Sl. 6.3 Orto-foto snimak položaja mernog mesta MM1 u odnosu na saobraćajnice i objekte u neposrednoj okolini



Sl. 6.4 Prikaz mernog mesta MM2



Sl. 6.5 Orto-foto snimak položaja mernog mesta MM2 u odnosu na saobraćajnice i objekte u neposrednoj okolini



Sl. 6.6 *Prikaz mernog mesta MM3*



Sl. 6.7 *Orto-foto snimak položaja mernog mesta MM3 u odnosu na saobraćajnice i objekte u neposrednoj okolini*

Osnovne podatke o svakom mernom mestu čine:

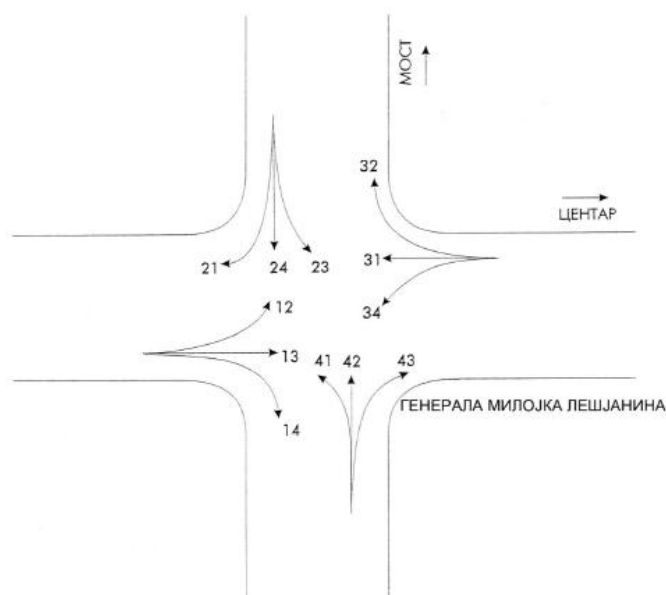
1. Oznaka stanice za monitoring buke,
2. Vremenski interval merenja,
3. Položaj mikrofona,

4. Geografske karakteristike mernog mesta (oblik reljefa),
5. Karakteristike prostora/objekata u neposrednoj okolini mernog mesta (vrsta/tip i namena prostora/objekata u neposrednoj okolini mernog mesta, gustina stanovanja),
6. Karakteristike saobraćajnice (tip i namena saobraćajnice, vrsta podloge, širina i broj traka),
7. Karakteristike saobraćaja kao dominantnog izvora buke na datoj lokaciji (struktura vozila i saobraćajno opterećenje, odnosno frekvencija saobraćaja).

Merno mesto MM1:

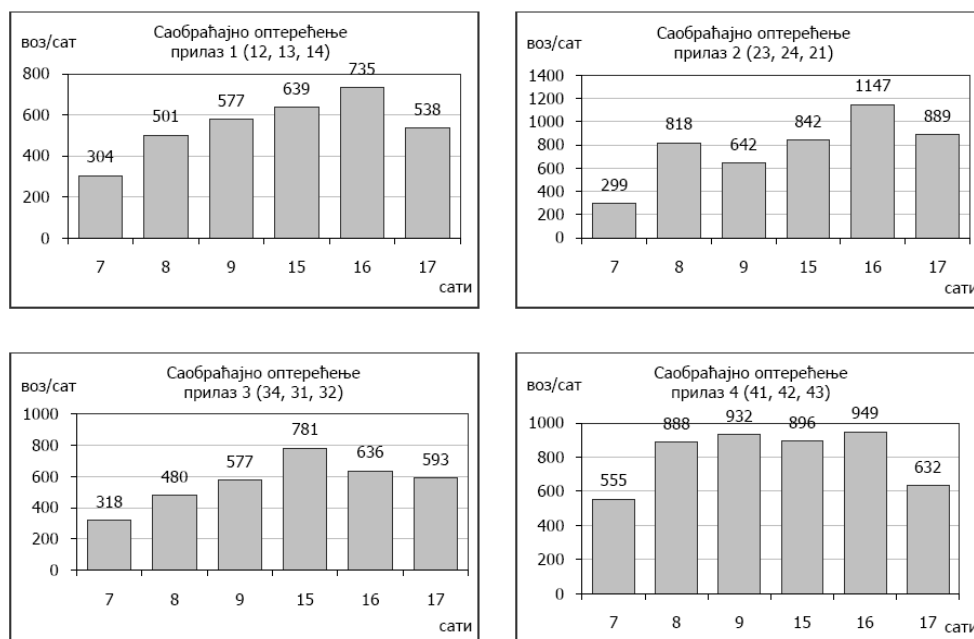
1. Oznaka stanice za monitoring buke: NMT1 (sa meteorološkom stanicom);
2. Vremenski interval merenja: dugotrajni, permanentni - 12 meseci:
od 01. 01. 2014. g. do 01. 01. 2015. g. i od 01. 01. 2015. g. do 01. 01. 2016. g.;
3. Položaj mikrofona:
 - Visina mikrofona od tla: 4 m,
 - Rastojanje od najbližeg objekta: 4 m,
 - Rastojanje od ivice kolovoza: 0.5 m,
 - Rastojanje od ose saobraćajnice: 7 m,
 - Rastojanje od centra raskrsnice: 10 m;
4. Oblik reljefa/terena: ravan, bez nagiba i uspona;
5. Vrsta i namena objekata u neposrednoj okolini mernog mesta (sl. 6.3):
 - Stambeni objekti (višespratni objekti namenjeni kolektivnom stanovanju),
 - Stambeno-poslovni objekti (višespratni objekti namenjeni kolektivnom stanovanju u čijem se prizemlju odvija pretežno trgovačka delatnost),
 - Poslovni objekti,
 - Obrazovne institucije;
6. Karakteristike saobraćajnice:
 - Dvosmerne saobraćajnice namenjene saobraćaju motornih vozila bez šinske infrastrukture,
 - Vrsta podloge: asfalt,
 - Širina saobraćajnica: po 10 m,
 - Broj traka: po 4 trake za svaku saobraćajnicu;
7. Karakteristike saobraćaja:
 - Podaci o saobraćajnom opterećenju [8,9]:

Na slici 6.8 su predstavljena četiri prilaza raskrsnici koji obuhvataju moguće smerove saobraćajnih tokova kroz raskrsnicu, obeležene strelicama i odgovarajućim brojevima.

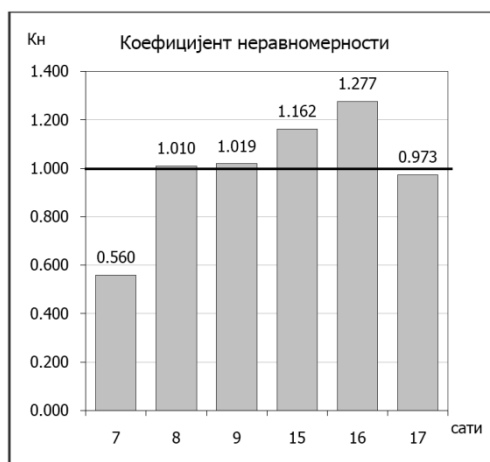


Prilaz	Smerovi saobraćajnih tokova po prilazima
1	12, 13, 14
2	23, 24, 21
3	34, 31, 32
4	41, 42, 43

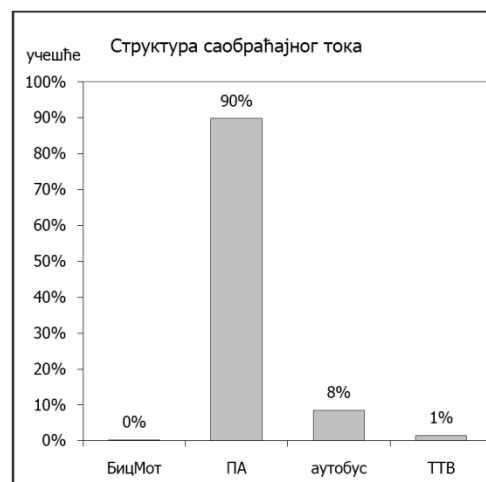
Sl. 6.8 Raskrsnica ulica generala Milojka Lešjanina i Kneginje Ljubice - prilazi i smerovi saobraćaja [8]



Sl. 6.9 Raskrsnica ulica generala Milojka Lešjanina i Kneginje Ljubice - saobraćajno opterećenje po prilazima 09. 12. 2009. god. [8]



Sl. 6.10 Raskrsnica ulica generala Milojka Lešjanina i Kneginje Ljubice - koeficijent neravnomernosti saobraćaja 09. 12. 2009. god. [8]



БицМот – bicikli i motorcikli;
 ПА – putnički automobili;
 ТТВ – teška teretna vozila;

Sl. 6.11 Raskrsnica ulica generala Milojka Lešjanina i Kneginje Ljubice - struktura saobraćajnog toka 09. 12. 2009. god. [8]

Tabela 6.2 Raskrsnica ulica generala Milojka Lešjanina i Kneginje Ljubice - vremenska analiza strukture saobraćaja po prilazima i smerovima 09. 12. 2009. god. [8]

	Prilaz 1				Prilaz 2				Prilaz 3				Prilaz 4				RASKRSNICA			
Smerovi	12, 13, 14				23, 24, 21				34, 31, 32				41, 42, 43							
Sat	voz.	PAJ	Kn	%kv	voz.	PAJ	Kn	%kv	voz.	PAJ	Kn	%kv	voz.	PAJ	Kn	%kv	voz.	PAJ	Kn	%kv
6-7	304	319	0,569	6,9	299	340	0,418	24,7	318	351	0,583	19,9	555	584	0,669	9,2	1476	1592	0,560	14,2
7-8	501	517	0,923	4,2	818	844	1,040	6,4	480	520	0,864	14,8	888	992	1,137	20,9	2687	2873	1,010	12,2
8-9	577	595	1,061	3,6	642	686	0,845	10,3	577	622	1,035	13,7	932	997	1,143	11,7	2728	2900	1,019	10,1
14-15	639	647	1,154	1,3	842	884	1,088	8,8	781	818	1,360	9,0	896	960	1,100	12,5	3158	3307	1,162	8,4
15-16	735	741	1,322	1,1	1147	1198	1,475	8,1	636	672	1,118	11,0	949	1023	1,172	14,9	3467	3634	1,277	9,0
16-17	538	544	0,972	2,2	889	920	1,133	6,2	593	625	1,040	10,7	632	680	0,779	14,0	2652	2769	0,973	8,2
UKUPNO	3294	3362	-	2,8	4637	4872	-	8,9	3385	3607	-	12,3	4852	5234	-	14,2	16168	17075	-	9,9

voz. – broj vozila; PAJ – putničko automobilske jedinice ; Kn – koeficijent neravnomernosti saobraćaja; %kv – stepen nehomogenosti saobraćajnog toka

Tabela 6.3 Ulica generala Milojka Lešjanina - planirano stanje saobraćajnog opterećenja i iskorišćenja kapaciteta saobraćajnice [9]

	2010. god.	2015. god.	2020. god.
Kapacitet Q [vozila/sat]	1600	1600	1600
Protok P ₁ [PA/sat]	932	1244	1385
Protok P ₂ [TV/sat]	21	21	24
Protok P ₃ [BUS/sat]	69	69	69
Iskorišćenje kapaciteta $\Sigma P_i / Q$ [%]	64	83	92

PA – putnički automobili; TV – teretna vozila; BUS – autobusi.

Merno mesto MM2:

1. Oznaka stanice za monitoring buke: NMT2;
2. Vremenski interval merenja: dugotrajni, polupermanentni - 6 meseci:
od 01. 01. 2014. g. do 30. 06. 2014. g.
3. Položaj mikrofona:
 - Visina mikrofona od tla: 4 m,
 - Rastojanje od najbližeg objekta: 7 m,
 - Rastojanje od ivice kolovoza: 0.5 m,
 - Rastojanje od ose saobraćajnice: 5 m,
4. Oblik reljefa/terena: ravan, bez nagiba i uspona;
5. Vrsta i namena objekata u neposrednoj okolini mernog mesta (sl. 6.5):
 - Stambeno-poslovni objekti (objekti spratnosti P+1 namenjeni porodičnom stanovanju u čijem se prizemlju odvija pretežno trgovačka delatnost),
 - Poslovni objekti,
 - Obrazovne institucije;
6. Karakteristike saobraćajnice:
 - Dvosmerna saobraćajnica namenjena saobraćaju motornih vozila bez šinske infrastrukture,
 - Vrsta podloge: asfalt,
 - Širina saobraćajnice: 9 m,
 - Broj traka: 4 trake - po 2 trake za svaki pravac;
7. Karakteristike saobraćaja:
 - Podaci o saobraćajnom opterećenju [9]:

Tabela 6.4 *Ulica Vožda Karađorđa - planirano stanje saobraćajnog opterećenja i iskorišćenja kapaciteta saobraćajnice [9]*

	2010. god.	2015. god.	2020. god.
Kapacitet Q [vozila/sat]	1300	1300	1300
Protok P₁ [PA/sat]	991	1132	1223
Protok P₂ [TV/sat]	0	0	0
Protok P₃ [BUS/sat]	33	33	33
Iskorišćenje kapaciteta $\Sigma P_i / Q$ [%]	79	90	97

PA – putnički automobili; TV – teretna vozila; BUS – autobusi.

Merno mesto MM3:

1. Oznaka stanice za monitoring buke: NMT2;
2. Vremenski interval merenja: dugotrajni, polupermanentni - 9 meseci:
od 07. 07. 2014. g. do 30. 03. 2015. g.
3. Položaj mikrofona:
 - Visina mikrofona od tla: 4 m,
 - Rastojanje od najbližeg objekta: 10 m,
 - Rastojanje od ivice kolovoza: 15 m,
 - Rastojanje od ose saobraćajnice: 20 m,
4. Oblik reljefa/terena: ravan, bez nagiba i uspona;
5. Vrsta i namena objekata u neposrednoj okolini mernog mesta (sl. 6.7):
 - Naučno-obrazovna institucija (Medicinski fakultet u Nišu),
 - Zdravstvene ustanove (Klinički centar Niš),
 - Stambeni objekti (višespratni objekti namenjeni kolektivnom stanovanju);
6. Karakteristike saobraćajnice:
 - Dvosmerna saobraćajnica namenjena saobraćaju motornih vozila bez šinske infrastrukture,
 - Vrsta podloge: asfalt,
 - Širina saobraćajnice: 10 m,
 - Broj traka: 4 trake - po 2 trake za svaki pravac;
7. Karakteristike saobraćaja:
 - Podaci o saobraćajnom opterećenju [9]:

Tabela 6.5 *Ulica dr Zorana Đinđića - planirano stanje saobraćajnog opterećenja i iskorišćenja kapaciteta saobraćajnice [9]*

	2010. god.	2015. god.	2020. god.
Kapacitet Q [vozila/sat]	1600	1600	1600
Protok P₁ [PA/sat]	973	1030	1121
Protok P₂ [TV/sat]	8	25	31
Protok P₃ [BUS/sat]	37	37	37
Iskorišćenje kapaciteta $\Sigma P_i / Q$ [%]	64	68	74

PA – putnički automobili; TV – teretna vozila; BUS – autobusi.

6.4 EKSPERIMENTALNI REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Postupak dugotrajnog monitoringa buke drumskog saobraćaja na teritoriji grada Niša se sprovodi od 01. januara 2014. godine na više lokacija u skladu sa smernicama datim u standardima SRPS ISO 1996-1 i 2 [64,65], kao i u dokumentu IMAGINE [25].

Ograničeni tehnički resursi u smislu malog broja raspoloživih stanica za permanentni monitoring buke kojima treba zadovoljiti potrebe određivanja godišnjih vrednosti indikatora buke na desetine lokacija u gradu, opredelili su cilj predmetnog istraživanja u pravcu utvrđivanja optimalnog trajanja polupermanentnog monitoringa buke na pojedinim karakterističnim lokacijama kako bi se omogućilo ekonomično praćenje buke drumskog saobraćaja i određivanje godišnjih vrednosti indikatora buke na više lokacija u gradu sa malim brojem monitoring stanica. Za postizanje definisanog cilja su korišćeni rezultati merenja indikatora buke na definisanim lokacijama. Detaljni rezultati permanentnih i polupermanentnih dugotrajnih monitoringa buke su dati u prilogu. U daljem tekstu je predstavljen samo izvod iz rezultata merenja indikatora buke na pojedinim lokacijama i na osnovu njih izračunatih vrednosti veličina koje su neophodne za formiranje matrica odlučivanja kao osnove za sprovođenje postupka višekriterijumske optimizacije, kao i za analizu i pojedina zaključivanja o rezultatima ponovljenih merenja.

Izvod iz rezultata merenja indikatora buke za merno mesto MM1 u periodu od 01. 01. 2014. g. do 31. 12. 2014. g. i od 01. 01. 2015. g. do 31. 12. 2015. g.

Tabela 6.6 Sedmični izveštaji (ponedeljak – nedelja) – MM1 (izvod)

	L_{day}		$L_{evening}$		L_{night}		L_{den}	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
srednja vr.	73.1	72.7	72.1	71.6	68.0	67.7	76.0	75.7
stdev.s	0.32	0.45	0.31	0.37	0.37	0.94	0.27	0.63
stdev.p	0.32	0.44	0.31	0.36	0.37	0.93	0.27	0.62
max	74.0	73.6	73.0	72.6	69.1	72.5	76.8	78.8
min	72.6	71.4	71.5	70.9	67.2	66.7	75.4	75.0

Tabela 6.7 Mesečni izveštaji – MM1 (izvod)

	L_{day}		$L_{evening}$		L_{night}		L_{den}	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
srednja vr.	73.1	72.7	72.1	71.6	68.0	67.8	76.0	75.7
stdev.s	0.20	0.35	0.17	0.28	0.22	0.58	0.17	0.41
stdev.p	0.19	0.34	0.17	0.27	0.21	0.56	0.17	0.39
max	73.4	73.2	72.4	72.1	68.3	69.3	76.3	76.7
min	72.7	72.1	71.9	71.3	67.6	67.3	75.7	75.3

Tabela 6.8 *Polugodišnji izveštaji – MM1 (izvod)*

	L_{day}		$L_{evening}$		L_{night}		L_{den}	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
srednja vr.	73.1	72.7	72.1	71.7	68.0	67.8	76.0	75.7
stdev.p	0.1	0.1	0	0	0	0.1	0	0
max	73.2	72.8	72.1	71.7	68.0	67.9	76.0	75.7
min	73.0	72.6	72.1	71.7	68.0	67.7	76.0	75.7

Tabela 6.9 *Godišnji izveštaji – MM1 (izvod)*

L_{day}		$L_{evening}$		L_{night}		L_{den}	
2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
73.1	72.7	72.1	71.7	68.0	67.8	76.0	75.7

Tabela 6.10 *Odstupanja sedmičnih od godišnjih vrednosti- MM1 (izvod)*

	L_{day}		$L_{evening}$		L_{night}		L_{den}	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
max	0.9	0.9	0.9	0.9	1.1	1.0	0.8	0.8

Tabela 6.11 *Odstupanja mesečnih od godišnjih vrednosti- MM1 (izvod)*

	L_{day}		$L_{evening}$		L_{night}		L_{den}	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
max	0.4	0.6	0.3	0.4	0.4	1.5	0.3	1.0

Tabela 6.12 *Odstupanja polugodišnjih od godišnjih vrednosti- MM1 (izvod)*

	L_{day}		$L_{evening}$		L_{night}		L_{den}	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
max	0.1	0.1	0	0	0	0.1	0	0

**Izvod iz rezultata merenja indikatora buke za merno mesto MM2
u periodu od 01. 01. 2014. g. do 30. 06. 2014. g.**

Tabela 6.13 *Sedmični izveštaji (ponedeljak – nedelja) – MM2 (izvod)*

	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
srednja vr.	70.4	69.9	66.9	74.4
stdev.s	0.36	0.41	0.85	0.62
stdev.p	0.35	0.40	0.83	0.61
max	71.5	70.8	70.4	76.8
min	69.9	69.2	65.7	73.6

Tabela 6.14 *Mesečni izveštaji – MM2 (izvod)*

	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
srednja vr.	70.4	69.9	66.9	74.3
stdev.s	0.19	0.26	0.35	0.26
stdev.p	0.17	0.24	0.32	0.24

Tabela 6.15 *Polugodišnji izveštaj – MM2 (izvod)*

L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
70.4	69.9	66.9	74.3

Tabela 6.16 *Odstupanja sedmičnih od polugodišnjih vrednosti- MM2 (izvod)*

	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
max	0.7	0.9	1.2	1.0

Tabela 6.17 *Odstupanja mesečnih od polugodišnjih vrednosti- MM2 (izvod)*

	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
max	0.3	0.4	0.5	0.4

**Izvod iz rezultata merenja indikatora buke za merno mesto MM3
u periodu od 01. 07. 2014. g. do 30. 03. 2015. g.**

Tabela 6.18 Sedmični izveštaji (ponedeljak – nedelja) – MM3 (izvod)

	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
srednja vr.	63.1	62.5	57.8	66.0
stdev.s	0.93	1.05	0.77	0.84
stdev.p	0.91	1.04	0.76	0.82
max	64.3	64.6	58.9	67.1
min	59.6	58.0	54.8	62.5

Tabela 6.19 Mesečni izveštaji – MM3 (izvod)

	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
srednja vr.	63.2	62.6	57.8	66.1
stdev.s	0.46	0.47	0.30	0.36
stdev.p	0.44	0.44	0.28	0.34
max	63.7	63.0	58.3	66.5
min	62.2	61.7	57.4	65.5

Tabela 6.20 Devetomesečni izveštaj – MM3 (izvod)

L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
63.2	62.7	57.8	66.1

Tabela 6.21 Odstupanja sedmičnih od devetomesečnih vrednosti- MM3 (izvod)

	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
max	1.2	1.2	1.1	1.0

Tabela 6.22 Odstupanja mesečnih od devetomesečnih vrednosti- MM3 (izvod)

	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
max	1.0	1.0	0.5	0.6

6.5 PRIMENA VKO PRI IZBORU OPTIMALNE MERNE STRATEGIJE

Višekriterijumski pristup pri rešavanju postavljenog problema omogućava objektivno poređenje između više alternativa ocenjenih u sistemu većeg broja raznorodnih kriterijuma, datih u različitim jedinicama, sa različitim relativnim značajem i sa različitim zahtevom za ekstremizaciju. Na taj način, uloga donosioca odluke se sastoji ne samo u donošenju konačne odluke primenjenom metodologijom, već i u definisanju višekriterijumske baze kao sistema kriterijuma za evaluaciju alternativa, u izboru preferencijskih funkcija i u određivanju relativnog značaja kriterijuma i odgovarajućih parametara.

6.5.1 DEFINISANJE VARIJANTNIH REŠENJA – ALTERNATIVA ZA OPTIMALNU MERNU STRATEGIJU

Prema definisanom cilju istraživanja - pronalaženju minimalnog vremenskog intervala merenja koji će zadovoljiti postavljene kriterijume, izvršena je postavka sledećih alternativa:

- **Alternativa a_1** - Merna strategija sa vremenskim intervalom merenja od jedne sedmice (od ponedeljka u 00:00 časova do nedelje u 24:00 časa).
- **Alternativa a_2** - Merna strategija sa vremenskim intervalom merenja od jednog meseca (od 1. dana u mesecu u 00:00 časova do poslednjeg dana u mesecu u 24:00 časa).
- **Alternativa a_3** - Merna strategija sa vremenskim intervalom merenja od šest meseci (za MM1 i MM2), odnosno devet meseci (za MM3).
- **Alternativa a_4** - Merna strategija sa vremenskim intervalom merenja od jedne godine (od 1. januara u 00:00 časova do 31. decembra u 24:00 časa) za MM1.

Kraći vremenski intervali merenja od sedam dana (dnevni ili jednočasovni) nisu uzeti u obzir kao potencijalne alternative imajući u vidu zahtevan postupak premeštanja stanica za monitoring buke. Duži vremenski intervali merenja od godinu dana nisu metodološki prihvatljivi za potrebe istraživanja i svoj praktični smisao pronalaze u posebnim situacijama.

Preferentnost istraživača ka pojedinim alternativama prema navedenom poretku ($a_1 \rightarrow a_2 \rightarrow a_3 \rightarrow a_4$) proističe iz postavljenog cilja istraživanja da se na osnovu što kraćeg vremenskog intervala merenja, odnosno upotrebe monitoring stanice, dobiju zadovoljavajući rezultati za vrednost godišnjeg indikatora buke na datom mernom mestu, čija se tačna vrednost dobija jedino merenjem buke za vremenski period merenja od godinu dana. Suštinu problema predstavlja činjenica da je slučaju dugotrajnog permanentnog monitoringa buke u trajanju od

godinu dana (alternativa a_4) monitoring stanica locirana godinu dana na jednom mestu, čime je njena upotrebljivost minimalna.

Eventualnim izborom alternative a_3 za optimalnu mernu strategiju za dato merno mesto duplo se smanjuje potreba za angažovanjem monitoring stanice, čime se ista u preostalih šest meseci može koristiti na drugim lokacijama, sa vremenskim intervalima merenja koji se određuju analognim postupkom. Pod uslovom da je alternativa a_3 bar za još jednu lokaciju optimalno rešenje, upotrebljivost opreme se povećava dva puta, odnosno, jednom stanicom za monitoring buke bi bilo moguće obraditi dva merna mesta tokom perioda posmatranja od godinu dana. Sa druge strane, isto toliko se povećava i potreba za angažovanjem resursa za premeštanje stanice.

Alternativa a_2 podrazumeva jednomesečno angažovanje merne stanice, čime se ona stavlja na raspolaganje preostalih 11 meseci za sprovođenje ispitivanja na drugim lokacijama. Izborom alternative a_2 za optimalnu se postiže daleko ekonomičnije iskorišćenje merne opreme u odnosu na alternative a_3 i a_4 . Međutim, potreba za čestim premeštanjem merne stanice zahteva i isto toliko često angažovanje ljudskih i tehničkih resursa.

Alternativa a_1 sa sedmičnim intervalom merenja predstavlja optimalnu mernu strategiju sa stanovišta iskorišćenosti merne opreme i broja mernih mesta koja bi mogla da budu obuhvaćena merenjima buke tokom godinu dana, pod uslovom da zadovoljavaju postavljene kriterijume za izbor neke od strategija polupermanentnog monitoringa buke, sagledanih kroz alternative a_1 , a_2 i a_3 . Negativnu stranu ove alternative čini sedmično angažovanje resursa za premeštanje monitoring stanice.

Smanjivanjem vremenskog intervala merenja permanentnog jednogodišnjeg monitoringa (alternativa a_4) na kraći merni interval polupermanentnog monitoringa (devet, odnosno šest meseci - alternativa a_3 , jedan mesec - alternativa a_2 ili jedna sedmica - alternativa a_1) nastaje nedoumica oko izbora perioda (datuma) realizacije merenja kojim bi adekvatno bio obuhvaćen uticaj promena meteoroloških parametara i karakteristika saobraćaja (pre svega frekvencije) na formiranje nivoa buke.

Budući da su merenja parametara buke na mernim mestima MM2 i MM3 sprovedena za kraće vremenske intervale od godinu dana, kod njih je pri izboru optimalne merne strategije isključena iz razmatranja alternativa a_4 .

6.5.2 DEFINISANJE SKUPA KRITERIJUMA ZA VIŠEKRITERIJUMSKU OPTIMIZACIJU MERNE STRATEGIJE

U istraživanju se za izbor optimalne merne strategije primenom višekriterijumske analize razmatra skup od devet kriterijuma, opisanih u tabeli 6.23. Navedeni kriterijumi se smatraju opštim kriterijumima za izbor optimalne merne strategije u svim razmatranim slučajevima.

Tabela 6.23 Kriterijumi za izbor optimalne merne strategije

Kriterijum	Naziv kriterijuma / definicija
f_1	Standardna devijacija vrednosti L_{day}
f_2	Standardna devijacija vrednosti $L_{evening}$
f_3	Standardna devijacija vrednosti L_{night}
f_4	Standardna devijacija vrednosti L_{den}
f_5	Maksimalno odstupanje vrednosti L_{day}
f_6	Maksimalno odstupanje vrednosti $L_{evening}$
f_7	Maksimalno odstupanje vrednosti L_{night}
f_8	Maksimalno odstupanje vrednosti L_{den}
f_9	Stepen iskorišćenosti merne opreme

Matematička postavka datog problema višekriterijumske optimizacije se nakon definisanih alternativa i kriterijuma može predstaviti na sledeći način:

$$Max/Min\{f_1(x), f_2(x), \dots, f_j(x), \dots, f_9(x) \forall x \in A = [a_1, a_2, a_3, a_4]\} \quad (6.1)$$

Matrica odlučivanja za postavljeni matematički model je sledećeg oblika:

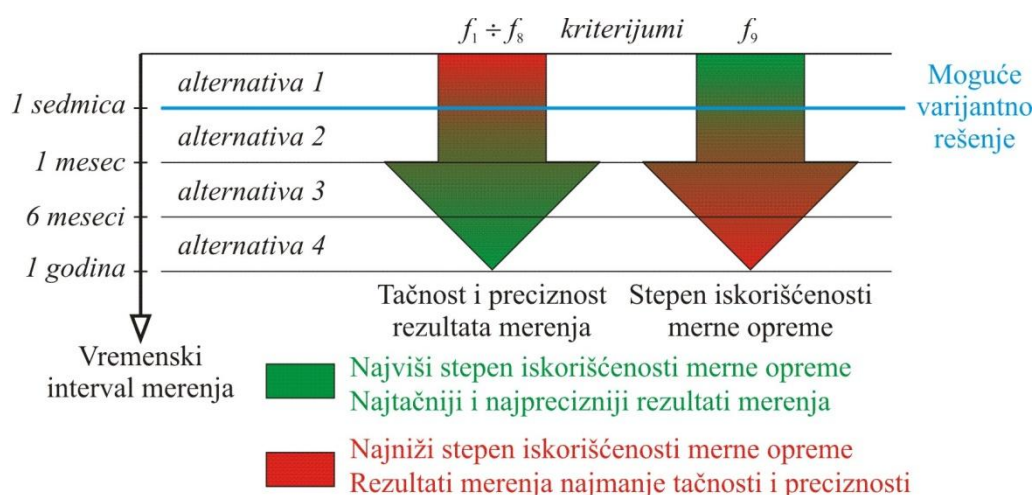
$$\begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{matrix} \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} & f_{14} & f_{15} & f_{16} & f_{17} & f_{18} & f_{19} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} & f_{24} & f_{25} & f_{26} & f_{27} & f_{28} & f_{29} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} & f_{34} & f_{35} & f_{36} & f_{37} & f_{38} & f_{39} \\ f_{41} & f_{42} & f_{43} & f_{44} & f_{45} & f_{46} & f_{47} & f_{48} & f_{49} \end{bmatrix} \quad (6.2)$$

Izabrani kriterijumi su podeljeni u tri kategorije, pri čemu se kriterijumi $f_1 \div f_4$ odnose na standardnu devijaciju rezultata merenja indikatora buke kao mere prosečnog odstupanja svih podataka od srednje vrednosti u okviru pojedinih varijantnih rešenja, predstavljenih različitim vremenskim intervalima merenja. Za postavljeni zadatak je od interesa da vrednost standardne devijacije rezultata merenja pojedinih indikatora buke tokom različitih mernih intervala ima manju vrednost od 1 dB kao vrednosti koja u krajnjem slučaju zadovoljava preciznost rezultata istraživanja, zbog čega se za date kriterijume postavlja zahtev za njihovom minimizacijom. Male vrednosti standardne devijacije rezultata merenja ukazuju na mala odstupanja od prosečne vrednosti nekog od indikatora buke za dati vremenski interval

merenja, što govori da su faktori koji utiču na stvaranje vrednosti nivoa pojedinih indikatora buke na datoj lokaciji malo promenljivi sa vremenom.

Drugu kategoriju kriterijuma čine kriterijumi $f_5 \div f_8$ koji predstavljaju maksimalno odstupanje vrednosti indikatora buke za pojedine vremenske intervale merenja od njihove godišnje vrednosti (za merno mesto MM1), devetomesečne vrednosti (za merno mesto MM3), odnosno šestomesečne vrednosti (za merno mesto MM2). Što je razlika manja od 1,5 dB koliko iznosi postavljena granica tačnosti u hipotezi istraživanja, više je opravdanja za izbor kraćeg vremenskog intervala merenja, tako da je i u ovom slučaju u funkciji postizanja cilja potrebno izvršiti minimizaciju kriterijuma.

Analiza rezultata sprovedenih merenja (prilog 1, tab. P1.1 ÷ P1.22) ukazuje na povećanje tačnosti i preciznosti rezultata merenja sa povećanjem vremenskog intervala merenja, ali sa druge strane i smanjenje stepena iskorišćenosti merne opreme (sl. 6.12).



Sl. 6.12 Trend promene vrednosti kriterijuma sa povećanjem vremenskog intervala merenja

Kao osnovni zadatak istraživanja se postavlja saznanje o međuzavisnosti navedenih kriterijuma i njihovom uticaju na izbor optimalne strategije merenja (plava linija na sl. 6.12).

Ciljevi definisanih kriterijuma, odnosno zahtevi za njihovom ekstremizacijom (maksimizacijom ili minimizacijom), kao i način ocenjivanja kriterijuma (vrsta ocene), predstavljeni su u tabeli 6.24.

Tabela 6.24 *Funkcije cilja i vrste ocena kriterijuma*

Kriterijum	Cilj / Zahtev	Vrsta ocene
f_1	min	Kvantitativna
f_2	min	Kvantitativna
f_3	min	Kvantitativna
f_4	min	Kvantitativna
f_5	min	Kvantitativna
f_6	min	Kvantitativna
f_7	min	Kvantitativna
f_8	min	Kvantitativna
f_9	max	Kvalitativna

Kriterijumi $f_1 \div f_8$ se po potrebi mogu transformisati u kriterijume koristi, čime bi se donekle pojednostavio postupak analize, ali bi se u isto vreme izgubila mogućnost vizuelnog logičkog zaključivanja i praćenja eventualnog korigovanja ocena kriterijuma za pojedine alternative.

Kriterijum f_9 je od svih kriterijuma jedini izvorno predstavljen kvalitativnim atributima koje je za višekriterijumsku analizu potrebno na odgovarajući način transformisati u brojne vrednosti. Način kvantifikacije kvalitativnih atributa je predstavljen u tabeli 6.25, pri čemu je za kvantifikaciju odnosa parova kriterijuma upotrebljena Saaty-jeva skala (tabela 5.2).

Tabela 6.25 *Kvantifikovanje kvalitativnih atributa prema cilju kriterijuma za definisane alternative*

Kriterijum f_9		
Cilj kriterijuma: <i>max</i>		
	Kvalitativna ocena	Kvantitativna ocena
a_1	Vrlo visok	9
a_2	Srednji	4
a_3	Nizak	2
a_4	Loš	1

Budući da definisani kriterijumi nisu istog stepena važnosti, potrebno je definisati faktore značajnosti pojedinih kriterijuma koristeći odgovarajuće težinske koeficijente (težine) ili tzv. pondere za kriterijume.

Utvrđivanje relativnih težina kriterijuma je sprovedeno razmatranjem predloženih težina kriterijuma od strane odabranog anketnog uzorka od deset ispitanika, stručnjaka u oblasti istraživanja (obrađivač ne učestvuje).

Rezultati statističke analize dobijenih odgovora od strane stručnjaka prikazani su u tab. 6.26.

Tabela 6.26 Rezultati težinskog ocenjivanja kriterijuma od strane stručnog tima Delfi metodom

Kriterijum			Odgovori ispitanika									
R.b.	Cilj	Težina $[\Sigma/n]$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
f_1	min	0.05	0.03	0.04	0.04	0.03	0.06	0.03	0.05	0.05	0.15	0.05
f_2	min	0.05	0.03	0.04	0.04	0.03	0.06	0.03	0.04	0.05	0.15	0.05
f_3	min	0.05	0.05	0.06	0.04	0.03	0.10	0.06	0.02	0.06	0.04	0.05
f_4	min	0.10	0.26	0.15	0.12	0.06	0.10	0.06	0.04	0.06	0.04	0.10
f_5	min	0.05	0.03	0.06	0.04	0.03	0.06	0.04	0.05	0.05	0.08	0.05
f_6	min	0.05	0.05	0.06	0.04	0.06	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05
f_7	min	0.05	0.05	0.06	0.08	0.03	0.06	0.06	0.04	0.06	0.04	0.05
f_8	min	0.10	0.26	0.15	0.08	0.06	0.10	0.06	0.04	0.06	0.08	0.10
f_9	max	0.50	0.26	0.38	0.54	0.65	0.41	0.63	0.65	0.58	0.38	0.50
Suma težina:		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Alternative i kriterijumi su na osnovu oblika matrice odlučivanja i sprovedenog postupka određivanja težinskih koeficijenata kriterijuma w_j zajedno prikazani u tabeli 6.27.

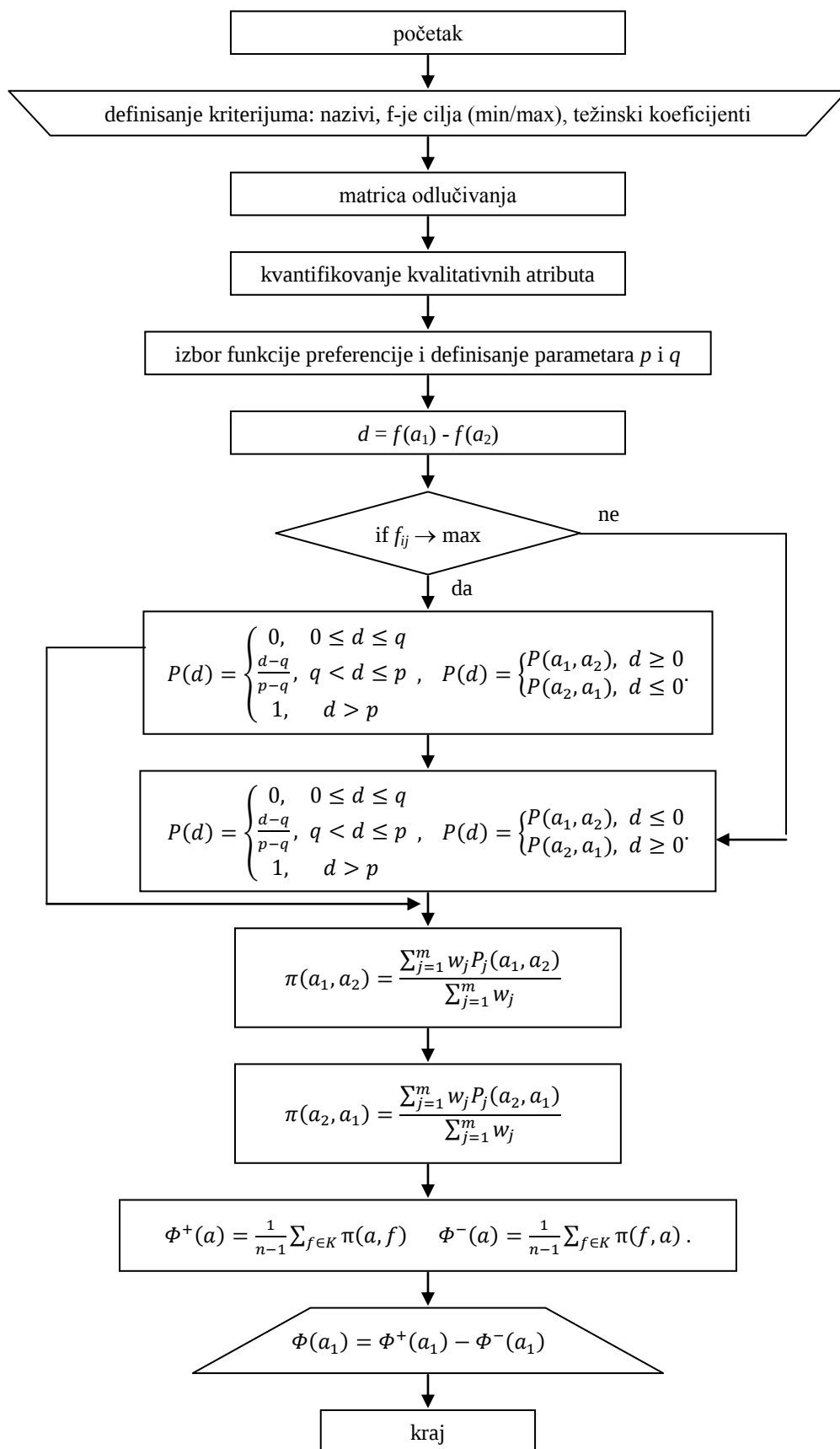
Tabela 6.27 Prikaz alternativa, ocena, ciljeva i težinskih koeficijenat kriterijuma za izbor optimalne merne strategije

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9
a_1	$f_1(a_1)$	$f_2(a_1)$	$f_3(a_1)$	$f_4(a_1)$	$f_5(a_1)$	$f_6(a_1)$	$f_7(a_1)$	$f_8(a_1)$	$f_9(a_1)$
a_2	$f_1(a_2)$	$f_2(a_2)$	$f_3(a_2)$	$f_4(a_2)$	$f_5(a_2)$	$f_6(a_2)$	$f_7(a_2)$	$f_8(a_2)$	$f_9(a_2)$
a_3	$f_1(a_3)$	$f_2(a_3)$	$f_3(a_3)$	$f_4(a_3)$	$f_5(a_3)$	$f_6(a_3)$	$f_7(a_3)$	$f_8(a_3)$	$f_9(a_3)$
a_4	$f_1(a_4)$	$f_2(a_4)$	$f_3(a_4)$	$f_4(a_4)$	$f_5(a_4)$	$f_6(a_4)$	$f_7(a_4)$	$f_8(a_4)$	$f_9(a_4)$
Cilj	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
w_j	0.05	0.05	0.05	0.10	0.05	0.05	0.05	0.10	0.50

Sprovedeni postupci formiranja matrice odlučivanja, definisanja ciljeva i određivanja težinskih koeficijenata kriterijuma, omogućuju prelazak na narednu fazu rešavanja problema – izbor adekvatne metode za višekriterijumsku optimizaciju i njenu primenu u konkretnim uslovima. Predstavljena forma matrice odlučivanja (tabela 6.27) se primenjuje za višekriterijumsku optimizaciju izbora merne strategije za sva merna mesta.

6.6 IZBOR OPTIMALNE MERNE STRATEGIJE PRIMENOM PROMETHEE METODE

Višekriterijumska optimizacija izbora merne strategije se u predmetnom istraživanju sprovodi primenom metode PROMETHEE za tri karakteristična merna mesta, označena sa MM1, MM2 i MM3, na način predstavljen algoritmom na sl. 6.13.



Sl. 6.13 Algoritam optimizacije izbora merne strategije metodom PROMETHEE

6.6.1 IZBOR OPTIMALNE MERNE STRATEGIJE ZA MERNO MESTO MM1

Vrednosti kriterijuma za pojedine alternative su za merno mesto MM1 prikazane u tabeli 6.28 na osnovu rezultata merenja parametara buke u 2014. godini (tabele 6.6 ÷ 6.12) i stepena iskorišćenosti merne opreme.

Tabela 6.28 *Kvantifikovana matrica odlučivanja – merno mesto MM1*

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9
a_1	0.32	0.31	0.37	0.27	0.9	0.9	1.1	0.8	9
a_2	0.19	0.17	0.21	0.17	0.4	0.3	0.4	0.3	4
a_3	0.1	0	0	0	0.1	0	0	0	2
a_4	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Cilj</i>	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
w_j	0.05	0.05	0.05	0.10	0.05	0.05	0.05	0.10	0.50

Korak 1: Definisanje tipa opšteg kriterijuma i parametara za svaki pojedinačni kriterijum f_j .

Tabela 6.29 *Tipovi opštih kriterijuma i vrednosti parametara preferencije i indiferencije – MM1*

Kriterijum	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9
Tip opšteg kriterijuma	III	III	III	III	V	V	V	V	III
Parametar preferencije p	2	2	2	2	3	3	3	3	10
Parametar indiferencije q	-	-	-	-	0.5	0.5	0.5	0.5	-

Usvojeni tipovi opštih kriterijuma objašnjenih u poglavlju 5.2.4.1 (str. 85-87) i definisane vrednosti parametara preferencije i indiferencije iz tabele 6.29 se koriste za proračune u slučaju svih mernih mesta.

Razlog za izbor opšteg kriterijuma tipa III kada se radi o kriterijumima $f_1 ÷ f_4$ i f_9 i opšteg kriterijuma tipa V kada se radi o kriterijumima $f_5 ÷ f_8$ leži u činjenici da je u konkretnoj situaciji, zbog same prirode analiziranih veličina, nemoguće iskazivati striktnu preferentnost jedne alternative u odnosu na druge po određenom kriterijumu samo vrednostima 0 i 1, već je preferentnost potrebno pratiti u intervalu od 0 do 1. Vrednost parametra preferencije u slučaju opšteg kriterijuma tipa III predstavlja na osnovu rezultata merenja najveću dopuštenu razliku vrednosti svih parova alternativa po istom kriterijumu za koju funkcija preferentnosti poprima vrednost 1. Drugi ekstremni slučaj – indiferentnost dve alternative po datom

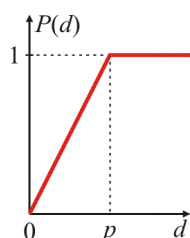
kriterijumu, kada funkcija preferentnosti poprima vrednost 0, odnosi se na slučaj istih vrednosti dve alternative po datom kriterijumu.

Izbor opšteg kriterijuma tipa V za definisanje zakona promene funkcija preferentnosti parova alternativa po kriterijumima $f_5 \div f_8$ posledica je potrebe sagledavanja uticaja odstupanja vrednosti pojedinih veličina u opsegu od 0.5 do 3 dB. Manja razlika od 0.5 dB se smatra zanemarljivom i nebitnom za poređenje alternativa, dok se za slučaj razlike veće od 3 dB jedna alternativa smatra strogo preferentnom u odnosu na drugu po datom kriterijumu.

Korak 2: Određivanje funkcije preferencije za sve parove alternativa prema svakom kriterijumu redom.

• **Određivanje $P_j(a_1, a_s), j = 1 \div 9, s = 2, 3, 4$**

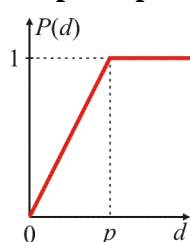
f_1 - tip III: $p = 2$



$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_1, a_s)	$d = f_1(a_s) - f_1(a_1)$	$P_1(a_1, a_s)$
$s = 2$	$0.19 - 0.32 = -0.13$	0
$s = 3$	$0.10 - 0.32 = -0.22$	0
$s = 4$	$0.00 - 0.32 = -0.32$	0

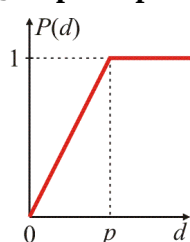
f_2 - tip III: $p = 2$



$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

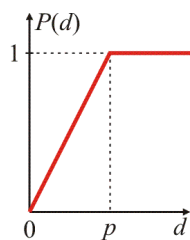
(a_1, a_s)	$d = f_2(a_s) - f_2(a_1)$	$P_2(a_1, a_s)$
$s = 2$	$0.17 - 0.31 = -0.14$	0
$s = 3$	$0.00 - 0.31 = -0.31$	0
$s = 4$	$0.00 - 0.31 = -0.31$	0

f_3 - tip III: $p = 2$



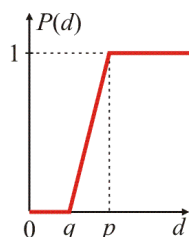
$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_1, a_s)	$d = f_3(a_s) - f_3(a_1)$	$P_3(a_1, a_s)$
$s = 2$	$0.21 - 0.37 = -0.16$	0
$s = 3$	$0.00 - 0.37 = -0.37$	0
$s = 4$	$0.00 - 0.37 = -0.37$	0

f_4 - tip III: $p = 2$ 

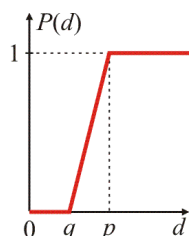
$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_1, a_s)	$d = f_4(a_s) - f_4(a_1)$	$P_4(a_1, a_s)$
$s = 2$	$0.17 - 0.27 = -0.10$	0
$s = 3$	$0.00 - 0.27 = -0.27$	0
$s = 4$	$0.00 - 0.27 = -0.27$	0

 f_5 - tip V: $p = 3, q = 0.5$ 

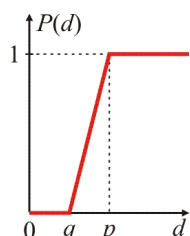
$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_1, a_s)	$d = f_5(a_s) - f_5(a_1)$	$P_5(a_1, a_s)$
$s = 2$	$0.4 - 0.9 = -0.5$	0
$s = 3$	$0.1 - 0.9 = -0.8$	0
$s = 4$	$0.0 - 0.9 = -0.9$	0

 f_6 - tip V: $p = 3, q = 0.5$ 

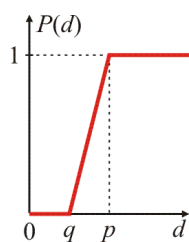
$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_1, a_s)	$d = f_6(a_s) - f_6(a_1)$	$P_6(a_1, a_s)$
$s = 2$	$0.3 - 0.9 = -0.6$	0
$s = 3$	$0.0 - 0.9 = -0.9$	0
$s = 4$	$0.0 - 0.9 = -0.9$	0

 f_7 - tip V: $p = 3, q = 0.5$ 

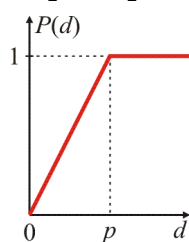
$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_1, a_s)	$d = f_7(a_s) - f_7(a_1)$	$P_7(a_1, a_s)$
$s = 2$	$0.4 - 1.1 = -0.7$	0
$s = 3$	$0.0 - 1.1 = -1.1$	0
$s = 4$	$0.0 - 1.1 = -1.1$	0

f_8 - tip V: $p = 3, q = 0.5$ 

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

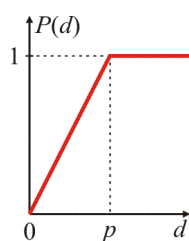
(a_1, a_s)	$d = f_8(a_s) - f_8(a_1)$	$P_8(a_1, a_s)$
$s = 2$	$0.3 - 0.8 = -0.5$	0
$s = 3$	$0.0 - 0.8 = -0.8$	0
$s = 4$	$0.0 - 0.8 = -0.8$	0

 f_9 - tip III: $p = 10$ 

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.1d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 10 \\ 1, & \text{ako je } d > 10 \end{cases}$$

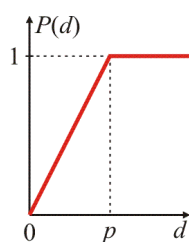
(a_1, a_s)	$d = f_9(a_1) - f_9(a_s)$	$P_9(a_1, a_s)$
$s = 2$	$9 - 4 = 5$	0.5
$s = 3$	$9 - 2 = 7$	0.7
$s = 4$	$9 - 1 = 8$	0.8

• **Određivanje $P_j(a_2, a_s), j = 1 \div 9, s = 1, 3, 4$**

 f_1 - tip III: $p = 2$ 

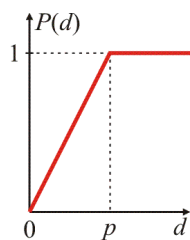
$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_2, a_s)	$d = f_1(a_s) - f_1(a_2)$	$P_1(a_2, a_s)$
$s = 1$	$0.32 - 0.19 = 0.13$	0.065
$s = 3$	$0.10 - 0.19 = -0.09$	0
$s = 4$	$0.00 - 0.19 = -0.19$	0

 f_2 - tip III: $p = 2$ 

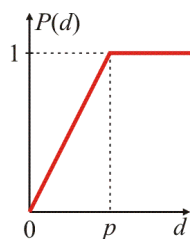
$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_2, a_s)	$d = f_2(a_s) - f_2(a_2)$	$P_2(a_2, a_s)$
$s = 1$	$0.31 - 0.17 = 0.14$	0.070
$s = 3$	$0.00 - 0.17 = -0.17$	0
$s = 4$	$0.00 - 0.17 = -0.17$	0

f_3 - tip III: $p = 2$ 

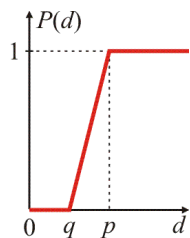
$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_2, a_s)	$d = f_3(a_s) - f_3(a_2)$	$P_3(a_2, a_s)$
$s = 1$	$0.37 - 0.21 = 0.16$	0.080
$s = 3$	$0.00 - 0.21 = -0.37$	0
$s = 4$	$0.00 - 0.21 = -0.37$	0

 f_4 - tip III: $p = 2$ 

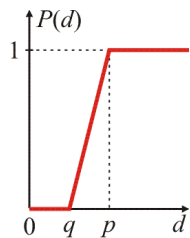
$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_2, a_s)	$d = f_4(a_s) - f_4(a_2)$	$P_4(a_2, a_s)$
$s = 1$	$0.27 - 0.17 = 0.10$	0.05
$s = 3$	$0.00 - 0.17 = -0.17$	0
$s = 4$	$0.00 - 0.17 = -0.17$	0

 f_5 - tip V: $p = 3, q = 0.5$ 

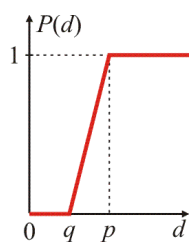
$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_2, a_s)	$d = f_5(a_s) - f_5(a_2)$	$P_5(a_2, a_s)$
$s = 1$	$0.9 - 0.4 = 0.5$	0
$s = 3$	$0.1 - 0.4 = -0.3$	0
$s = 4$	$0.0 - 0.4 = -0.4$	0

 f_6 - tip V: $p = 3, q = 0.5$ 

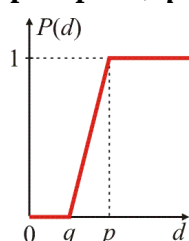
$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_2, a_s)	$d = f_6(a_s) - f_6(a_2)$	$P_6(a_2, a_s)$
$s = 1$	$0.9 - 0.3 = 0.6$	0.040
$s = 3$	$0.0 - 0.3 = -0.3$	0
$s = 4$	$0.0 - 0.3 = -0.3$	0

f_7 - tip V: $p = 3, q = 0.5$ 

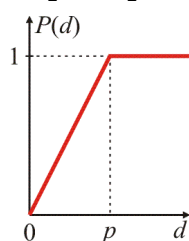
$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_2, a_s)	$d = f_7(a_s) - f_7(a_2)$	$P_7(a_2, a_s)$
$s = 1$	$1.1 - 0.4 = 0.7$	0.080
$s = 3$	$0.0 - 0.4 = -0.4$	0
$s = 4$	$0.0 - 0.4 = -0.4$	0

 f_8 - tip V: $p = 3, q = 0.5$ 

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

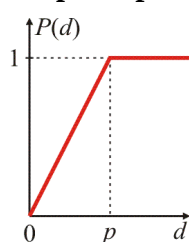
(a_2, a_s)	$d = f_8(a_s) - f_8(a_2)$	$P_8(a_2, a_s)$
$s = 1$	$0.8 - 0.3 = 0.5$	0
$s = 3$	$0.0 - 0.3 = -0.3$	0
$s = 4$	$0.0 - 0.3 = -0.3$	0

 f_9 - tip III: $p = 10$ 

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.1d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 10 \\ 1, & \text{ako je } d > 10 \end{cases}$$

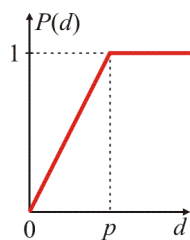
(a_2, a_s)	$d = f_9(a_2) - f_9(a_s)$	$P_9(a_2, a_s)$
$s = 1$	$4 - 9 = -5$	0
$s = 3$	$4 - 2 = 2$	0.2
$s = 4$	$4 - 1 = 3$	0.3

• Određivanje $P_j(a_3, a_s), j = 1 \div 9, s = 1, 2, 4$

 f_1 - tip III: $p = 2$ 

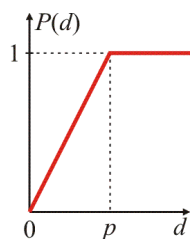
$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_3, a_s)	$d = f_1(a_s) - f_1(a_3)$	$P_1(a_3, a_s)$
$s = 1$	$0.32 - 0.10 = 0.22$	0.110
$s = 2$	$0.19 - 0.10 = 0.09$	0.045
$s = 4$	$0.00 - 0.10 = -0.10$	0

f_2 - tip III: $p = 2$ 

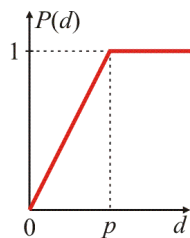
$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_3, a_s)	$d = f_2(a_s) - f_2(a_3)$	$P_2(a_3, a_s)$
$s = 1$	$0.31 - 0.00 = 0.31$	0.155
$s = 2$	$0.17 - 0.00 = 0.17$	0.085
$s = 4$	$0.00 - 0.00 = 0.00$	0

 f_3 - tip III: $p = 2$ 

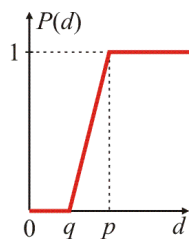
$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_3, a_s)	$d = f_3(a_s) - f_3(a_3)$	$P_3(a_3, a_s)$
$s = 1$	$0.37 - 0.00 = 0.37$	0.185
$s = 2$	$0.21 - 0.00 = 0.21$	0.105
$s = 4$	$0.00 - 0.00 = 0.00$	0

 f_4 - tip III: $p = 2$ 

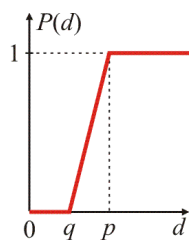
$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_3, a_s)	$d = f_4(a_s) - f_4(a_3)$	$P_4(a_3, a_s)$
$s = 1$	$0.27 - 0.00 = 0.27$	0.135
$s = 2$	$0.17 - 0.00 = 0.17$	0.085
$s = 4$	$0.00 - 0.00 = 0.00$	0

 f_5 - tip V: $p = 3, q = 0.5$ 

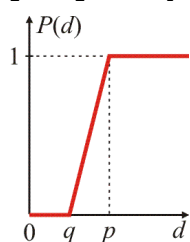
$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_3, a_s)	$d = f_5(a_s) - f_5(a_3)$	$P_5(a_3, a_s)$
$s = 1$	$0.9 - 0.1 = 0.8$	0.120
$s = 2$	$0.4 - 0.1 = 0.3$	0
$s = 4$	$0.0 - 0.1 = -0.1$	0

f_6 - tip V: $p = 3, q = 0.5$ 

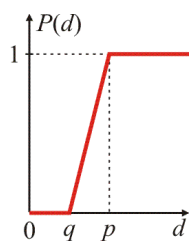
$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_3, a_s)	$d = f_6(a_s) - f_6(a_3)$	$P_6(a_3, a_s)$
$s = 1$	$0.9 - 0.0 = 0.9$	0.160
$s = 2$	$0.3 - 0.0 = 0.3$	0
$s = 4$	$0.0 - 0.0 = 0.0$	0

 f_7 - tip V: $p = 3, q = 0.5$ 

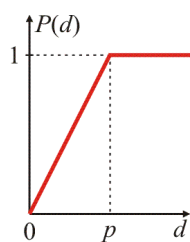
$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_3, a_s)	$d = f_7(a_s) - f_7(a_3)$	$P_7(a_3, a_s)$
$s = 1$	$1.1 - 0.0 = 1.1$	0.240
$s = 2$	$0.4 - 0.0 = 0.4$	0
$s = 4$	$0.0 - 0.0 = 0.0$	0

 f_8 - tip V: $p = 3, q = 0.5$ 

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_3, a_s)	$d = f_8(a_s) - f_8(a_3)$	$P_8(a_3, a_s)$
$s = 1$	$0.8 - 0.0 = 0.8$	0.120
$s = 2$	$0.3 - 0.0 = 0.3$	0
$s = 4$	$0.0 - 0.0 = 0.0$	0

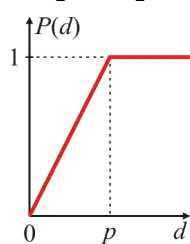
 f_9 - tip III: $p = 10$ 

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.1d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 10 \\ 1, & \text{ako je } d > 10 \end{cases}$$

(a_3, a_s)	$d = f_9(a_3) - f_9(a_s)$	$P_9(a_3, a_s)$
$s = 1$	$2 - 9 = -7$	0
$s = 2$	$2 - 4 = -2$	0
$s = 4$	$2 - 1 = 1$	0.1

• Određivanje $P_j(a_4, a_s), j = 1 \div 9, s = 1, 2, 3$

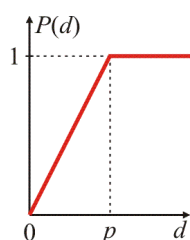
f_1 - tip III: $p = 2$



$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_4, a_s)	$d = f_1(a_s) - f_1(a_4)$	$P_1(a_4, a_s)$
$s = 1$	$0.32 - 0.00 = 0.32$	0.160
$s = 2$	$0.19 - 0.00 = 0.19$	0.095
$s = 3$	$0.10 - 0.00 = 0.10$	0.050

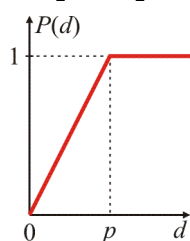
f_2 - tip III: $p = 2$



$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_4, a_s)	$d = f_2(a_s) - f_2(a_4)$	$P_2(a_4, a_s)$
$s = 1$	$0.31 - 0.00 = 0.31$	0.155
$s = 2$	$0.17 - 0.00 = 0.17$	0.085
$s = 3$	$0.00 - 0.00 = 0.00$	0

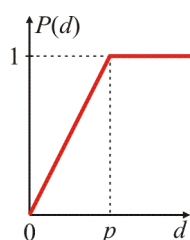
f_3 - tip III: $p = 2$



$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

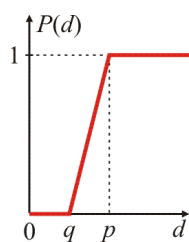
(a_4, a_s)	$d = f_3(a_s) - f_3(a_4)$	$P_3(a_4, a_s)$
$s = 1$	$0.37 - 0.00 = 0.37$	0.185
$s = 2$	$0.21 - 0.00 = 0.21$	0.105
$s = 3$	$0.00 - 0.00 = 0.00$	0

f_4 - tip III: $p = 2$



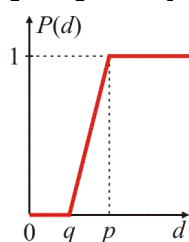
$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_4, a_s)	$d = f_4(a_s) - f_4(a_4)$	$P_4(a_4, a_s)$
$s = 1$	$0.27 - 0.00 = 0.27$	0.135
$s = 2$	$0.17 - 0.00 = 0.17$	0.085
$s = 3$	$0.00 - 0.00 = 0.00$	0

f_5 - tip V: $p = 3, q = 0.5$ 

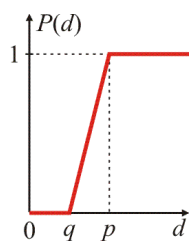
$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_4, a_s)	$d = f_5(a_s) - f_5(a_4)$	$P_5(a_4, a_s)$
$s = 1$	$0.9 - 0.0 = 0.9$	0.160
$s = 2$	$0.4 - 0.0 = 0.3$	0
$s = 3$	$0.1 - 0.0 = 0.1$	0

 f_6 - tip V: $p = 3, q = 0.5$ 

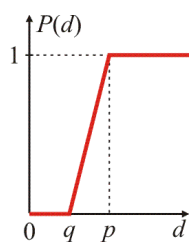
$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_4, a_s)	$d = f_6(a_s) - f_6(a_4)$	$P_6(a_4, a_s)$
$s = 1$	$0.9 - 0.0 = 0.9$	0.160
$s = 2$	$0.3 - 0.0 = 0.3$	0
$s = 3$	$0.0 - 0.0 = 0.0$	0

 f_7 - tip V: $p = 3, q = 0.5$ 

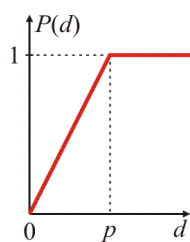
$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_4, a_s)	$d = f_7(a_s) - f_7(a_4)$	$P_7(a_4, a_s)$
$s = 1$	$1.1 - 0.0 = 1.1$	0.240
$s = 2$	$0.4 - 0.0 = 0.4$	0
$s = 3$	$0.0 - 0.0 = 0.0$	0

 f_8 - tip V: $p = 3, q = 0.5$ 

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_4, a_s)	$d = f_8(a_s) - f_8(a_4)$	$P_8(a_4, a_s)$
$s = 1$	$0.8 - 0.0 = 0.8$	0.120
$s = 2$	$0.3 - 0.0 = 0.3$	0
$s = 3$	$0.0 - 0.0 = 0.0$	0

f_9 - tip III: $p = 10$ 

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.1d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 10 \\ 1, & \text{ako je } d > 10 \end{cases}$$

(a_4, a_s)	$d = f_9(a_4) - f_9(a_s)$	$P_9(a_4, a_s)$
$s = 1$	$1 - 9 = -8$	0
$s = 2$	$1 - 4 = -3$	0
$s = 3$	$1 - 2 = -1$	0

Sračunate vrednosti funkcija preferencije svih parova alternativa po svakom kriterijumu date su u tabeli 6.30.

Tabela 6.30 Vrednosti funkcija preferencije svih parova alternativa po svakom kriterijumu – MM1

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9
$P_j(a_1, a_2)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5
$P_j(a_1, a_3)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7
$P_j(a_1, a_4)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8
$P_j(a_2, a_1)$	0.065	0.07	0.08	0.05	0	0.04	0.08	0	0
$P_j(a_2, a_3)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2
$P_j(a_2, a_4)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3
$P_j(a_3, a_1)$	0.11	0.155	0.185	0.135	0.12	0.16	0.24	0.12	0
$P_j(a_3, a_2)$	0.045	0.085	0.105	0.085	0	0	0	0	0
$P_j(a_3, a_4)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
$P_j(a_4, a_1)$	0.16	0.155	0.185	0.135	0.16	0.16	0.24	0.12	0
$P_j(a_4, a_2)$	0.095	0.085	0.105	0.085	0	0	0	0	0
$P_j(a_4, a_3)$	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0
w_j	0.05	0.05	0.05	0.10	0.05	0.05	0.05	0.10	0.50

Korak 3: Određivanje indeksa preferencije za svaki par alternativa i formiranje tabele indeksa preferencije.

$$\begin{aligned} \pi(a_1, a_2) &= w_1 \cdot P_1(a_1, a_2) + w_2 \cdot P_2(a_1, a_2) + w_3 \cdot P_3(a_1, a_2) + w_4 \cdot P_4(a_1, a_2) + w_5 \cdot P_5(a_1, a_2) + w_6 \cdot P_6(a_1, a_2) + \\ &+ w_7 \cdot P_7(a_1, a_2) + w_8 \cdot P_8(a_1, a_2) + w_9 \cdot P_9(a_1, a_2) = \\ &0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + 0.5 \cdot 0.5 = \mathbf{0.250} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \pi(a_1, a_3) &= w_1 \cdot P_1(a_1, a_3) + w_2 \cdot P_2(a_1, a_3) + w_3 \cdot P_3(a_1, a_3) + w_4 \cdot P_4(a_1, a_3) + w_5 \cdot P_5(a_1, a_3) + w_6 \cdot P_6(a_1, a_3) + \\ &+ w_7 \cdot P_7(a_1, a_3) + w_8 \cdot P_8(a_1, a_3) + w_9 \cdot P_9(a_1, a_3) = \\ &0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + 0.5 \cdot 0.7 = \mathbf{0.350} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\pi(a_1, a_4) &= w_1 \cdot P_1(a_1, a_4) + w_2 \cdot P_2(a_1, a_4) + w_3 \cdot P_3(a_1, a_4) + w_4 \cdot P_4(a_1, a_4) + w_5 \cdot P_5(a_1, a_4) + w_6 \cdot P_6(a_1, a_4) + \\ &+ w_7 \cdot P_7(a_1, a_4) + w_8 \cdot P_8(a_1, a_4) + w_9 \cdot P_9(a_1, a_4) = \\ &0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + 0.5 \cdot 0.8 = \mathbf{0.400}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\pi(a_2, a_1) &= w_1 \cdot P_1(a_2, a_1) + w_2 \cdot P_2(a_2, a_1) + w_3 \cdot P_3(a_2, a_1) + w_4 \cdot P_4(a_2, a_1) + w_5 \cdot P_5(a_2, a_1) + w_6 \cdot P_6(a_2, a_1) + \\ &+ w_7 \cdot P_7(a_2, a_1) + w_8 \cdot P_8(a_2, a_1) + w_9 \cdot P_9(a_2, a_1) = \\ &0.05 \cdot 0.065 + 0.05 \cdot 0.07 + 0.05 \cdot 0.08 + 0.1 \cdot 0.05 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0.04 + 0.05 \cdot 0.08 + \\ &+ 0.1 \cdot 0 + 0.5 \cdot 0 = \mathbf{0.022}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\pi(a_2, a_3) &= w_1 \cdot P_1(a_2, a_3) + w_2 \cdot P_2(a_2, a_3) + w_3 \cdot P_3(a_2, a_3) + w_4 \cdot P_4(a_2, a_3) + w_5 \cdot P_5(a_2, a_3) + w_6 \cdot P_6(a_2, a_3) + \\ &+ w_7 \cdot P_7(a_2, a_3) + w_8 \cdot P_8(a_2, a_3) + w_9 \cdot P_9(a_2, a_3) = \\ &0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + 0.5 \cdot 0.2 = \mathbf{0.100}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\pi(a_2, a_4) &= w_1 \cdot P_1(a_2, a_4) + w_2 \cdot P_2(a_2, a_4) + w_3 \cdot P_3(a_2, a_4) + w_4 \cdot P_4(a_2, a_4) + w_5 \cdot P_5(a_2, a_4) + w_6 \cdot P_6(a_2, a_4) + \\ &+ w_7 \cdot P_7(a_2, a_4) + w_8 \cdot P_8(a_2, a_4) + w_9 \cdot P_9(a_2, a_4) = \\ &0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + 0.5 \cdot 0.25 = \mathbf{0.150}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\pi(a_3, a_1) &= w_1 \cdot P_1(a_3, a_1) + w_2 \cdot P_2(a_3, a_1) + w_3 \cdot P_3(a_3, a_1) + w_4 \cdot P_4(a_3, a_1) + w_5 \cdot P_5(a_3, a_1) + w_6 \cdot P_6(a_3, a_1) + \\ &+ w_7 \cdot P_7(a_3, a_1) + w_8 \cdot P_8(a_3, a_1) + w_9 \cdot P_9(a_3, a_1) = \\ &0.05 \cdot 0.11 + 0.05 \cdot 0.155 + 0.05 \cdot 0.185 + 0.1 \cdot 0.135 + 0.05 \cdot 0.12 + 0.05 \cdot 0.16 + 0.05 \cdot 0.24 + \\ &+ 0.1 \cdot 0.12 + 0.5 \cdot 0 = \mathbf{0.074}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\pi(a_3, a_2) &= w_1 \cdot P_1(a_3, a_2) + w_2 \cdot P_2(a_3, a_2) + w_3 \cdot P_3(a_3, a_2) + w_4 \cdot P_4(a_3, a_2) + w_5 \cdot P_5(a_3, a_2) + w_6 \cdot P_6(a_3, a_2) + \\ &+ w_7 \cdot P_7(a_3, a_2) + w_8 \cdot P_8(a_3, a_2) + w_9 \cdot P_9(a_3, a_2) = \\ &0.05 \cdot 0.045 + 0.05 \cdot 0.085 + 0.05 \cdot 0.105 + 0.1 \cdot 0.085 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + \\ &+ 0.5 \cdot 0 = \mathbf{0.020}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\pi(a_3, a_4) &= w_1 \cdot P_1(a_3, a_4) + w_2 \cdot P_2(a_3, a_4) + w_3 \cdot P_3(a_3, a_4) + w_4 \cdot P_4(a_3, a_4) + w_5 \cdot P_5(a_3, a_4) + w_6 \cdot P_6(a_3, a_4) + \\ &+ w_7 \cdot P_7(a_3, a_4) + w_8 \cdot P_8(a_3, a_4) + w_9 \cdot P_9(a_3, a_4) = \\ &0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + 0.5 \cdot 0.1 = \mathbf{0.050}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\pi(a_4, a_1) &= w_1 \cdot P_1(a_4, a_1) + w_2 \cdot P_2(a_4, a_1) + w_3 \cdot P_3(a_4, a_1) + w_4 \cdot P_4(a_4, a_1) + w_5 \cdot P_5(a_4, a_1) + w_6 \cdot P_6(a_4, a_1) + \\ &+ w_7 \cdot P_7(a_4, a_1) + w_8 \cdot P_8(a_4, a_1) + w_9 \cdot P_9(a_4, a_1) = \\ &0.05 \cdot 0.16 + 0.05 \cdot 0.155 + 0.05 \cdot 0.185 + 0.1 \cdot 0.135 + 0.05 \cdot 0.16 + 0.05 \cdot 0.16 + 0.05 \cdot 0.24 + \\ &+ 0.1 \cdot 0.12 + 0.5 \cdot 0 = \mathbf{0.078}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\pi(a_4, a_2) &= w_1 \cdot P_1(a_4, a_2) + w_2 \cdot P_2(a_4, a_2) + w_3 \cdot P_3(a_4, a_2) + w_4 \cdot P_4(a_4, a_2) + w_5 \cdot P_5(a_4, a_2) + w_6 \cdot P_6(a_4, a_2) + \\ &+ w_7 \cdot P_7(a_4, a_2) + w_8 \cdot P_8(a_4, a_2) + w_9 \cdot P_9(a_4, a_2) = \\ &0.05 \cdot 0.095 + 0.05 \cdot 0.085 + 0.05 \cdot 0.105 + 0.1 \cdot 0.085 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + \\ &+ 0.5 \cdot 0 = \mathbf{0.023}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\pi(a_4, a_3) &= w_1 \cdot P_1(a_4, a_3) + w_2 \cdot P_2(a_4, a_3) + w_3 \cdot P_3(a_4, a_3) + w_4 \cdot P_4(a_4, a_3) + w_5 \cdot P_5(a_4, a_3) + w_6 \cdot P_6(a_4, a_3) + \\ &+ w_7 \cdot P_7(a_4, a_3) + w_8 \cdot P_8(a_4, a_3) + w_9 \cdot P_9(a_4, a_3) = \\ &0.05 \cdot 0.05 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + 0.5 \cdot 0 = \mathbf{0.002}\end{aligned}$$

Tabela 6.31 Matrica indeksa preferentnosti - MM1

	a_1	a_2	a_3	a_4
a_1	0	0.250	0.350	0.400
a_2	0.022	0	0.100	0.150
a_3	0.074	0.020	0	0.050
a_4	0.078	0.023	0.002	0

Korak 4: Izračunavanje vrednosti izlaznog i ulaznog toka za svaku alternativu i formiranje parcijalnog poretka upoređivanih alternativa (PROMETHEE 1).

Tabela 6.32 Formiranje izlaznih i ulaznih tokova - MM1

	a_1	a_2	a_3	a_4	Φ^+
a_1	0	0.250	0.350	0.400	0.333
a_2	0.022	0	0.100	0.150	0.091
a_3	0.074	0.020	0	0.050	0.048
a_4	0.078	0.023	0.002	0	0.034
Φ^-	0.058	0.098	0.151	0.200	

Korak 5: Izračunavanje vrednosti čistih tokova za sve alternative i formiranje potpunog poretka – ranga alternativa (PROMETHEE 2).

Tabela 6.33 Vrednosti čistih tokova i formiranje potpunog poretka alternativa - MM1

	Φ	Poredak
a_1	0.275	1
a_2	-0.007	2
a_3	-0.103	3
a_4	-0.166	4

6.6.1.1 Analiza dobijenih rezultata za merno mesto MM1

1. Sproveden postupak izbora optimalne merne strategije za merno mesto MM1 ističe alternativu a_1 (sedmični interval merenja) kao najprihvatljiviju sa stanovišta postavljenih kriterijuma.
2. Potpuni poredak alternativa za mernu strategiju za merno mesto MM1 je oblika

$$a_1 \rightarrow a_2 \rightarrow a_3 \rightarrow a_4$$
3. Dobijeno rešenje odgovara u potpunosti postavljenom cilju istraživanja – minimizaciji vremenskog intervala merenja uz postizanje rezultata zadovoljavajuće tačnosti i preciznosti, čime se ostvaruje maksimalni stepen iskorišćenosti merne opreme.

6.6.1.2 Izbor optimalne merne strategije za merno mesto MM1 primenom programskog paketa Visual PROMETHEE

Primenom programskog paketa Visual PROMETHEE izvršena je najpre verifikacija računski dobijenih rezultata za izbor optimalne merne strategije za merno mesto MM1 (scenario 1), a zatim su u cilju valorizacije dobijenog rešenja izvršene promene tipa preferencijskih funkcija i vrednosti parametara za iste vrednosti kriterijuma (scenario 2).

Izborom funkcije preferentnosti sa linearnom preferencijom i oblašću indiferentnosti za sve kriterijume i usvajanjem manje vrednosti parametra preferentnosti u odnosu na scenario 1, u scenariju 2 su postavljeni stroži uslovi rangiranja alternativa.

Za kriterijume $f_1 \div f_4$ u slučaju scenarija 2 važi da ukoliko je razlika standardnih odstupanja rezultata merenja po alternativama jednaka ili veća od 1 dB, postoji stroga preferentnost alternative sa manjim standardnim odstupanjem. Sa druge strane, ukoliko je razlika manja od 0.1 dB, dve upoređivane alternative se smatraju indiferentnim, odnosno istog značaja.

Za kriterijume $f_5 \div f_8$ u slučaju scenarija 2 važi da ukoliko je razlika maksimalnih apsolutnih odstupanja rezultata merenja po alternativama jednaka ili veća od 2 dB, postoji stroga preferentnost alternative sa manjim odstupanjem. Ukoliko je razlika manja od 0.5 dB, dve upoređivane alternative se smatraju indiferentnim, odnosno istog značaja.

Prikaz osnovnih prozora programa Visual PROMETHEE za problem izbora optimalne merne strategije za merno mesto MM1 na osnovu scenarija 1 i 2 dat je na slikama 6.14 i 6.15.

Visual PROMETHEE Academic - MM1.vpg (sačuvano)

Datoteka Uredi Model Kontrola PROMETHEE-GAIA GDSS GIS Prilagodni Pomocnici Trenutni snimci Opcije Pomoc

Scenario1	criterion1	criterion2	criterion3	criterion4	criterion5	criterion6	criterion7	criterion8	criterion9
Jedinica	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	1-9
Klaster/Grupa	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferencije									
Min/Max	min	min	min	min	min	min	min	min	max
Težina	0,05	0,05	0,05	0,10	0,05	0,05	0,05	0,10	0,50
Preferentna Fun.	V-oblik	V-oblik	V-oblik	V-oblik	Linearna	Linearna	Linearna	Linearna	V-oblik
Granice	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan
- Q: Indiferentnost	n/d	n/d	n/d	n/d	0,50	0,50	0,50	0,50	n/d
- P: Preferencija	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	10,00
- S: Gausova	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
Statistika									
Minimum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
Maksimum	0,32	0,31	0,37	0,27	0,90	0,90	1,10	0,80	9,00
Prosek	0,15	0,12	0,14	0,11	0,35	0,30	0,38	0,28	4,00
Standardno odstupanje	0,12	0,13	0,16	0,12	0,35	0,37	0,45	0,33	3,08
Vrednovanja									
action1	0,32	0,31	0,37	0,27	0,90	0,90	1,10	0,80	9,00
action2	0,19	0,17	0,21	0,17	0,40	0,30	0,40	0,30	4,00
action3	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	2,00
action4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00

Sl. 6.14 Matrica odlučivanja za merno mesto MM1 - scenario 1

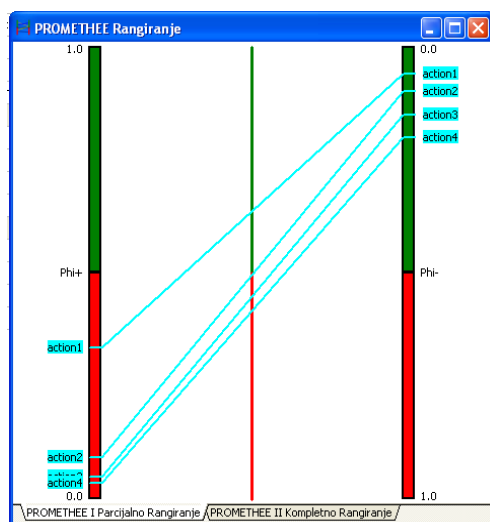
Visual PROMETHEE Academic - MM1.vpg (sačuvano)

Datoteka Uredi Model Kontrola PROMETHEE-GAIA GDSS GIS Prilagodni Pomocnici Trenutni snimci Opcije Pomoc

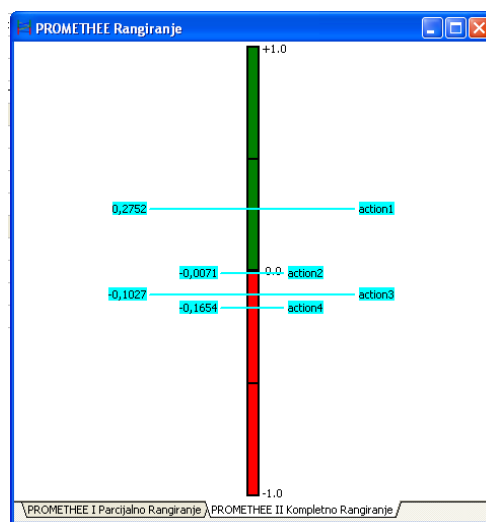
Scenario2	criterion1	criterion2	criterion3	criterion4	criterion5	criterion6	criterion7	criterion8	criterion9
Jedinica	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	1-9
Klaster/Grupa	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferencije									
Min/Max	min	min	min	min	min	min	min	min	max
Težina	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,10	0,50
Preferentna Fun.	Linearna	Linearna	Linearna	Linearna	Linearna	Linearna	Linearna	Linearna	Linearna
Granice	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan
- Q: Indiferentnost	0,10	0,10	0,10	0,10	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00
- P: Preferencija	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	8,00
- S: Gausova	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
Statistika									
Minimum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
Maksimum	0,32	0,31	0,37	0,27	0,90	0,90	1,10	0,80	9,00
Prosek	0,15	0,12	0,14	0,11	0,35	0,30	0,38	0,28	4,00
Standardno odstupanje	0,12	0,13	0,16	0,12	0,35	0,37	0,45	0,33	3,08
Vrednovanja									
action1	0,32	0,31	0,37	0,27	0,90	0,90	1,10	0,80	9,00
action2	0,19	0,17	0,21	0,17	0,40	0,30	0,40	0,30	4,00
action3	0,10	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	2,00
action4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00

Sl. 6.15 Matrica odlučivanja za merno mesto MM1 - scenario 2

Rezultati optimizacije u slučaju pojedinih scenarija su prikazani na slikama 6.16 i 6.17. Slika 6.16 a prikazuje delimično rangiranje alternativa prema izlaznom (levo) i ulaznom (desno) toku alternativa. Alternativa a_1 (akcija 1) je dominantna po oba kriterijuma, što potvrđuje kompletno rangiranje alternativa metodom PROMETHEE II (sl. 6.16 b) za slučaj oba scenarija.

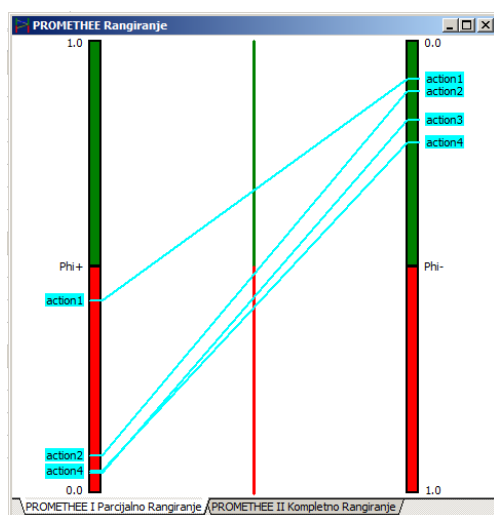


a1

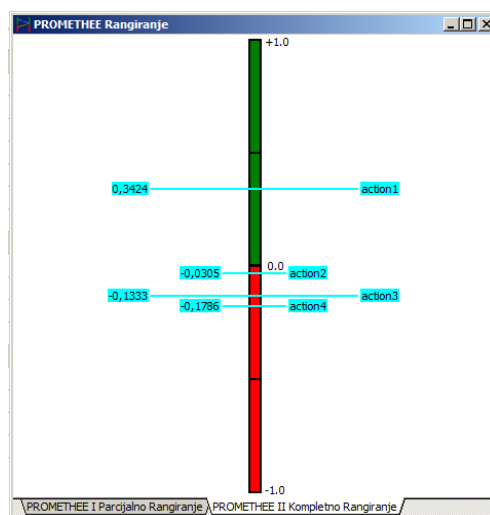


b1

Scenario 1



a2



b2

Scenario 2

Sl. 6.16 *Parcijalno (a) i kompletno (b) rangiranje alternativa metodama PROMETHEE I i PROMETHEE II za merno mesto MM1 po scenarijima 1 i 2*

PROMETHEE Tabela Toka (sl. 6.17) prikazuje rezultate izlaznih, ulaznih i čistih tokova svih alternativa i na osnovu toga njihovo kompletno rangiranje metodom PROMETHEE II.

Rank	akcija	Phi	Phi+	Phi-
1	action1	0,2752	0,3333	0,0581
2	action2	-0,0071	0,0906	0,0977
3	action3	-0,1027	0,0481	0,1508
4	action4	-0,1654	0,0346	0,2000

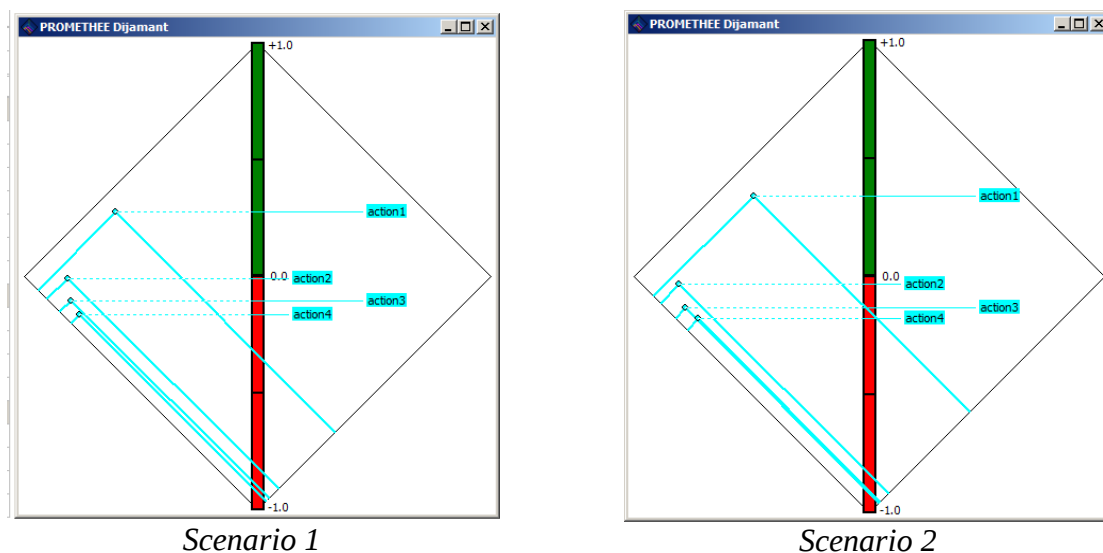
Scenario 1

Rank	akcija	Phi	Phi+	Phi-
1	action1	0,3424	0,4261	0,0836
2	action2	-0,0305	0,0812	0,1118
3	action3	-0,1333	0,0421	0,1754
4	action4	-0,1786	0,0470	0,2256

Scenario 2

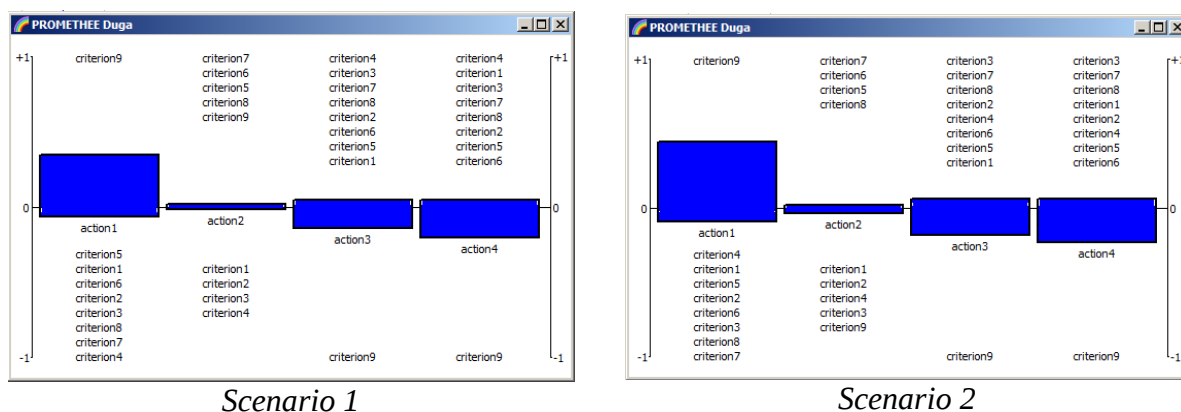
Sl. 6.17 *Kompletno rangiranje alternativa metodom PROMETHEE II za merno mesto MM1 po scenarijima 1 i 2 na osnovu vrednosti čistog (neto) toka alternativa*

Slika 6.18 predstavlja dvodimenzionalni rezultat zajedničkog rangiranja alternativa metodama PROMETHEE I i PROMETHEE II za merno mesto MM1 po scenarijima 1 i 2. Kvadrat predstavlja oblast Φ^+ i Φ^- ravni, u kojoj je svaka od alternativa predstavljena tačkom. Ravan je nagnuta pod uglom od 45° , tako da vertikalna dimenzija daje Φ neto tok alternativa. Izlazni Φ^+ tok povećava ugao sa leve strane ka vrhu, dok ulazni Φ^- tok povećava ugao sa desne strane ka dnu. Za svaku od akcija se dobija oblik kupe u ravni.



Sl. 6.18 Izgled prozora PROMETHEE Dijamant - rangiranje alternativa za merno mesto MM1 po scenarijima 1 i 2

Posebno pogodan način predstavljanja rezultata višekriterijumske optimizacije predstavlja aplikacija PROMETHEE Duga (sl. 6.19) koja pruža razvrstan pogled na PROMETHEE II metodu. Na ovaj način su prikazane prednosti i nedostaci pojedinih alternativa, na osnovu kojih je sprovedeno kompletno rangiranje varijantnih rešenja.



Sl. 6.19 Izgled prozora PROMETHEE Duga - rangiranje alternativa za merno mesto MM1 po scenarijima 1 i 2

Uporedni prikaz rangiranih alternativa metodom PROMETHEE II po scenarijima dat je na sl. 6.20.



Sl. 6.20 Poređenje rangiranja alternativa za merno mesto MM1 po scenarijima 1 i 2

6.6.2 IZBOR OPTIMALNE MERNE STRATEGIJE ZA MERNO MESTO MM2

Vrednosti kriterijuma za pojedine alternative su za merno mesto MM2 prikazane u tabeli 6.34 na osnovu rezultata merenja parametara buke (tabele 6.13 ÷ 6.17) i stepena iskorišćenosti merne opreme.

Tabela 6.34 Kvantifikovana matrica odlučivanja – merno mesto MM2

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9
a_1	0.35	0.40	0.83	0.61	0.7	0.9	1.2	1.0	9
a_2	0.17	0.24	0.32	0.24	0.3	0.4	0.5	0.4	4
a_3	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Cilj	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
w_j	0.05	0.05	0.05	0.10	0.05	0.05	0.05	0.10	0.50

Korak 1: Definisanje tipa opšteg kriterijuma i parametara za svaki pojedinačni kriterijum f_j .

Tabela 6.35 Tipovi opštih kriterijuma i vrednosti parametara preferencije i indiferencije – MM2

Kriterijum	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9
Tip opšteg kriterijuma	III	III	III	III	V	V	V	V	III
Parametar preferencije p	2	2	2	2	3	3	3	3	10
Parametar indiferencije q	-	-	-	-	0.5	0.5	0.5	0.5	-

Korak 2: Određivanje funkcije preferencije za sve parove alternativa prema svakom kriterijumu redom.

• **Određivanje $P_j(a_1, a_s), j = 1 \div 9, s = 2, 3$**

f_1 - tip III: $p = 2$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_1, a_s)	$d = f_1(a_s) - f_1(a_1)$	$P_1(a_1, a_s)$
$s = 2$	$0.17 - 0.35 = -0.18$	0
$s = 3$	$0.00 - 0.35 = -0.35$	0

f_2 - tip III: $p = 2$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_1, a_s)	$d = f_2(a_s) - f_2(a_1)$	$P_2(a_1, a_s)$
$s = 2$	$0.24 - 0.40 = -0.16$	0
$s = 3$	$0.00 - 0.40 = -0.40$	0

f_3 - tip III: $p = 2$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_1, a_s)	$d = f_3(a_s) - f_3(a_1)$	$P_3(a_1, a_s)$
$s = 2$	$0.32 - 0.83 = -0.51$	0
$s = 3$	$0.00 - 0.83 = -0.83$	0

f_4 - tip III: $p = 2$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_1, a_s)	$d = f_4(a_s) - f_4(a_1)$	$P_4(a_1, a_s)$
$s = 2$	$0.24 - 0.61 = -0.37$	0
$s = 3$	$0.00 - 0.61 = -0.61$	0

f_5 - tip V: $p = 3, q = 0.5$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_1, a_s)	$d = f_5(a_s) - f_5(a_1)$	$P_5(a_1, a_s)$
$s = 2$	$0.3 - 0.7 = -0.4$	0
$s = 3$	$0.0 - 0.7 = -0.7$	0

f_6 - tip V: $p = 3, q = 0.5$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_1, a_s)	$d = f_6(a_s) - f_6(a_1)$	$P_6(a_1, a_s)$
$s = 2$	$0.4 - 0.9 = -0.5$	0
$s = 3$	$0.0 - 0.9 = -0.9$	0

f_7 - tip V: $p = 3, q = 0.5$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_1, a_s)	$d = f_7(a_s) - f_7(a_1)$	$P_7(a_1, a_s)$
$s = 2$	$0.5 - 1.2 = -0.7$	0
$s = 3$	$0.0 - 1.2 = -1.2$	0

f_8 - tip V: $p = 3, q = 0.5$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_1, a_s)	$d = f_8(a_s) - f_8(a_1)$	$P_8(a_1, a_s)$
$s = 2$	$0.4 - 1.0 = -0.6$	0
$s = 3$	$0.0 - 1.0 = -1.0$	0

 f_9 - tip III: $p = 10$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.1d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 10 \\ 1, & \text{ako je } d > 10 \end{cases}$$

(a_1, a_s)	$d = f_9(a_1) - f_9(a_s)$	$P_9(a_1, a_s)$
$s = 2$	$9 - 4 = 5$	0.5
$s = 3$	$9 - 2 = 7$	0.7

• **Određivanje $P_j(a_2, a_s), j = 1 \div 9, s = 1, 3$**

 f_1 - tip III: $p = 2$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_2, a_s)	$d = f_1(a_s) - f_1(a_2)$	$P_1(a_2, a_s)$
$s = 1$	$0.35 - 0.17 = 0.18$	0.090
$s = 3$	$0.00 - 0.17 = -0.17$	0

 f_2 - tip III: $p = 2$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_2, a_s)	$d = f_2(a_s) - f_2(a_2)$	$P_2(a_2, a_s)$
$s = 1$	$0.40 - 0.24 = 0.16$	0.080
$s = 3$	$0.00 - 0.24 = -0.24$	0

 f_3 - tip III: $p = 2$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_2, a_s)	$d = f_3(a_s) - f_3(a_2)$	$P_3(a_2, a_s)$
$s = 1$	$0.83 - 0.32 = 0.51$	0.255
$s = 3$	$0.00 - 0.32 = -0.32$	0

 f_4 - tip III: $p = 2$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_2, a_s)	$d = f_4(a_s) - f_4(a_2)$	$P_4(a_2, a_s)$
$s = 1$	$0.61 - 0.24 = 0.37$	0.185
$s = 3$	$0.00 - 0.24 = -0.24$	0

 f_5 - tip V: $p = 3, q = 0.5$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_2, a_s)	$d = f_5(a_s) - f_5(a_2)$	$P_5(a_2, a_s)$
$s = 1$	$0.7 - 0.3 = 0.4$	0
$s = 3$	$0.0 - 0.3 = -0.3$	0

 f_6 - tip V: $p = 3, q = 0.5$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_2, a_s)	$d = f_6(a_s) - f_6(a_2)$	$P_6(a_2, a_s)$
$s = 1$	$0.9 - 0.4 = 0.5$	0
$s = 3$	$0.0 - 0.4 = -0.4$	0

f_7 - tip V: $p = 3, q = 0.5$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d-5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_2, a_s)	$d = f_7(a_s) - f_7(a_2)$	$P_7(a_2, a_s)$
$s = 1$	$1.2 - 0.5 = 0.7$	0.080
$s = 3$	$0.0 - 0.5 = -0.5$	0

 f_8 - tip V: $p = 3, q = 0.5$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d-5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_2, a_s)	$d = f_8(a_s) - f_8(a_2)$	$P_8(a_2, a_s)$
$s = 1$	$1.0 - 0.4 = 0.6$	0.04
$s = 3$	$0.0 - 0.4 = -0.4$	0

 f_9 - tip III: $p = 10$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.1d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 10 \\ 1, & \text{ako je } d > 10 \end{cases}$$

(a_2, a_s)	$d = f_9(a_2) - f_9(a_s)$	$P_9(a_2, a_s)$
$s = 1$	$4 - 9 = -5$	0
$s = 3$	$4 - 2 = 2$	0.2

• **Određivanje $P_j(a_3, a_s), j = 1 \div 9, s = 1, 2$**

 f_1 - tip III: $p = 2$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_3, a_s)	$d = f_1(a_s) - f_1(a_3)$	$P_1(a_3, a_s)$
$s = 1$	$0.35 - 0.00 = 0.35$	0.175
$s = 2$	$0.17 - 0.00 = 0.17$	0.085

 f_2 - tip III: $p = 2$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_3, a_s)	$d = f_2(a_s) - f_2(a_3)$	$P_2(a_3, a_s)$
$s = 1$	$0.40 - 0.00 = 0.40$	0.200
$s = 2$	$0.24 - 0.00 = 0.24$	0.120

 f_3 - tip III: $p = 2$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_3, a_s)	$d = f_3(a_s) - f_3(a_3)$	$P_3(a_3, a_s)$
$s = 1$	$0.83 - 0.00 = 0.83$	0.415
$s = 2$	$0.32 - 0.00 = 0.32$	0.160

 f_4 - tip III: $p = 2$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_3, a_s)	$d = f_4(a_s) - f_4(a_3)$	$P_4(a_3, a_s)$
$s = 1$	$0.61 - 0.00 = 0.61$	0.305
$s = 2$	$0.24 - 0.00 = 0.24$	0.120

 f_5 - tip V: $p = 3, q = 0.5$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d-5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_3, a_s)	$d = f_5(a_s) - f_5(a_3)$	$P_5(a_3, a_s)$
$s = 1$	$0.7 - 0.0 = 0.7$	0.08
$s = 2$	$0.3 - 0.0 = 0.3$	0

f_6 - tip V: $p = 3, q = 0.5$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d-5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_3, a_s)	$d = f_6(a_s) - f_6(a_3)$	$P_6(a_3, a_s)$
$s = 1$	$0.9 - 0.0 = 0.9$	0.160
$s = 2$	$0.4 - 0.0 = 0.4$	0

 f_7 - tip V: $p = 3, q = 0.5$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d-5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_3, a_s)	$d = f_7(a_s) - f_7(a_3)$	$P_7(a_3, a_s)$
$s = 1$	$1.2 - 0.0 = 1.2$	0.280
$s = 2$	$0.5 - 0.0 = 0.5$	0

 f_8 - tip V: $p = 3, q = 0.5$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d-5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_3, a_s)	$d = f_8(a_s) - f_8(a_3)$	$P_8(a_3, a_s)$
$s = 1$	$1.0 - 0.0 = 1.0$	0.200
$s = 2$	$0.4 - 0.0 = 0.4$	0

 f_9 - tip III: $p = 10$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.1d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 10 \\ 1, & \text{ako je } d > 10 \end{cases}$$

(a_3, a_s)	$d = f_9(a_3) - f_9(a_s)$	$P_9(a_3, a_s)$
$s = 1$	$2 - 9 = -7$	0
$s = 2$	$2 - 4 = -2$	0

Tabela 6.36 Vrednosti funkcija preferencije svih parova alternativa po svakom kriterijumu – MM2

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9
$P_j(a_1, a_2)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5
$P_j(a_1, a_3)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7
$P_j(a_2, a_1)$	0.09	0.08	0.255	0.185	0	0	0.08	0.04	0
$P_j(a_2, a_3)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2
$P_j(a_3, a_1)$	0.175	0.20	0.415	0.305	0.08	0.16	0.28	0.20	0
$P_j(a_3, a_2)$	0.085	0.12	0.160	0.12	0	0	0	0	0
w_j	0.05	0.05	0.05	0.10	0.05	0.05	0.05	0.10	0.50

Korak 3: Određivanje indeksa preferencije za svaki par alternativa i formiranje tabele indeksa preferencije.

$$\begin{aligned} \pi(a_1, a_2) = & w_1 \cdot P_1(a_1, a_2) + w_2 \cdot P_2(a_1, a_2) + w_3 \cdot P_3(a_1, a_2) + w_4 \cdot P_4(a_1, a_2) + w_5 \cdot P_5(a_1, a_2) + w_6 \cdot P_6(a_1, a_2) + \\ & + w_7 \cdot P_7(a_1, a_2) + w_8 \cdot P_8(a_1, a_2) + w_9 \cdot P_9(a_1, a_2) = \\ & 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + 0.5 \cdot 0.5 = \mathbf{0.250} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \pi(a_1, a_3) = & w_1 \cdot P_1(a_1, a_3) + w_2 \cdot P_2(a_1, a_3) + w_3 \cdot P_3(a_1, a_3) + w_4 \cdot P_4(a_1, a_3) + w_5 \cdot P_5(a_1, a_3) + w_6 \cdot P_6(a_1, a_3) + \\ & + w_7 \cdot P_7(a_1, a_3) + w_8 \cdot P_8(a_1, a_3) + w_9 \cdot P_9(a_1, a_3) = \\ & 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + 0.5 \cdot 0.7 = \mathbf{0.350} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\pi(a_2, a_1) &= w_1 \cdot P_1(a_2, a_1) + w_2 \cdot P_2(a_2, a_1) + w_3 \cdot P_3(a_2, a_1) + w_4 \cdot P_4(a_2, a_1) + w_5 \cdot P_5(a_2, a_1) + w_6 \cdot P_6(a_2, a_1) + \\ &+ w_7 \cdot P_7(a_2, a_1) + w_8 \cdot P_8(a_2, a_1) + w_9 \cdot P_9(a_2, a_1) = \\ &0.05 \cdot 0.09 + 0.05 \cdot 0.08 + 0.05 \cdot 0.255 + 0.1 \cdot 0.185 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0.08 + \\ &+ 0.1 \cdot 0.04 + 0.5 \cdot 0 = \mathbf{0.048}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\pi(a_2, a_3) &= w_1 \cdot P_1(a_2, a_3) + w_2 \cdot P_2(a_2, a_3) + w_3 \cdot P_3(a_2, a_3) + w_4 \cdot P_4(a_2, a_3) + w_5 \cdot P_5(a_2, a_3) + w_6 \cdot P_6(a_2, a_3) + \\ &+ w_7 \cdot P_7(a_2, a_3) + w_8 \cdot P_8(a_2, a_3) + w_9 \cdot P_9(a_2, a_3) = \\ &0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + 0.5 \cdot 0.2 = \mathbf{0.100}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\pi(a_3, a_1) &= w_1 \cdot P_1(a_3, a_1) + w_2 \cdot P_2(a_3, a_1) + w_3 \cdot P_3(a_3, a_1) + w_4 \cdot P_4(a_3, a_1) + w_5 \cdot P_5(a_3, a_1) + w_6 \cdot P_6(a_3, a_1) + \\ &+ w_7 \cdot P_7(a_3, a_1) + w_8 \cdot P_8(a_3, a_1) + w_9 \cdot P_9(a_3, a_1) = \\ &0.05 \cdot 0.175 + 0.05 \cdot 0.2 + 0.05 \cdot 0.415 + 0.1 \cdot 0.305 + 0.05 \cdot 0.08 + 0.05 \cdot 0.16 + 0.05 \cdot 0.28 + \\ &+ 0.1 \cdot 0.2 + 0.5 \cdot 0 = \mathbf{0.116}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\pi(a_3, a_2) &= w_1 \cdot P_1(a_3, a_2) + w_2 \cdot P_2(a_3, a_2) + w_3 \cdot P_3(a_3, a_2) + w_4 \cdot P_4(a_3, a_2) + w_5 \cdot P_5(a_3, a_2) + w_6 \cdot P_6(a_3, a_2) + \\ &+ w_7 \cdot P_7(a_3, a_2) + w_8 \cdot P_8(a_3, a_2) + w_9 \cdot P_9(a_3, a_2) = \\ &0.05 \cdot 0.085 + 0.05 \cdot 0.12 + 0.05 \cdot 0.160 + 0.1 \cdot 0.12 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + \\ &+ 0.5 \cdot 0 = \mathbf{0.030}\end{aligned}$$

Tabela 6.37 Matrica indeksa preferentnosti – MM2

	a_1	a_2	a_3
a_1	0	0.250	0.350
a_2	0.048	0	0.100
a_3	0.116	0.030	0

Korak 4: Izračunavanje vrednosti izlaznog i ulaznog toka za svaku alternativu i formiranje parcijalnog poretka upoređivanih alternativa (PROMETHEE 1).

Tabela 6.38 Formiranje izlaznih i ulaznih tokova – MM2

	a_1	a_2	a_3	Φ^+
a_1	0	0.250	0.350	0.300
a_2	0.048	0	0.100	0.074
a_3	0.116	0.030	0	0.073
Φ^-	0.082	0.140	0.225	

Korak 5: Izračunavanje vrednosti čistih tokova za sve alternative i formiranje potpunog poretka – ranga alternativa (PROMETHEE 2).

Tabela 6.39 Vrednosti čistih tokova i formiranje potpunog poretka alternativa – MM2

	Φ	Poredak
a_1	0.218	1
a_2	-0.066	2
a_3	-0.152	3

6.6.2.1 Analiza dobijenih rezultata za merno mesto MM2

1. Sproveden postupak izbora optimalne merne strategije za merno mesto MM2 ističe alternativu a_1 (sedmični interval merenja) kao najprihvatljiviju sa stanovišta postavljenih kriterijuma.
2. Potpuni poredak alternativa za mernu strategiju za merno mesto MM2 je oblika

$$a_1 \rightarrow a_2 \rightarrow a_3$$

3. Dobijeno rešenje odgovara u potpunosti postavljenom cilju istraživanja – minimizaciji vremenskog intervala merenja uz postizanje rezultata zadovoljavajuće tačnosti i preciznosti, čime se ostvaruje maksimalni stepen iskorišćenosti merne opreme.

6.6.2.2 Izbor optimalne merne strategije za merno mesto MM2 primenom programskog paketa Visual PROMETHEE

Primenom programskog paketa Visual PROMETHEE izvršena je najpre provera računski dobijenih rezultata za izbor optimalne merne strategije za merno mesto MM2 (scenario 1), a zatim su u cilju valorizacije dobijenog rešenja izvršene promene tipa preferencijskih funkcija i vrednosti parametara za iste vrednosti kriterijuma (scenario 2).

Izborom funkcije preferentnosti sa linearnom preferencijom i oblašću indiferentnosti za sve kriterijume i usvajanjem manje vrednosti parametra preferentnosti u odnosu na scenario 1, u scenariju 2 su postavljeni stroži uslovi rangiranja alternativa.

Prikaz osnovnih prozora programa Visual PROMETHEE za problem izbora optimalne merne strategije za merno mesto MM2 na osnovu scenarija 1 i 2 dat je na slikama 6.21 i 6.22.

Visual PROMETHEE Academic - MM2.vpg (sačuvano)

Datoteka Uredi Model Kontrola PROMETHEE-GAIA GDSS GIS Prilagodni Pomocnici Trenutni snimci Opcije Pomoc

Scenario1	criterion1	criterion2	criterion3	criterion4	criterion5	criterion6	criterion7	criterion8	criterion9
Jedinica	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	1-9
Klaster/Grupa	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferencije									
Min/Max	min	min	min	min	min	min	min	min	max
Težina	0,05	0,05	0,05	0,10	0,05	0,05	0,05	0,10	0,50
Preferentna Fun.	V-oblik	V-oblik	V-oblik	V-oblik	Linearna	Linearna	Linearna	Linearna	V-oblik
Granice	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan
- Q: Indiferentnost	n/d	n/d	n/d	n/d	0,50	0,50	0,50	0,50	n/d
- P: Preferencija	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	10,00
- S: Gausova	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
Statistika									
Minimum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00
Maksimum	0,32	0,40	0,83	0,61	0,70	0,90	1,20	1,00	9,00
Prosek	0,16	0,21	0,38	0,28	0,33	0,43	0,57	0,47	5,00
Standardno odstupanje	0,13	0,16	0,34	0,25	0,29	0,37	0,49	0,41	2,94
Vrednovanja									
action1	0,32	0,40	0,83	0,61	0,70	0,90	1,20	1,00	9,00
action2	0,17	0,24	0,32	0,24	0,30	0,40	0,50	0,40	4,00
action3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00

Sl. 6.21 Matrica odlučivanja za merno mesto MM2 - scenario 1

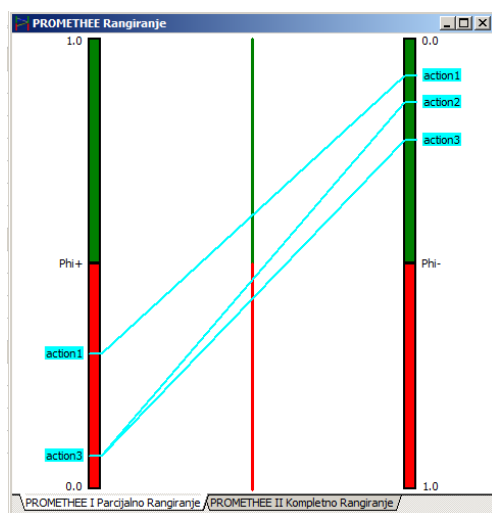
Visual PROMETHEE Academic - MM2.vpg (sačuvano)

Datoteka Uredi Model Kontrola PROMETHEE-GAIA GDSS GIS Prilagodni Pomocnici Trenutni snimci Opcije Pomoc

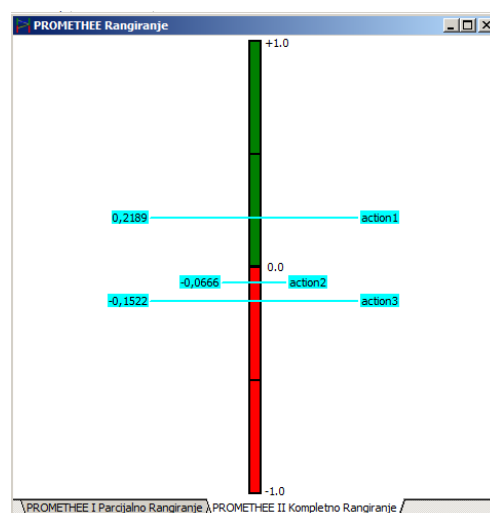
Scenario2	criterion1	criterion2	criterion3	criterion4	criterion5	criterion6	criterion7	criterion8	criterion9
Jedinica	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	1-9
Klaster/Grupa	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferencije									
Min/Max	min	min	min	min	min	min	min	min	max
Težina	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,10	0,50
Preferentna Fun.	Linearna	Linearna	Linearna	Linearna	Linearna	Linearna	Linearna	Linearna	Linearna
Granice	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan
- Q: Indiferentnost	0,10	0,10	0,10	0,10	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00
- P: Preferencija	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	8,00
- S: Gausova	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
Statistika									
Minimum	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00
Maksimum	0,35	0,40	0,83	0,61	0,70	0,90	1,20	1,00	9,00
Prosek	0,21	0,21	0,38	0,28	0,33	0,43	0,57	0,47	5,00
Standardno odstupanje	0,11	0,16	0,34	0,25	0,29	0,37	0,49	0,41	2,94
Vrednovanja									
action1	0,35	0,40	0,83	0,61	0,70	0,90	1,20	1,00	9,00
action2	0,17	0,24	0,32	0,24	0,30	0,40	0,50	0,40	4,00
action3	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00

Sl. 6.22 Matrica odlučivanja za merno mesto MM2 - scenario 2

Rezultati optimizacije u slučaju pojedinih scenarija su prikazani na slikama 6.23 ÷ 6.27.

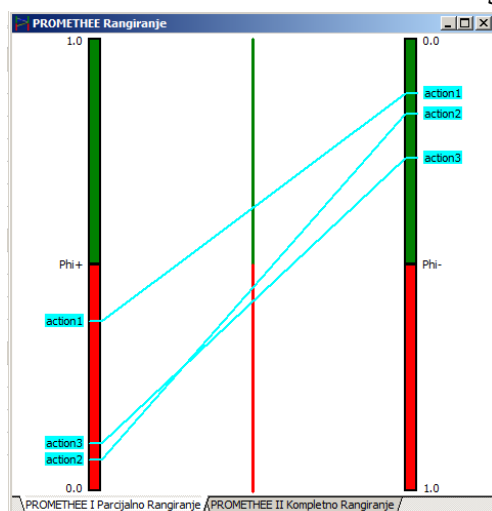


a1

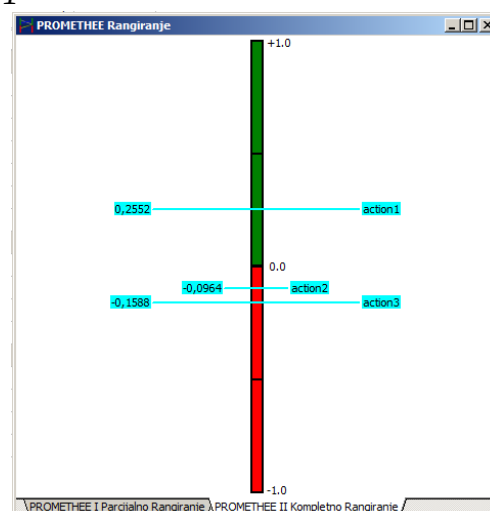


b1

Scenario 1



a2



b2

Scenario 2

Sl. 6.23 *Parcijalno (a) i kompletno (b) rangiranje alternativa metodama PROMETHEE I i PROMETHEE II za merno mesto MM2 po scenarijima 1 i 2*

PROMETHEE Tabela Toka (sl. 6.24) prikazuje rezultate izlaznih, ulaznih i čistih tokova svih alternativa i na osnovu toga njihovo kompletno rangiranje metodom PROMETHEE II.

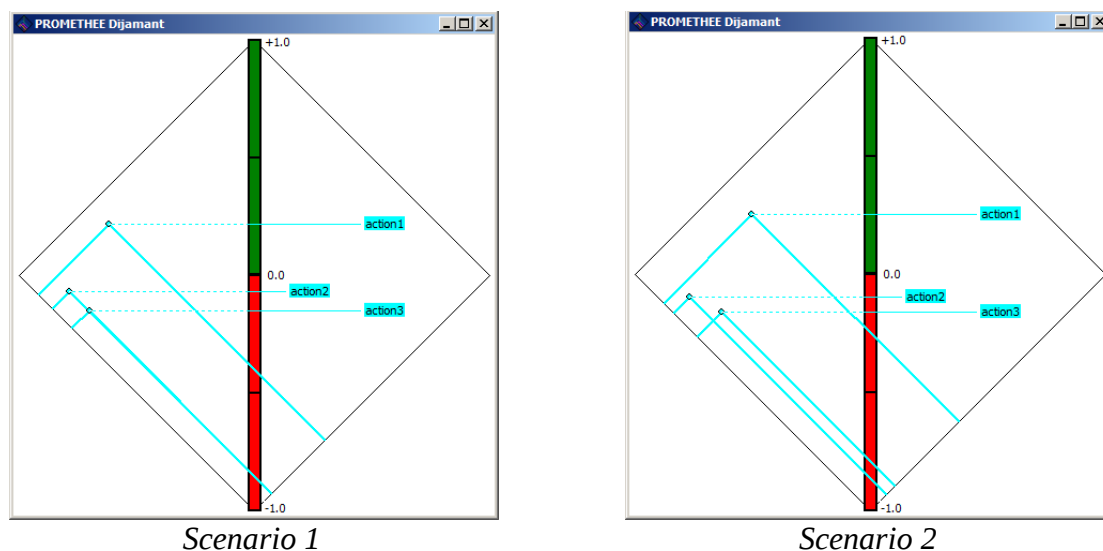
PROMETHEE Tabela Toka					
Rank	akcija		Phi	Phi+	Phi-
1	action1	☒	0,2189	0,3000	0,0811
2	action2	☒	-0,0666	0,0735	0,1401
3	action3	☒	-0,1522	0,0727	0,2250

Scenario 1

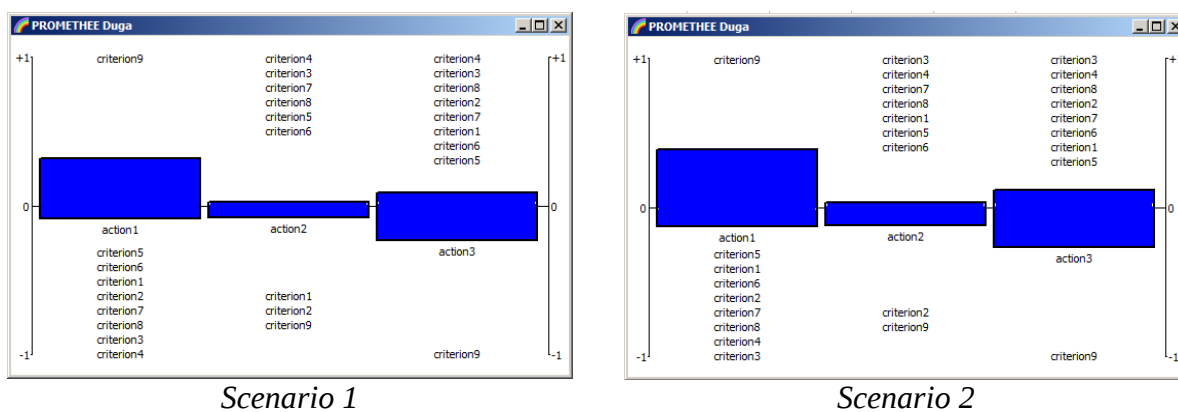
PROMETHEE Tabela Toka					
Rank	akcija		Phi	Phi+	Phi-
1	action1	☒	0,2552	0,3759	0,1208
2	action2	☒	-0,0964	0,0686	0,1650
3	action3	☒	-0,1588	0,1044	0,2632

Scenario 2

Sl. 6.24 *Kompletno rangiranje alternativa metodom PROMETHEE II za merno mesto MM2 po scenarijima 1 i 2 na osnovu vrednosti čistog (neto) toka alternativa*

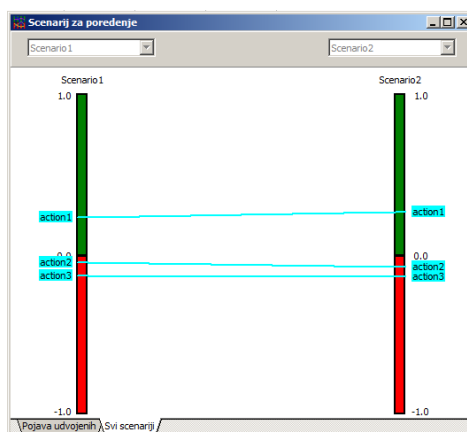


Sl. 6.25 Izgled prozora PROMETHEE Dijamant - rangiranje alternativa za merno mesto MM2 po scenarijima 1 i 2



Sl. 6.26 Izgled prozora PROMETHEE Duga - rangiranje alternativa za merno mesto MM2 po scenarijima 1 i 2

Uporedni prikaz rangiranih alternativa metodom PROMETHEE II po scenarijima predstavljen je na sl. 6.27.



Sl. 6.27 Poređenje rangiranja alternativa za merno mesto MM2 po scenarijima 1 i 2

6.6.3 IZBOR OPTIMALNE MERNE STRATEGIJE ZA MERNO MESTO MM3

Vrednosti kriterijuma za pojedine alternative su za merno mesto MM3 prikazane u tabeli 6.40 na osnovu rezultata merenja parametara buke (tabele 6.18 ÷ 6.22) i stepena iskorišćenosti merne opreme.

Tabela 6.40 Kvantifikovana matrica odlučivanja – merno mesto MM3

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9
a_1	0.91	1.04	0.76	0.82	1.2	1.2	1.1	1.0	9
a_2	0.44	0.44	0.28	0.34	1.0	1.0	0.5	0.6	4
a_3	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5
Cilj	min	min	min	min	min	min	min	min	max
w_j	0.05	0.05	0.05	0.10	0.05	0.05	0.05	0.10	0.50

Korak 1: Definisanje tipa opšteg kriterijuma i parametara za svaki pojedinačni kriterijum f_j .

Tabela 6.41 Tipovi opštih kriterijuma i vrednosti parametara preferencije i indiferencije

Kriterijum	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9
Tip opšteg kriterijuma	III	III	III	III	V	V	V	V	III
Param. p	2	2	2	2	3	3	3	3	10
Param. q	-	-	-	-	0.5	0.5	0.5	0.5	-

Korak 2: Određivanje funkcije preferencije za sve parove alternativa prema svakom kriterijumu redom.

• **Određivanje $P_j(a_1, a_s), j = 1 \div 9, s = 2, 3$**

f_1 - tip III: $p = 2$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_1, a_s)	$d = f_1(a_s) - f_1(a_1)$	$P_1(a_1, a_s)$
$s = 2$	$0.44 - 0.91 = -0.47$	0
$s = 3$	$0.00 - 0.91 = -0.91$	0

f_2 - tip III: $p = 2$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_1, a_s)	$d = f_2(a_s) - f_2(a_1)$	$P_2(a_1, a_s)$
$s = 2$	$0.44 - 1.04 = -0.60$	0
$s = 3$	$0.00 - 1.04 = -1.04$	0

f_3 - tip III: $p = 2$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_1, a_s)	$d = f_3(a_s) - f_3(a_1)$	$P_3(a_1, a_s)$
$s = 2$	$0.28 - 0.76 = -0.48$	0
$s = 3$	$0.00 - 0.76 = -0.76$	0

f_4 - tip III: $p = 2$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_1, a_s)	$d = f_4(a_s) - f_4(a_1)$	$P_4(a_1, a_s)$
$s = 2$	$0.34 - 0.82 = -0.48$	0
$s = 3$	$0.00 - 0.82 = -0.82$	0

 f_5 - tip V: $p = 3, q = 0.5$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_1, a_s)	$d = f_5(a_s) - f_5(a_1)$	$P_5(a_1, a_s)$
$s = 2$	$1.0 - 1.2 = -0.2$	0
$s = 3$	$0.0 - 1.2 = -1.2$	0

 f_6 - tip V: $p = 3, q = 0.5$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_1, a_s)	$d = f_6(a_s) - f_6(a_1)$	$P_6(a_1, a_s)$
$s = 2$	$1.0 - 1.2 = -0.2$	0
$s = 3$	$0.0 - 1.2 = -1.2$	0

 f_7 - tip V: $p = 3, q = 0.5$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_1, a_s)	$d = f_7(a_s) - f_7(a_1)$	$P_7(a_1, a_s)$
$s = 2$	$0.5 - 1.1 = -0.6$	0
$s = 3$	$0.0 - 1.1 = -1.1$	0

 f_8 - tip V: $p = 3, q = 0.5$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_1, a_s)	$d = f_8(a_s) - f_8(a_1)$	$P_8(a_1, a_s)$
$s = 2$	$0.6 - 1.0 = -0.4$	0
$s = 3$	$0.0 - 1.0 = -1.0$	0

 f_9 - tip III: $p = 10$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.1d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 10 \\ 1, & \text{ako je } d > 10 \end{cases}$$

(a_1, a_s)	$d = f_9(a_1) - f_9(a_s)$	$P_9(a_1, a_s)$
$s = 2$	$9 - 4 = 5$	0.50
$s = 3$	$9 - 1.5 = 7.5$	0.75

• **Određivanje $P_j(a_2, a_s), j = 1 \div 9, s = 1, 3$** **$f_1$ - tip III: $p = 2$**

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_2, a_s)	$d = f_1(a_s) - f_1(a_2)$	$P_1(a_2, a_s)$
$s = 1$	$0.91 - 0.44 = 0.47$	0.235
$s = 3$	$0.00 - 0.44 = -0.44$	0

 f_2 - tip III: $p = 2$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_2, a_s)	$d = f_2(a_s) - f_2(a_2)$	$P_2(a_2, a_s)$
$s = 1$	$1.04 - 0.44 = 0.60$	0.30
$s = 3$	$0.00 - 0.44 = -0.44$	0

 f_3 - tip III: $p = 2$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_2, a_s)	$d = f_3(a_s) - f_3(a_2)$	$P_3(a_2, a_s)$
$s = 1$	$0.76 - 0.28 = 0.48$	0.24
$s = 3$	$0.00 - 0.28 = -0.28$	0

f_4 - tip III: $p = 2$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_2, a_s)	$d = f_4(a_s) - f_4(a_2)$	$P_4(a_2, a_s)$
$s = 1$	$0.82 - 0.34 = 0.48$	0.24
$s = 3$	$0.00 - 0.34 = -0.34$	0

 f_5 - tip V: $p = 3, q = 0.5$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_2, a_s)	$d = f_5(a_s) - f_5(a_2)$	$P_5(a_2, a_s)$
$s = 1$	$1.2 - 1.0 = 0.2$	0
$s = 3$	$0.0 - 1.0 = -1.0$	0

 f_6 - tip V: $p = 3, q = 0.5$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_2, a_s)	$d = f_6(a_s) - f_6(a_2)$	$P_6(a_2, a_s)$
$s = 1$	$1.2 - 1.0 = 0.2$	0
$s = 3$	$0.0 - 1.0 = -1.0$	0

 f_7 - tip V: $p = 3, q = 0.5$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_2, a_s)	$d = f_7(a_s) - f_7(a_2)$	$P_7(a_2, a_s)$
$s = 1$	$1.1 - 0.5 = 0.6$	0.04
$s = 3$	$0.0 - 0.5 = -0.5$	0

 f_8 - tip V: $p = 3, q = 0.5$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_2, a_s)	$d = f_8(a_s) - f_8(a_2)$	$P_8(a_2, a_s)$
$s = 1$	$1.0 - 0.6 = 0.4$	0
$s = 3$	$0.0 - 0.6 = -0.6$	0

 f_9 - tip III: $p = 10$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.1d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 10 \\ 1, & \text{ako je } d > 10 \end{cases}$$

(a_2, a_s)	$d = f_9(a_2) - f_9(a_s)$	$P_9(a_2, a_s)$
$s = 1$	$4 - 9 = -5$	0
$s = 3$	$4 - 1.5 = 2.5$	0.25

• Određivanje $P_j(a_3, a_s), j = 1 \div 9, s = 1, 2$ **f_1 - tip III: $p = 2$**

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_3, a_s)	$d = f_1(a_s) - f_1(a_3)$	$P_1(a_3, a_s)$
$s = 1$	$0.91 - 0.00 = 0.91$	0.455
$s = 2$	$0.44 - 0.00 = 0.44$	0.22

 f_2 - tip III: $p = 2$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_3, a_s)	$d = f_2(a_s) - f_2(a_3)$	$P_2(a_3, a_s)$
$s = 1$	$1.04 - 0.00 = 1.04$	0.52
$s = 2$	$0.44 - 0.00 = 0.44$	0.22

 f_3 - tip III: $p = 2$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_3, a_s)	$d = f_3(a_s) - f_3(a_3)$	$P_3(a_3, a_s)$
$s = 1$	$0.76 - 0.00 = 0.76$	0.38
$s = 2$	$0.28 - 0.00 = 0.28$	0.14

f_4 - tip III: $p = 2$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.5d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 2 \\ 1, & \text{ako je } d > 2 \end{cases}$$

(a_3, a_s)	$d = f_4(a_s) - f_4(a_3)$	$P_4(a_3, a_s)$
$s = 1$	$0.82 - 0.00 = 0.82$	0.41
$s = 2$	$0.34 - 0.00 = 0.34$	0.17

 f_5 - tip V: $p = 3, q = 0.5$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_3, a_s)	$d = f_5(a_s) - f_5(a_3)$	$P_5(a_3, a_s)$
$s = 1$	$1.2 - 0.0 = 1.2$	0.28
$s = 2$	$1.0 - 0.0 = 1.0$	0.20

 f_6 - tip V: $p = 3, q = 0.5$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_3, a_s)	$d = f_6(a_s) - f_6(a_3)$	$P_6(a_3, a_s)$
$s = 1$	$1.2 - 0.0 = 1.2$	0.28
$s = 2$	$1.0 - 0.0 = 1.0$	0.20

 f_7 - tip V: $p = 3, q = 0.5$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_3, a_s)	$d = f_7(a_s) - f_7(a_3)$	$P_7(a_3, a_s)$
$s = 1$	$1.1 - 0.0 = 1.1$	0.24
$s = 2$	$0.5 - 0.0 = 0.5$	0

 f_8 - tip V: $p = 3, q = 0.5$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 0.5 \\ \frac{10d - 5}{25}, & \text{ako je } 0.5 < d \leq 3.0 \\ 1, & \text{ako je } d > 3.0 \end{cases}$$

(a_3, a_s)	$d = f_8(a_s) - f_8(a_3)$	$P_8(a_3, a_s)$
$s = 1$	$1.0 - 0.0 = 1.0$	0.20
$s = 2$	$0.6 - 0.0 = 0.6$	0.04

 f_9 - tip III: $p = 10$

$$P(d) = \begin{cases} 0, & \text{ako je } d < 0 \\ 0.1d, & \text{ako je } 0 \leq d \leq 10 \\ 1, & \text{ako je } d > 10 \end{cases}$$

(a_3, a_s)	$d = f_9(a_s) - f_9(a_3)$	$P_9(a_3, a_s)$
$s = 1$	$1.5 - 9 = -7.5$	0
$s = 2$	$1.5 - 4 = -3.5$	0

Tabela 6.42 Vrednosti funkcija preferencije svih parova alternativa po svakom kriterijumu – MM3

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9
$P_j(a_1, a_2)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5
$P_j(a_1, a_3)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0.75
$P_j(a_2, a_1)$	0.235	0.30	0.24	0.24	0	0	0.04	0	0
$P_j(a_2, a_3)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25
$P_j(a_3, a_1)$	0.455	0.52	0.38	0.41	0.28	0.28	0.24	0.20	0
$P_j(a_3, a_2)$	0.22	0.22	0.14	0.17	0.20	0.20	0	0.04	0
w_j	0.05	0.05	0.05	0.10	0.05	0.05	0.05	0.10	0.50

Korak 3: Određivanje indeksa preferencije za svaki par alternativa i formiranje tabele indeksa preferencije.

$$\begin{aligned}\pi(a_1, a_2) &= w_1 \cdot P_1(a_1, a_2) + w_2 \cdot P_2(a_1, a_2) + w_3 \cdot P_3(a_1, a_2) + w_4 \cdot P_4(a_1, a_2) + w_5 \cdot P_5(a_1, a_2) + w_6 \cdot P_6(a_1, a_2) + \\ &+ w_7 \cdot P_7(a_1, a_2) + w_8 \cdot P_8(a_1, a_2) + w_9 \cdot P_9(a_1, a_2) = \\ &0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + 0.5 \cdot 0.5 = \mathbf{0.250}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\pi(a_1, a_3) &= w_1 \cdot P_1(a_1, a_3) + w_2 \cdot P_2(a_1, a_3) + w_3 \cdot P_3(a_1, a_3) + w_4 \cdot P_4(a_1, a_3) + w_5 \cdot P_5(a_1, a_3) + w_6 \cdot P_6(a_1, a_3) + \\ &+ w_7 \cdot P_7(a_1, a_3) + w_8 \cdot P_8(a_1, a_3) + w_9 \cdot P_9(a_1, a_3) = \\ &0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + 0.5 \cdot 0.75 = \mathbf{0.375}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\pi(a_2, a_1) &= w_1 \cdot P_1(a_2, a_1) + w_2 \cdot P_2(a_2, a_1) + w_3 \cdot P_3(a_2, a_1) + w_4 \cdot P_4(a_2, a_1) + w_5 \cdot P_5(a_2, a_1) + w_6 \cdot P_6(a_2, a_1) + \\ &+ w_7 \cdot P_7(a_2, a_1) + w_8 \cdot P_8(a_2, a_1) + w_9 \cdot P_9(a_2, a_1) = \\ &0.05 \cdot 0.235 + 0.05 \cdot 0.3 + 0.05 \cdot 0.24 + 0.1 \cdot 0.24 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0.04 + 0.1 \cdot 0 + \\ &+ 0.5 \cdot 0 = \mathbf{0.065}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\pi(a_2, a_3) &= w_1 \cdot P_1(a_2, a_3) + w_2 \cdot P_2(a_2, a_3) + w_3 \cdot P_3(a_2, a_3) + w_4 \cdot P_4(a_2, a_3) + w_5 \cdot P_5(a_2, a_3) + w_6 \cdot P_6(a_2, a_3) + \\ &+ w_7 \cdot P_7(a_2, a_3) + w_8 \cdot P_8(a_2, a_3) + w_9 \cdot P_9(a_2, a_3) = \\ &0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0 + 0.5 \cdot 0.25 = \mathbf{0.125}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\pi(a_3, a_1) &= w_1 \cdot P_1(a_3, a_1) + w_2 \cdot P_2(a_3, a_1) + w_3 \cdot P_3(a_3, a_1) + w_4 \cdot P_4(a_3, a_1) + w_5 \cdot P_5(a_3, a_1) + w_6 \cdot P_6(a_3, a_1) + \\ &+ w_7 \cdot P_7(a_3, a_1) + w_8 \cdot P_8(a_3, a_1) + w_9 \cdot P_9(a_3, a_1) = \\ &0.05 \cdot 0.455 + 0.05 \cdot 0.52 + 0.05 \cdot 0.38 + 0.1 \cdot 0.41 + 0.05 \cdot 0.28 + 0.05 \cdot 0.28 + 0.05 \cdot 0.24 + \\ &+ 0.1 \cdot 0.2 + 0.5 \cdot 0 = \mathbf{0.169}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\pi(a_3, a_2) &= w_1 \cdot P_1(a_3, a_2) + w_2 \cdot P_2(a_3, a_2) + w_3 \cdot P_3(a_3, a_2) + w_4 \cdot P_4(a_3, a_2) + w_5 \cdot P_5(a_3, a_2) + w_6 \cdot P_6(a_3, a_2) + \\ &+ w_7 \cdot P_7(a_3, a_2) + w_8 \cdot P_8(a_3, a_2) + w_9 \cdot P_9(a_3, a_2) = \\ &0.05 \cdot 0.22 + 0.05 \cdot 0.22 + 0.05 \cdot 0.14 + 0.1 \cdot 0.17 + 0.05 \cdot 0.2 + 0.05 \cdot 0.2 + 0.05 \cdot 0 + 0.1 \cdot 0.04 + \\ &+ 0.5 \cdot 0 = \mathbf{0.070}\end{aligned}$$

Tabela 6.43 Matrica indeksa preferentnosti – MM3

	a_1	a_2	a_3
a_1	0	0.250	0.375
a_2	0.065	0	0.125
a_3	0.169	0.070	0

Korak 4: Izračunavanje vrednosti izlaznog i ulaznog toka za svaku alternativu i formiranje parcijalnog poretka upoređivanih alternativa (PROMETHEE 1).

Tabela 6.44 Formiranje izlaznih i ulaznih tokova – MM3

	a_1	a_2	a_3	Φ^+
a_1	0	0.250	0.375	0.313
a_2	0.065	0	0.125	0.095
a_3	0.169	0.070	0	0.120
Φ^-	0.117	0.160	0.250	

Korak 5: Izračunavanje vrednosti čistih tokova za sve alternative i formiranje potpunog poretka – ranga alternativa (PROMETHEE 2).

Tabela 6.45 Vrednosti čistih tokova i formiranje potpunog poretka alternativa – MM3

	Φ	Poredak
a_1	0.196	1
a_2	-0.065	2
a_3	-0.130	3

6.6.3.1 Analiza dobijenih rezultata za merno mesto MM3

1. Sproveden postupak izbora optimalne merne strategije za merno mesto MM3 ističe alternativu a_1 (sedmični interval merenja) kao najprihvatljiviju sa stanovišta postavljenih kriterijuma.
2. Potpuni poredak alternativa za mernu strategiju za merno mesto MM3 je oblika

$$a_1 \rightarrow a_2 \rightarrow a_3$$
3. Dobijeno rešenje odgovara u potpunosti postavljenom cilju istraživanja – minimizaciji vremenskog intervala merenja uz postizanje rezultata zadovoljavajuće tačnosti i preciznosti, čime se ostvaruje maksimalni stepen iskorišćenosti merne opreme.

6.6.3.2 Izbor optimalne merne strategije za merno mesto MM3 primenom programskog paketa Visual PROMETHEE

Primenom programskog paketa Visual PROMETHEE izvršena je najpre verifikacija računski dobijenih rezultata za izbor optimalne merne strategije za merno mesto MM3 (scenario 1), a zatim su u cilju valorizacije dobijenog rešenja izvršene promene tipa preferencijskih funkcija i vrednosti parametara za iste vrednosti kriterijuma (scenario 2).

Izborom funkcije preferentnosti sa linearnom preferencijom i oblašću indiferentnosti za sve kriterijume i usvajanjem manje vrednosti parametra preferentnosti u odnosu na scenario 1, u scenariju 2 su postavljeni stroži uslovi rangiranja alternativa.

Prikaz osnovnih prozora programa Visual PROMETHEE za problem izbora optimalne merne strategije za merno mesto MM3 na osnovu scenarija 1 i 2 dat je na slikama 6.28 i 6.29.

Visual PROMETHEE Academic - MM3.vpg (sačuvano)

Datoteka Uredi Model Kontrola PROMETHEE-GAIA GDSS GIS Prilagodni Pomocnici Trenutni snimci Opcije Pomoc

	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Scenario1	criterion1	criterion2	criterion3	criterion4	criterion5	criterion6	criterion7	criterion8	criterion9
Jedinica	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	1-9
Klaster/Grupa	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferencije									
Min/Max	min	min	min	min	min	min	min	min	max
Težina	0,05	0,05	0,05	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,50
Preferentna Fun.	V-oblik	V-oblik	V-oblik	V-oblik	Linearna	Linearna	Linearna	Linearna	V-oblik
Granice	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan
- Q: Indiferentnost	n/d	n/d	n/d	n/d	0,50	0,50	0,50	0,50	n/d
- P: Preferencija	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	10,00
- S: Gausova	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
Statistika									
Minimum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50
Maksimum	0,91	1,04	0,76	0,82	1,20	1,20	1,10	1,00	9,00
Prosek	0,45	0,49	0,35	0,39	0,73	0,73	0,53	0,53	4,83
Standardno odstupanje	0,37	0,43	0,31	0,34	0,52	0,52	0,45	0,41	3,12
Vrednovanja									
action1	0,91	1,04	0,76	0,82	1,20	1,20	1,10	1,00	9,00
action2	0,44	0,44	0,28	0,34	1,00	1,00	0,50	0,60	4,00
action3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50

SL. 6.28 Matrica odlučivanja za merno mesto MM3 - scenario 1

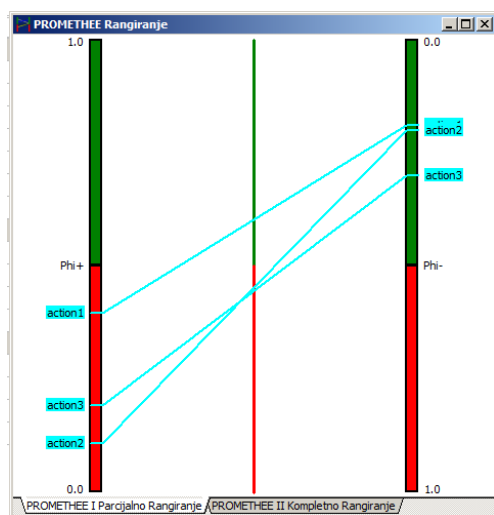
Visual PROMETHEE Academic - MM3.vpg (sačuvano)

Datoteka Uredi Model Kontrola PROMETHEE-GAIA GDSS GIS Prilagodni Pomocnici Trenutni snimci Opcije Pomoc

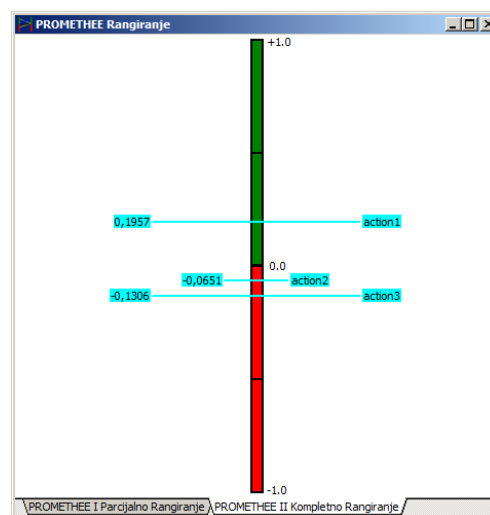
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Scenario2	criterion1	criterion2	criterion3	criterion4	criterion5	criterion6	criterion7	criterion8	criterion9
Jedinica	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	1-9
Klaster/Grupa	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferencije									
Min/Max	min	min	min	min	min	min	min	min	max
Težina	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,50
Preferentna Fun.	Linearna	Linearna	Linearna	Linearna	Linearna	Linearna	Linearna	Linearna	Linearna
Granice	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan	apsolutan
- Q: Indiferentnost	0,10	0,10	0,10	0,10	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00
- P: Preferencija	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	2,00	2,00	8,00
- S: Gausova	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
Statistika									
Minimum	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50
Maksimum	0,91	1,04	0,76	0,82	1,20	1,20	1,10	1,00	9,00
Prosek	0,48	0,49	0,35	0,39	0,73	0,73	0,53	0,53	4,83
Standardno odstupanje	0,33	0,43	0,31	0,34	0,52	0,52	0,45	0,41	3,12
Vrednovanja									
action1	0,91	1,04	0,76	0,82	1,20	1,20	1,10	1,00	9,00
action2	0,44	0,44	0,28	0,34	1,00	1,00	0,50	0,60	4,00
action3	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50

SL. 6.29 Matrica odlučivanja za merno mesto MM3 - scenario 2

Rezultati optimizacije u slučaju pojedinih scenarija su prikazani na slikama 6.30 ÷ 6.34.

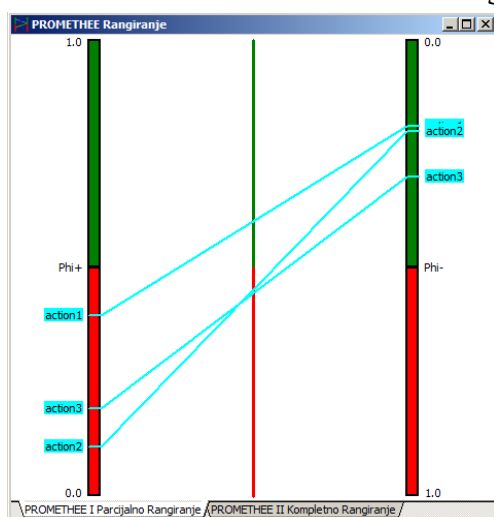


a1

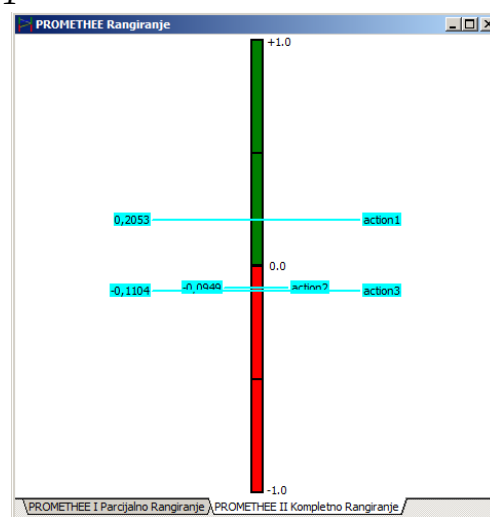


b1

Scenario 1



a2



b2

Scenario 2

Sl. 6.30 *Parcijalno (a) i kompletno (b) rangiranje alternativa metodama PROMETHEE I i PROMETHEE II za merno mesto MM3 po scenarijima 1 i 2*

PROMETHEE Tabela Toka (sl. 6.31) prikazuje rezultate izlaznih, ulaznih i čistih tokova svih alternativa i na osnovu toga njihovo kompletno rangiranje metodom PROMETHEE II.

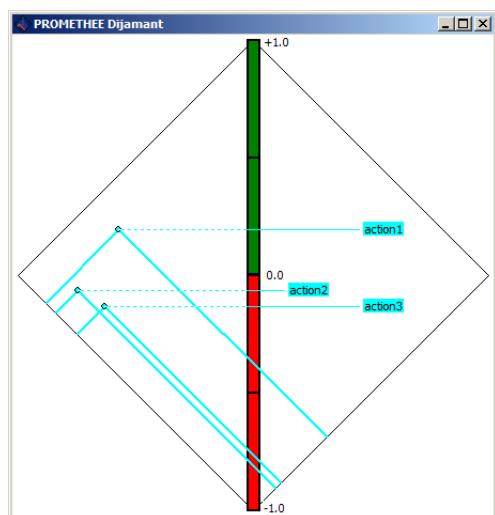
PROMETHEE Tabela Toka					
Rank	akcija	Phi	Phi+	Phi-	
1	action1	0,1958	0,3125	0,1168	
2	action2	-0,0651	0,0949	0,1600	
3	action3	-0,1306	0,1194	0,2500	

Scenario 1

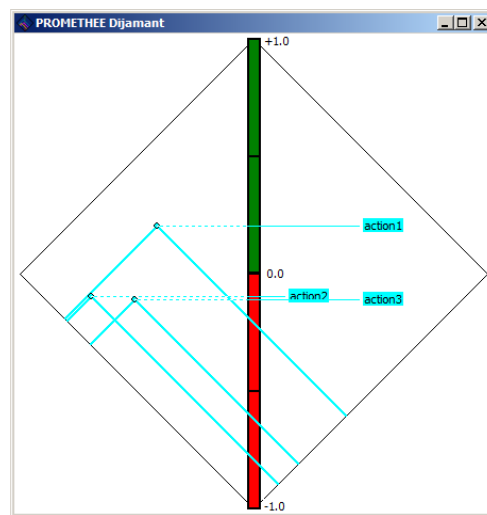
PROMETHEE Tabela Toka					
Rank	akcija	Phi	Phi+	Phi-	
1	action1	0,2053	0,3947	0,1895	
2	action2	-0,0949	0,1058	0,2007	
3	action3	-0,1104	0,1904	0,3008	

Scenario 2

Sl. 6.31 *Kompletno rangiranje alternativa metodom PROMETHEE II za merno mesto MM3 po scenarijima 1 i 2 na osnovu vrednosti čistog (neto) toka alternativa*

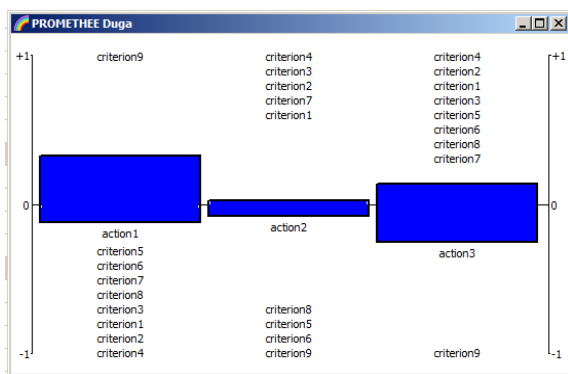


Scenario 1

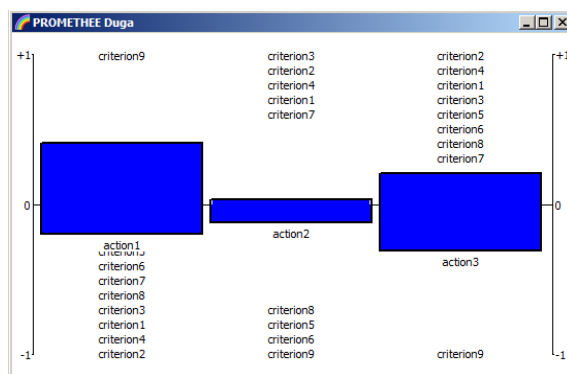


Scenario 2

Sl. 6.32 Izgled prozora PROMETHEE Dijamant - rangiranje alternativa za merno mesto MM3 po scenarijima 1 i 2



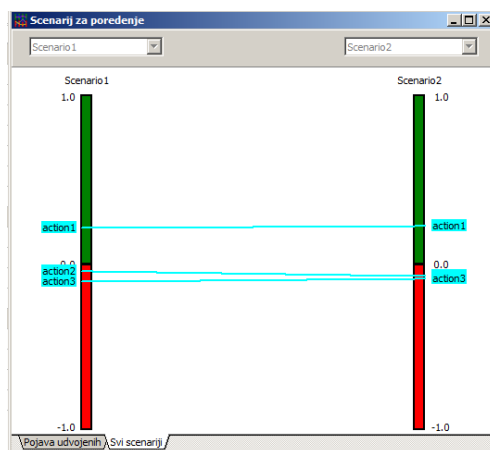
Scenario 1



Scenario 2

Sl. 6.33 Izgled prozora PROMETHEE Duga - rangiranje alternativa za merno mesto MM3 po scenarijima 1 i 2

Uporedni prikaz rangiranih alternativa metodom PROMETHEE II po scenarijima predstavljen je na sl. 6.34.



Sl. 6.34 Poređenje rangiranja alternativa za merno mesto MM3 po scenarijima 1 i 2

6.7 DISKUSIJA REZULTATA ISTRAŽIVANJA

U istraživanju je na osnovu rezultata dugotrajnih monitoringa buke na izabranim mernim mestima u cilju izbora optimalne merne strategije izvršen pokušaj maksimalne redukcije vremenskog intervala merenja za svako od mernih mesta uz poštovanje međusobno suprotstavljenih zahteva za dovoljno tačnim i preciznim rezultatima polupermanentnog monitoringa u odnosu na eksperimentalne rezultate permanentnog monitoringa sa jedne strane i stepena iskorišćenosti merne opreme sa druge strane. Za rešavanje kompleksnog postavljenog zadatka su najpre određene četiri alternative (strategije) sa različitim vremenskim intervalima merenja, a potom je formiran skup veličina (kriterijuma) čije vrednosti odslikavaju prednosti ili nedostatke pojedinih alternativa pri njihovom međusobnom poređenju. Izbor optimalne merne strategije višekriterijumski definisanog problema je potom rešavan primenom PROMETHEE metode, kao najprihvatljivije sa aspekta mogućeg izbora načina određivanja međusobnog poređenja alternativa u odnosu na prirodu i vrednosti pojedinih kriterijuma izborom adekvatnog tipa funkcije preferentnosti i definisanja vrednosti parametara indiferentnosti i preferentnosti, koje pored težinskih koeficijenata kriterijuma imaju ključnu ulogu u donošenju krajnjeg rešenja problema.

Bitna je činjenica da pojedini ekstremni rezultati merenja nekih od indikatora buke iz sedmičnih izveštaja nisu uzeti u obzir pri formiranju matrica odlučivanja, budući da je reč o vrednostima koje se bitno razlikuju od ostalih i pripisuju se izuzetno “bučnim” događajima kao posledice neuobičajeno povećane aktivnosti izvora buke na posmatranoj lokaciji u nekom kraćem vremenskom periodu, npr. tokom novogodišnjeg slavlja, sportskih i muzičkih događaja, intervencija komunalnih službi i sl., a pritom se javljaju jednom u toku godine ili izuzetno retko i pri dugotrajnim permanentnim merenjima ne utiču na vrednost godišnjih indikatora buke. Opisane vrednosti su u tabelama sa rezultatima merenja pojedinih indikatora buke, datim u prilogu 1, obeležene crvenom bojom.

Vrednosti težinskih koeficijenata postavljenih kriterijuma, kao dominantnih činioca procesa odlučivanja u datom slučaju, predstavljaju rezultat detaljne analize postavljenog problema, sagledavanja značajnosti svakog od njih ponaosob i međusobnog poređenja od strane tima stručnjaka iz oblasti istraživanja, čime se u većoj meri isključuje subjektivizam samog istraživača u procesu odlučivanja.

Rezultati istraživanja u velikoj meri zavise i od izbora tipa/oblika funkcije preferentnosti, budući da ista govori o manjoj, većoj ili istoj važnosti jedne alternative u odnosu na drugu u odnosu na dati kriterijum. Izabrane funkcije preferentnosti u istraživanju su posledica detaljne

analize kriterijumskih veličina, njihovih vrednosti i moguće osetljivosti same funkcije na minimalne promene vrednosti kriterijuma. U radu su prema datim zahtevima sprovedeni postupci izbora optimalne merne strategije za svako merno mesto kroz dva scenarija, kombinacijom dva tipa kriterijumskih funkcija.

Treći faktor koji bitno utiče na ishod postupka optimizacije predstavlja definisanje samih vrednosti parametara indifferencije q i preferencije p , što u slučaju pokušaja generalizovanja njihovih vrednosti za sva merna mesta istih ili vrlo sličnih karakteristika sa stanovišta buke predstavlja možda i najzahtevniji deo višekriterijumske analize u datom istraživanju. Sa jedne strane, mala vrednost p (tip III), ili mala razlika između q i p (tip V), podrazumeva vrlo strm izgled (veliki ugao nagiba) funkcije u oblasti $0 \leq d \leq p$, odnosno $q \leq d \leq p$, što ima za posledicu intenzivan (brži) rast preferentnosti jedne alternative u odnosu na drugu sa povećanjem vrednosti d , dok se situacija menja u suprotnom smislu za slučaj velike vrednosti p (tip III), ili velike razlike između q i p (tip V), kada je ugao nagiba funkcije u oblasti $0 \leq d \leq p$, odnosno $q \leq d \leq p$ mali, što ima za posledicu mali (spori) rast preferentnosti jedne alternative u odnosu na drugu sa povećanjem vrednosti d . Za vrednosti kriterijuma u sprovedenom istraživanju je pažljivim iterativnim postupkom formirana velika serija scenarija sa različitim vrednostima p i q , pri čemu je imajući u vidu zajedničko obeležje sva tri ispitivana merna mesta – vrlo približno saobraćajno opterećenje, moguće formirati dva scenarija sa zajedničkim vrednostima parametara p i q , s tim što se drugi scenario smatra povoljnijim u smislu preciznosti dobijenih rezultata.

Prava dugotrajna vrednost pojedinog indikatora buke ($L_{eq,true}$) zavisi od vrednosti ukupne merne nesigurnosti koju određuju merna nesigurnost zbog mernog lanca i lokacije merne tačke, merna nesigurnost zbog radnih uslova izvora, merna nesigurnost zbog meteoroloških uslova i merna nesigurnost zbog rezidualne buke. Analizom rezultata monitoringa buke na obrađivanim mernim mestima (prilog 1) zaključuje se sledeće:

1. Uticaj merne nesigurnost zbog mernog lanca i lokacije merne tačke (u_{slm}) na prave vrednosti indikatora buke se u razmatranju datog problema mogu zanemariti u delu uticaja lokacije merne tačke, budući da se merenja odnose na jedinstveno merno mesto (nema promene lokacije).
2. Uticaj merne nesigurnosti zbog radnih uslova izvora buke (u_{sou}) na prave vrednosti indikatora buke se u posmatranom slučaju odnosi na veličinu promene nivoa buke tokom vremena usled nestacionarnosti saobraćajnog opterećenja na posmatranim lokacijama.

- Odstupanja sedmičnih srednjih vrednosti pojedinih indikatora buke od pravih vrednosti pojedinih indikatora buke dobijenih dugotrajnim permanentnim monitoringom buke se za razmatrana merna mesta kreću u intervalu od 0.7 dB do 1.2 dB, što predstavlja meru tačnosti rezultata merenja strategijom sa sedmičnim intervalom merenja.
 - Meru preciznosti rezultata merenja strategije sa sedmičnim intervalom merenja predstavlja vrednost standardne devijacije izmerenih vrednosti nivoa pojedinih indikatora buke, koja se za razmatrana merna mesta kreće u granicama od 0.3 dB do 1 dB.
3. Uticaj merne nesigurnosti zbog meteoroloških uslova (u_{met}) na prave vrednosti indikatora buke je delom iskazan kroz vrednost standardne devijacije izmerenih sedmičnih vrednosti indikatora buke i može se zanemariti u slučaju predmetnog istraživanja.
4. Uticaj merne nesigurnosti zbog rezidualne buke (u_{res}) na prave vrednosti indikatora buke se zanemaruje, budući da su vrednosti nivoa buke drumskog saobraćaja na ispitivanim lokacijama za više od 10 dB iznad nivoa rezidualne buke.

Navedeni zaključci ukazuju na činjenicu da su jedini faktori merne nesigurnosti merna nesigurnost zbog mernog lanca i nestacionarnost saobraćajnog opterećenja koji su predstavljeni standardnom devijacijom sedmičnih vrednosti indikatora buke na pojedinim mernim mestima.

Tačnost i preciznost vrednosti indikatora buke na posmatranim mernim mestima, dobijenih izabranom mernom strategijom sa sedmičnim intervalom merenja, odgovaraju postavljenoj hipotezi na početku istraživanja u smislu definisane vrednosti odstupanja srednjih vrednosti pojedinih indikatora buke dobijenih polupermanentnim monitoringom od pravih vrednosti pojedinih indikatora buke dobijenih permanentnim monitoringom buke do najviše 1,5 dB, kao i definisane vrednosti standardne devijacije izmerenih vrednosti nivoa pojedinih indikatora buke tokom polupermanentnog monitoringa do 1 dB.

Razvijena metodologija za izbor vremenskog intervala merenja polupermanentnog monitoringa buke u svrhu procene godišnje vrednosti indikatora buke, analizirana i potvrđena u radu za tri merna mesta sa vrlo približnim saobraćajnim opterećenjem od oko 1 000 [vozila/sat], ukazuje na sedmični interval merenja buke kao optimalno rešenje sa stanovišta postavljenih kriterijuma.

Budući da meteorološki uslovi nemaju uticaj na rezultate sprovedenih dugotrajnih merenja buke na ispitivanim lokacijama, pri izboru sedmice za monitoring buke na lokacijama sa saobraćajnim opterećenjem od 1 000 i više vozila na sat i ostalim sličnim karakteristikama, bitno je voditi računa da u planiranom periodu (sedmici) za realizaciju monitoringa buke na datoj lokaciji ne bude manifestacija ili događaja koji mogu da utiču na kvalitet rezultata merenja.

7

Zaključak

OSTVARENI REZULTATI U ISTRAŽIVANJU I ZAKLJUČCI
DOPRINOS DISERTACIJE - OBLAST PRAKTIČNE PRIMENE RADA
MOGUĆNOSTI ZA DALJA ISTRAŽIVANJA

VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMIZACIJA IZBORA MERNE STRATEGIJE ZA PROCENU
DUGOTRAJNE VREDNOSTI INDIKATORA BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI

Nezadovoljavajuće stanje indikatora buke u životnoj sredini, naročito u velikim gradskim sredinama, posledica je pre svega neprestanog povećanja broja gradskog stanovništva i time intenzivnog povećanja obima drumskog saobraćaja u okvirima uglavnom postojećih infrastrukturnih kapaciteta. Procenat stanovnika evropskih gradova koji su izloženi prekomernoj buci, kao i podatak o proceni negativnih promena u predstojećem periodu, suočava javnost sa problemom buke kao ozbiljnijim činiocem narušavanja kvaliteta života i postavlja zahteve za organizovanjem planskih aktivnosti na njegovom rešavanju. Iz tog razloga, svetska zajednica pokreće brojne inicijative i akcije za kontrolu zagađenosti životne sredine bukom i njeno suzbijanje kroz mere na samim izvorima buke, putevima prenošenja i mestima prijema. Na evropskom nivou je razvijeno više modela za praćenje stanja buke u životnoj sredini koja potiče od različitih izvora, a posebna pažnja se poklanja drumskom saobraćaju kao dominantnom izvoru buke. Takođe, usvojen je i skup normi i akata u vidu direktiva, zakona, procedura, standarda i uputstava sa ciljem harmonizacije i usklađenog delovanja u borbi protiv buke.

Rešavanje problema buke u životnoj sredini podrazumeva pre svega poznavanje aktuelnog stanja nivoa buke na lokacijama od interesa, kao i procenu trenda promena nivoa buke u bližoj i daljoj budućnosti u funkciji sagledavanja posledica na zdravlje izloženog stanovništva. Kao polazni dokument se u tu svrhu koriste strateške karte buke, čija izrada predstavlja izuzetno kompleksan, obiman i zahtevan posao u smislu potrebe za angažovanjem šire društvene zajednice i timova eksperata različitih struka i profila. Uz to, formiranje i održavanje strateške karte buke kao “živog” dokumenta koji iziskuje stalno ili periodično ažuriranje podataka, zahteva između ostalog i znatna finansijska sredstva za sofisticiranu mernu i prateću opremu koja odgovara konkretnim potrebama.

Osnovne indikatore buke čine indikator buke za celodnevni period i indikator buke za noćni period, čije se godišnje vrednosti dobijene procenom nekom od adekvatnih metoda unose u stratešku kartu buke. Poznavanje godišnjih vrednosti dodatnih indikatora buke pozitivno utiče na kvalitet strateške karte buke sa aspekta raspolaganja više informacija o stanju nivoa buke na datoj lokaciji u različitim delovima dana. Tačne vrednosti indikatora buke se za svako merno mesto dobijaju dugotrajnim permanentnim monitoringom buke tokom cele kalendarske godine, što za posledicu ima godišnje angažovanje merne opreme za jedno merno mesto. Dobijene vrednosti se koriste za kalibraciju prethodno kreiranih strateških karata buke.

7.1 OSTVARENI REZULTATI U ISTRAŽIVANJU I ZAKLJUČCI

Činjenica da grad Niš sa svojih pet opština, teritorijom površine oko 600 000 km² i oko 250 000 stanovnika ima potrebu za poznavanjem godišnjih vrednosti indikatora buke na više od 30 lokacija, a da pritom u datom trenutku na raspolaganju stoje dve stanice za dugotrajni monitoring buke, poslužila je kao motivacija za istraživanjem mogućnosti dobijanja rezultata o vrednostima indikatora buke zadovoljavajuće tačnosti i preciznosti sprovođenjem polupermanentnih monitoringa sa znatno kraćim vremenskim intervalima merenja od godinu dana. Za potrebe verifikacije ovako postavljene hipoteze su u prethodne dve godine pomoću dve monitoring stanice sprovedeni postupci dugotrajnog monitoringa buke na više lokacija od interesa, pri čemu su kao značajne za predmetno istraživanje izdvojene tri, sa zajedničkim obeležjem u pogledu stepena saobraćajnog opterećenja. Rezultati merenja su predstavljali osnovu analitičkog zaključivanja i bazu podataka za formiranje matrica odlučivanja pri višekriterijumskoj optimizaciji za izbor merne strategije sa minimalnim vremenskim intervalom merenja koji će obezbediti postavljene zahteve u hipotezi.

Primenom višekriterijumske optimizacije za rešavanje označenog problema u doktorskoj disertaciji dobijeni su originalni rezultati na osnovu kojih se mogu formirati sledeći zaključci:

1. Primena metoda višekriterijumske optimizacije predstavlja kvalitativni pomak u donošenju odluka o primeni adekvatne strategije merenja u smislu dužine vremenskog intervala merenja indikatora buke na osnovu zadatih kriterijuma i postavljenih ograničenja sa ciljem stvaranja uslova za maksimalnu eksploataciju raspoložive merne opreme.
2. Na izbor optimalnog rešenja utiču sledeći faktori:
 - Izbor same metode za postupak višekriterijumske optimizacije označenog problema u istraživanju u smislu osetljivosti metode na zadate kriterijume i očekivane ishode.

Primena PROMETHEE metode za višekriterijumsku analizu raspoložive baze eksperimentalnih podataka, uz mogućnost definisanja uslova i parametara koji dodatno utiču na izbor optimalne merne strategije, predstavlja potpuno prihvatljivo rešenje sa aspekta definisanih ciljeva i očekivanih rezultata istraživanja.

- Subjektivizam istraživača kao nezaobilazna pojava u procesu višekriterijumskog odlučivanja iskazana kroz lični stav i preferentnost ka određenim varijantnim rešenjima.

Rešenje za objektivnim pristupom u sagledavanju problema izbora optimalne merne strategije je potraženo kroz mišljenja i stavove stručnjaka iz oblasti istraživanja definisanjem značajnosti pojedinih kriterijuma nezavisnim pristupom problemu svakog od člana stručnog tima.

3. Izbor merne strategije sa sedmičnim intervalom merenja zadovoljava postavljenu hipotezu na početku istraživanja da je kraćim vremenskim intervalom merenja indikatora buke od godišnjeg intervala merenja moguće obezbediti informaciju o vrednostima indikatora buke koje bitno ne odstupaju od pravih vrednosti i kreću se u definisanim granicama tačnosti od 1,5 dB i preciznosti od 1 dB.
4. Merna strategija za procenu godišnje vrednosti indikatora buke sa sedmičnim intervalom merenja, dobijena kao optimalno rešenje u sprovedenom istraživanju, odnosi se na “bučne” gradske lokacije sa saobraćajnim opterećenjem od 1 000 i više vozila/sat u kojima buka drumskog saobraćaja predstavlja dominantni izvor buke u životnoj sredini i faktor prekoračenja propisanih graničnih vrednosti indikatora buke.
5. Klimatski uslovi u kojima je realizovan dugotrajni monitoring buke na lokacijama od značaja za istraživanje, sa relativno blagim promenama meteoroloških uslova tokom godine, ne utiču na vrednosti indikatora buke, zbog čega se za sprovođenje merenja može izabrati bilo koja sedmica tokom godine.
6. Ograničenja prilikom izbora sedmice za realizaciju merenja čine praznici i planirane manifestacije na mernoj lokaciji tokom kojih se očekuje povećana akustička aktivnost.

7.2 DOPRINOS DISERTACIJE – OBLAST PRAKTIČNE PRIMENE RADA

Pristup istraživanja u doktorskoj disertaciji predstavlja novi originalan način rešavanja problema izbora merne strategije za određivanje godišnjih vrednosti indikatora buke primenom metoda za višekriterijumsku optimizaciju.

Ostvareni rezultati u doktorskoj disertaciji stvaraju mogućnost ekonomičnog korišćenja raspoložive merne opreme – utiču na efikasnost monitoringa buke kroz mogućnost obrade većeg broja lokacija u toku godine istom mernom opremom, kao i na efektivnost s obzirom

na to da u kraćim vremenskim intervalima obezbeđuju dovoljno tačne i precizne podatke o vrednostima indikatora buke na obrađivanim lokacijama.

Kao polazna tačka, rezultati doktorske disertacije se mogu nakon analize i provere za konkretne slučajeve uvrstiti u Programe monitoringa buke u životnoj sredini na teritoriji svih lokalnih samouprava na teritoriji Republike Srbije koje su u obavezi da sprovedu njegovu realizaciju.

Budući da strategija utvrđivanja godišnjih vrednosti indikatora buke sa stanovišta dužine intervala merenja nije definisana ni na evropskom nivou, rezultati i metodologija koji su prikazani u doktorskoj disertaciji mogu da posluže kao osnova za razvoj novog originalnog koncepta utvrđivanja godišnjih vrednosti indikatora buke u životnoj sredini prema različitim kategorijama mernih lokacija sa stanovišta saobraćajnog opterećenja.

7.3 MOGUĆNOST ZA DALJA ISTRAŽIVANJA

Rezultati koji su prikazani u doktorskoj disertaciji se odnose na tri konkretne lokacije sa saobraćajnim opterećenjem od približno 1 000 vozila/sat. Verifikaciju iznetih rezultata i zaključaka potrebno je u narednim istraživanjima potražiti kroz primenu u sledećim okolnostima:

- na saobraćajnicama sličnog opterećenja, geometrije i konfiguracije terena u drugim gradovima,
- na saobraćajnicama sličnog opterećenja i geometrije, a različite konfiguracije terena,
- na saobraćajnicama sličnog opterećenja, a različite geometrije i konfiguracije terena.

Istraživanje je potrebno sprovesti na isti način i za saobraćajnice manjeg opterećenja, kada se zbog izraženijih promena nivoa buke tokom vremena očekuje potreba za dužim intervalima merenja od sedmičnih.

Problem izbora merne strategije za procenu godišnje vrednosti indikatora buke u životnoj sredini je u doktorskoj disertaciji rešavan primenom PROMETHEE metode, kojom je moguće obuhvatiti sve relevantne zahteve postavljene od strane istraživača. Međutim, za dodatnu verifikaciju postavljene hipoteze, kao i za proveru i upoređivanje dobijenih rezultata u istraživanju, isti zadatak je potrebno rešavati još nekim od metoda višekriterijumske optimizacije koje odgovaraju strukturi izloženog problema.

Literatura

VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMIZACIJA IZBORA MERNE STRATEGIJE ZA PROCENU
DUGOTRAJNE VREDNOSTI INDIKATORA BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI

- [1] Abbaspour M., Golmohammadi R., Nassiri P. and Mahjub H.: „An investigation on time-interval optimisation of traffic noise measurement”, Research note, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, 25(4), 267–273, 2006
- [2] Bengtsson J. and Waye P.K.: „Assessments of low frequency noise complaints among the local Environmental Health Authorities and a follow-up study 14 years later”, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, 22(1), 9–16, 2003
- [3] Berglund B., Lindvall T., Schwela H.D.: „Guidelines for Community Noise”, World Health Organization (WHO) document, London, 1999
- [4] Berglund, B.; Lindvall, T.: „Community Noise”, Archives of the Center for Sensory Research, Vol. 2, Issue 1, Stockholm University and Karolinska Institute, Stockholm, 1995
- [5] Bhusari P. and Asutkar G.M.: „Design of noise pollution monitoring system using wireless sensor network”, International Journal of Software and Web Sciences, 13(220), 55–57, 2013
- [6] BIMP/IEC/IFCC/ISO/IUPAP/OIML: „GUM - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurements”, International Organisation for Standardisation, Geneva, Switzerland, 1995
- [7] Commission of the European Communities: „The Fifth Environmental Action Programme”, 1993
- [8] COWI d.o.o. Beograd: „Studija provere kapaciteta saobraćajne mreže grada Niša za izradu Generalnog plana Niša”, Knjiga 1: „Istraživanje karakteristika saobraćajnih tokova”, 2010.
- [9] COWI d.o.o. Beograd: „Studija provere kapaciteta saobraćajne mreže grada Niša za izradu Generalnog plana Niša”, Knjiga 2: „Završni izveštaj”, 2010.
- [10] Craven N.J. and Kerry G.: „A good practice guide on the source and magnitude of uncertainty arising in the practical measurement of environmental noise”, University of Salford, ISBN: 0-9541649-3, 2007
- [11] D'Hondt E., Stevens M. and Jacobs A.: “Participatory noise mapping works! An evaluation of participatory sensing as an alternative to standard techniques for environmental monitoring”, Pervasive and Mobile Computing, 9(5), 681–694, 2013
- [12] De Graaff D.F.: „A speed and acceleration limit in the noise type approval of vehicles will enable silent cars to reveal their silence”, The 30th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering – Internoise 2001, Hag, Holandija, 2001
- [13] Directive 2002/49/EC of the European Parliament and the Council relating to the assessment and management of environmental noise, Official Journal of the European Communities, L 189, 45, <http://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?uri=CELEX:32002L0049>, 2002

-
- [14] Doygum H. and Gurun D.K.: „Analysing and mapping spatial and temporal dynamics of urban traffic noise pollution: a case study in Kahramanmaraş, Turkey”, *Environmental Monitoring and Assessment*, 142(1-3), 65–72, 2008
- [15] Dragičević V.; Lakušić S.; Rukavina T., Kecur R.: „The impact of reconstruction and traffic regulation on the noise level”, *The 33rd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering – Internoise 2004*, Paper No. 254, Prag, Česka Republika, 2004
- [16] European Commission Working Group 5: „Inventory of noise mitigation methods”, Brussels, 2002
- [17] European Commission: „Green Paper - Future Noise policy”, 1996
- [18] European Commission: „Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance”, European Commission, Office for Official Publications of the European Communities: Luxembourg, 2002
- [19] European Commission: „Position paper on EU noise indicators”, ISBN 92-828-8953-X, Belgium, 2000
- [20] European Environment Agency – EEA: „Environment in the European Union at the turn of the century”, Copenhagen, Denmark, 1999
- [21] Foort de Roo: „New EU and UN/ECE Vehicle noise emission limits and associated measurement methods”, *Inter Noise „Noise control for quality of life”*, Innsbruck, Austria, 2013
- [22] Georgiadou E., Kourtidis K. and Ziomas I.: „Exploratory traffic noise measurements at five main streets of Thessaloniki, Greece”, *Global Nest I International Journal*, 6(1), 53–61, 2004
- [23] HARMONOISE report, HAR25MO-020723-DLR01: „On a meteorological classification for long term noise calculations”, 2002
- [24] Hellmuth T., Classen T., Kim R., Kephelopoulos S., „Methodological guidance for estimating the burden of disease from environmental noise”, WHO Regional Office for Europe Denmark, 2012
- [25] IMAGINE project, Deliverable 5: „Determination of L_{den} and L_{night} using measurements”, http://www.certificacioacustica.cat/Documents/Articles/D5_IMA32TR-040510-SP08.pdf, 2011
- [26] IMAGINE report, IMA30TR-061016-JRC01: „Test of the measurement standard concerning the determination of L_{den} and L_{night} ”, 2006
- [27] ISO 21748: „Guidance for the use of repeatability, reproducibility and trueness estimates in measurement uncertainty estimation”, ISO copyright office, 2010
- [28] Jamrah A., Al-Omari A. and Sharabi R.: „Evaluation of traffic noise pollution in Amman, Jordan”, *Environmental Monitoring and Assessment*, 120(1-3), 499–525, 2006
-

-
- [29] Jonasson H.G.: „Determination of L_{den} using measurements”, Euronoise 2006, Tampere, 2006
- [30] Jonasson H.G.: „Uncertainties in Measurements of Environmental Noise”, Symposium on Managing Uncertainty in Noise Measurement and Prediction, Le Mans, France, 2005
- [31] Kephalphoulus S., Knauss D. and Bérengier M.: „Uncertainties in long-term road noise monitoring including meteorological variations”, Symposium on Managing Uncertainty in Noise Measurement and Prediction, Le Mans, France, 2005
- [32] Kooperatives Lärmsanierungsverfahren, initiierung und begleitung der pilotprojekte, Endbericht, SYLVIE - SYatisch Lärm-sanierung von innerstädtischen WohnVIerteln, Wiena, 2002
- [33] Korfali S.I. and Massoud M.: „Assessment of community noise problem in greater Beirut area, Lebanon”, Environmental Monitoring and Assessment, 84(3), 203–218, 2003
- [34] Lakušić S., Dragičević V., Rukavina T.: „Mjere za smanjenje buke od prometa u urbanim sredinama”, Građevinar 57 (2005) 1, 1-9, UDK 699.844:711.45, 2005
- [35] Lazić M.: „Menadžment merenjima i merna nesigurnost”, Festival kvaliteta 2011, 38. Nacionalna konferencija o kvalitetu, ISBN: 987-86-86663-69-6, Kragujevac, 2011
- [36] Litzka J.; Jürgen H.: „Actual research on noise reduction road surfaces”, 7th Slovenian Road and Transportation Congress, Portorož, Slovenija, 2004
- [37] Lovrić M., Komić J., Stević S.: „Statistička analiza - metodi i primjena”, Ekonomski fakultet u Banja Luci, Banja Luka, 2006
- [38] Lovrić M.: „Osnovi statistike”, Ekonomski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2008
- [39] Manvell D. and Afialo E.: „Uncertainties in environmental noise assessments – ISO 1996, Effects of Instrument Class and Residual Sound”, Forum Acousticum, Budapest, 2005
- [40] McKeown A., Parry A.R., Ferne B.W., Willett M.R., Mercer J.: „Improving the longitudinal profile and evenness of asphalt pavements”, 4th International symposium on pavement surface characteristics of roads and airfields, pp. 33-42, Nantes, France, 2000.
- [41] Mihajlov D., Praščević M.: „Permanent and Semi-permanent Road Traffic Noise Monitoring in the City of Nis (Serbia)”, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, Vol. 34, Issue 3, pp. 251-268, doi: 10.1260/0263-0923.34.3.251, 2015
- [42] Milošević S., Bijelović S., Živadinović E., Jevtić M. and Popović M.: „Continuous environmental noise measurement in the city of Novi Sad in April 2010”, Proceedings of 22nd Conference with International Conference “Noise and Vibration”, 49–52, Faculty of occupational safety, Niš, 2010.
- [43] Mortensen F.R. and Poulsen T.: „Annoyance of low frequency noise and traffic noise”, Research Note, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, 20(3), 193–196, 2001
-

-
- [44] Murphy E., King E.A.: „Strategic environmental noise mapping: methodological issues concerning the implementation of the EU Environmental Noise Directive and their policy implications”, *Environment International journal*, 36(5), 290–298, 2010
- [45] Nassiri P., Dehrashild A.S., Hashemi M. and Shalkouhi P.J.: „Traffic noise prediction and the influence of vehicle horn Noise”, *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 32(4), 285–292, 2013
- [46] Nikolić I., Borović S.: „Višekriterijumska optimizacija”, p 3-88, Beograd, 1996
- [47] Oliviera L.M.L. and Rodrigues J.J.P.C.: „Wireless sensor networks: a survey on environmental monitoring”, *Journal of Communications*, 6(2), 143–151, 2001
- [48] Omokhodion F.O., Ekanem S.U. and Uchendu O.C.: „Noise levels and hearing impairment in an urban community in Ibadan, Southwest Nigeria”, *Journal of Public Health*, 16(6), 399–402, 2008
- [49] Opricović S.: „Optimizacija sistema”, Građevinski fakultet u Beogradu, Beograd, 1992
- [50] Opricović S.: „Višekriterijumska optimizacija sistema u građevinarstvu”, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1998
- [51] Pandya G.H.: „Urban noise - A need for acoustic planning”, *Environmental Monitoring and Assessment*, 67(3), 379–388, 2001
- [52] Paviotti M. and Kephalopoulos S.: „Expected mean in an environmental noise measurement and its related uncertainty”, *Proceedings of Acoustics `08*, SFA, France, 851–856, 2008
- [53] Paviotti M.: „Evaluation of the meteorological uncertainties of the Harmonoise and Imagine project noise measurements”, *Euronoise 2006*, Tampere, 2005.
- [54] Phillips S., Kinsey P.: „Aspects of vehicle and traffic noise control”, *UBA Workshop – Further noise reduction for motorised road vehicles*, Berlin, 2001
- [55] Pljakić M., Radičević B., Tomić J. and Petrović Z.: „Analysis of systematic measurements of noise in cities”, *Proceedings of 23rd Conference with International Conference “Noise and Vibration”*, Faculty of occupational safety, Niš, 59–62, 2012
- [56] Podor A. and Revesz A.: „Noise map: professional versus crowdsourced data”, *Proceeding of AGILE 2014, International Conference on Geographic Information Science*, Castellon, ISBN: 978-90-816960-4-3, 2014
- [57] Praščević M., Cvetković D. and Mihajlov D.: „Measurement and evaluation of the environmental noise levels in the urban areas of the city of Niš (Serbia)”, *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(2), 1157–1165, 2014
- [58] Ruggiero A., Senatore A., D’Agostino and Lenza T.: „On the determination of the uncertainty in environmental noise measurements”, *Recent Advances in Acoustics & Music*, 225-230, ISBN: 978-960-474-192-2
- [59] Santini S. and Vitaletti A.: „Wireless sensor networks for environmental noise monitoring”, *GI/ITG Workshop on Sensor Networks*, Aachen, Germany, 2007
-

-
- [60] Službeni glasnik RS br. 75/10.2010: „Uredba o indikatorima buke, graničnim vrednostima, metodama za ocenjivanje indikatora buke, uznemiravanja i štetnih efekata buke u životnoj sredini”, Srbija, 2010
- [61] Službeni glasnik RS br. 36/09 i 88/10: “Zakon o zaštiti od buke u životnoj sredini“, 2010
- [62] SRPS ISO 10012: „Sistem menadžmenta merenjem - Zahtevi za procese merenja i opremu za merenje”, Institut za standardizaciju Srbije, 2007
- [63] SRPS ISO 17025: „Opšti zahtevi za kompetentnost laboratorija za ispitivanje i laboratorija za etaloniranje” / 5. Tehnički zahtevi / 5.4.6 Procena merne nesigurnosti; Institut za standardizaciju Srbije, 2006
- [64] SRPS ISO 1996-1:2010: „Akustika – Opisivanje, merenje i ocenjivanje buke u životnoj sredini – Deo 1: Osnovne veličine i procedure ocenjivanja”, Institut za standardizaciju Srbije, 2010
- [65] SRPS ISO 1996-2:2010: „Akustika – Opisivanje, merenje i ocenjivanje buke u životnoj sredini – Deo 2: Određivanje nivoa buke u životnoj sredini”, Institut za standardizaciju Srbije, 2010
- [66] Technical documentation – Environmental Noise Management System Software Type 7843, version 2.8.1, Bruel&Kjaer, BE 1767-15, 2010.
- [67] Technical documentation – Noise Monitoring terminal Types 3639-A, 3639-B and 3639-C with Hand-held Analyzer Type 2250-N or Hand-held Analyzer Type 2250-N-D00, version 4.1.1, Bruel&Kjaer, BE 1818-17, 2013.
- [68] Theebe M.A.: „Planes, trains, and automobiles: The impact of traffic noise on house prices”, The Journal of Real Estate Finance and Economics 28(2-3), pp. 209–234, 2004
- [69] Vos P. and Licitra G.: „Noise maps in the European Union: An overview”, In G. Licitra (Ed.), „Noise mapping in EU: Models and Procedures”, 1st edition., CRC Press, USA, 2012
- [70] Vujošević M.: „Uvod u optimizaciju”, Beograd, 2012
- [71] Watts G.R.: „Traffic Noise Barriers”, TRL Annual Review, 1995
- [72] World Health Organization (WHO): „Night noise guidelines for Europe”, ISBN 978 92 890 4173 7, Denmark, 2009
- [73] Zatežić M., Mujić Dž., Biočanin I.: „Saobraćaj i životna sredina u sistemu kvaliteta”, 1st International Conference „Ecological safety in post-modern environment”, Banja Luka, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina, 2009

Internet izvori:

- [74] <http://www.promethee-gaia.net/software.html>

Prilozi

VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMIZACIJA IZBORA MERNE STRATEGIJE ZA PROCENU
DUGOTRAJNE VREDNOSTI INDIKATORA BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI

PRILOG 1: PRIKAZ REZULTATA DUGOTRAJNOG MONITORINGA BUKE

Rezultati merenja parametara buke za merno mesto MM1 - 2014. god.

Tabela P1.1 *Sedmični izveštaji (ponedeljak – nedelja) – MM1/2014.*

Početak	Kraj	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
30.12.13	06.01.14	72.7	72.0	68.4	76.1
06.01.14	13.01.14	72.8	71.5	67.6	75.6
13.01.14	20.01.14	73.1	72.2	68.0	76.0
20.01.14	27.01.14	73.6	72.4	68.5	76.4
27.01.14	03.02.14	73.4	71.9	67.2	75.6
03.02.14	10.02.14	73.2	71.9	67.7	75.8
10.02.14	17.02.14	73.0	71.9	67.7	75.7
17.02.14	24.02.14	73.0	71.9	67.7	75.8
24.02.14	03.03.14	73.4	72.3	68.0	76.1
03.03.14	10.03.14	73.5	72.1	68.0	76.1
10.03.14	17.03.14	73.2	72.0	68.0	76.0
17.03.14	24.03.14	73.2	72.0	67.6	75.8
24.03.14	31.03.14	73.2	72.1	68.0	76.0
31.03.14	07.04.14	73.1	72.0	67.8	75.9
07.04.14	14.04.14	73.4	72.2	68.2	76.2
14.04.14	21.04.14	73.8	72.9	68.9	76.8
21.04.14	28.04.14	73.0	72.1	67.9	75.9
28.04.14	05.05.14	72.9	72.2	68.1	76.0
05.05.14	12.05.14	73.1	72.2	68.1	76.1
12.05.14	19.05.14	74.0	72.3	68.7	76.7
19.05.14	26.05.14	73.1	72.0	68.0	76.0
26.05.14	02.06.14	73.2	72.7	68.1	76.2
02.06.14	09.06.14	73.2	72.1	68.3	76.2
09.06.14	16.06.14	73.1	72.1	68.1	76.0
16.06.14	23.06.14	73.2	72.1	68.2	76.1
23.06.14	30.06.14	72.8	71.7	68.0	75.8
30.06.14	07.07.14	72.7	71.7	67.7	75.7
07.07.14	14.07.14	72.7	71.8	67.7	75.6
14.07.14	21.07.14	72.7	72.2	67.8	75.8
21.07.14	28.07.14	72.6	73.0	68.0	76.1
28.07.14	04.08.14	72.8	71.9	68.0	75.9
04.08.14	11.08.14	72.8	72.1	67.9	75.9
11.08.14	18.08.14	72.7	71.8	69.1	76.5
18.08.14	25.08.14	72.8	72.0	68.0	75.9
25.08.14	01.09.14	72.9	71.9	67.9	75.9
01.09.14	08.09.14	73.0	72.0	67.6	75.7
08.09.14	15.09.14	73.0	71.9	68.6	76.3

Nastavak tabele P1.1

15.09.14	22.09.14	73.0	72.1	67.8	75.8
22.09.14	29.09.14	73.4	71.9	67.8	75.9
29.09.14	06.10.14	73.1	71.9	68.7	76.3
06.10.14	13.10.14	73.2	72.1	67.7	75.9
13.10.14	20.10.14	73.0	72.0	67.7	75.8
20.10.14	27.10.14	73.5	71.8	68.0	76.0
27.10.14	03.11.14	73.2	72.2	67.7	75.9
03.11.14	10.11.14	72.9	71.8	67.4	75.6
10.11.14	17.11.14	72.6	71.5	67.3	75.4
17.11.14	24.11.14	73.2	72.8	67.9	76.1
24.11.14	01.12.14	73.6	72.2	67.7	76.0
01.12.14	08.12.14	73.7	72.4	68.2	76.3
08.12.14	15.12.14	73.6	72.4	68.3	76.3
15.12.14	22.12.14	73.1	71.7	67.6	75.7
22.12.14	29.12.14	73.5	72.6	68.2	76.3
	srednja vr.	73.1	72.1	68.0	76.0
	stdev.s	0.32	0.31	0.37	0.27
	stdev.p	0.32	0.31	0.37	0.27
	max	74.0	73.0	69.1	76.8
	min	72.6	71.5	67.2	75.4

Tabela P1.2 Mesečni izveštaji – MM1/2014.

	<i>L_{day}</i>	<i>L_{evening}</i>	<i>L_{night}</i>	<i>L_{den}</i>
Januar 2014.	73.1	71.9	67.9	75.9
Februar 2014.	73.1	71.9	67.7	75.8
Mart 2014.	73.3	72.1	67.9	76.0
April 2014.	73.4	72.4	68.3	76.3
Maj 2014.	73.3	72.3	68.1	76.2
Jun 2014.	73.0	72.0	68.1	76.0
Jul 2014.	72.8	72.2	67.8	75.8
Avgust 2014.	72.7	71.9	68.2	76.0
Septembar 2014.	73.1	72.0	67.9	75.9
Oktobar 2014.	73.2	72.1	68.0	76.0
Novembar 2014.	73.0	72.0	67.6	75.7
Decembar 2014.	73.3	72.4	68.2	76.2
srednja vr.	73.1	72.1	68.0	76.0
stdev.s	0.20	0.17	0.22	0.17
stdev.p	0.19	0.17	0.21	0.17
max	73.4	72.4	68.3	76.3
min	72.7	71.9	67.6	75.7

Tabela P1.3 Polugodišnji izveštaji – MM1/2014.

	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
I	73.2	72.1	68.0	76.0
II	73.0	72.1	68.0	76.0
srednja vr.	73.1	72.1	68.0	76.0
stdev.p	0.1	0	0	0
max	73.2	72.1	68.0	76.0
min	73.0	72.1	68.0	76.0

Tabela P1.4 Godišnji izveštaj – MM1/2014.

L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
73.1	72.1	68.0	76.0

Tabela P1.5 Odstupanja sedmičnih od godišnjih vrednosti- MM1/2014.

Početak	Kraj	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
30.12.13	06.01.14	-0.4	-0.1	0.4	0.1
06.01.14	13.01.14	-0.3	-0.6	-0.4	-0.4
13.01.14	20.01.14	0.0	0.1	0.0	0.0
20.01.14	27.01.14	0.5	0.3	0.5	0.4
27.01.14	03.02.14	0.3	-0.2	-0.8	-0.4
03.02.14	10.02.14	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3
10.02.14	17.02.14	0.4	0.0	0.0	0.1
17.02.14	24.02.14	0.1	-0.1	0.0	0.0
24.02.14	03.03.14	0.1	0.0	0.0	0.0
03.03.14	10.03.14	0.3	0.1	0.2	0.2
10.03.14	17.03.14	0.7	0.8	0.9	0.8
17.03.14	24.03.14	-0.1	0.0	-0.1	-0.1
24.03.14	31.03.14	-0.2	0.1	0.1	0.0
31.03.14	07.04.14	0.0	-0.1	0.0	0.0
07.04.14	14.04.14	0.1	0.6	0.1	0.2
14.04.14	21.04.14	0.1	0.0	0.3	0.2
21.04.14	28.04.14	0.1	0.0	0.2	0.1
28.04.14	05.05.14	-0.3	-0.4	0.0	-0.2
05.05.14	12.05.14	0.0	0.0	0.1	0.0
12.05.14	19.05.14	0.0	0.1	0.1	0.1
19.05.14	26.05.14	0.1	-0.1	-0.4	-0.2
26.05.14	02.06.14	0.3	0.2	0.0	0.1
02.06.14	09.06.14	-0.1	-0.2	-0.3	-0.2
09.06.14	16.06.14	0.1	-0.2	-0.3	-0.2
16.06.14	23.06.14	0.9	0.2	0.7	0.7
23.06.14	30.06.14	0.0	-0.1	-0.2	-0.1
30.06.14	07.07.14	0.3	0.1	0.2	0.2
07.07.14	14.07.14	0.7	0.8	0.9	0.8
14.07.14	21.07.14	-0.1	0.0	-0.1	-0.1
21.07.14	28.07.14	-0.2	0.1	0.1	0.0
28.07.14	04.08.14	0.0	0.1	0.1	0.1
04.08.14	11.08.14	0.9	0.2	0.7	0.7

Nastavak tabele P1.5

11.08.14	18.08.14	0.0	-0.1	0.0	0.0
18.08.14	25.08.14	0.1	0.6	0.1	0.2
25.08.14	01.09.14	0.1	0.0	0.3	0.2
01.09.14	08.09.14	0.0	0.0	0.1	0.0
08.09.14	15.09.14	0.1	0.0	0.2	0.1
15.09.14	22.09.14	-0.3	-0.4	0.0	-0.2
22.09.14	29.09.14	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3
29.09.14	06.10.14	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4
06.10.14	13.10.14	-0.4	0.1	-0.2	-0.2
13.10.14	20.10.14	-0.5	0.9	0.0	0.1
20.10.14	27.10.14	-0.3	-0.2	0.0	-0.1
27.10.14	03.11.14	-0.3	0.0	-0.1	-0.1
03.11.14	10.11.14	-0.4	-0.3	1.1	0.5
10.11.14	17.11.14	-0.3	-0.1	0.0	-0.1
17.11.14	24.11.14	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1
24.11.14	01.12.14	-0.1	-0.1	-0.4	-0.3
01.12.14	08.12.14	-0.1	-0.2	0.6	0.3
08.12.14	15.12.14	-0.1	0.0	-0.2	-0.2
15.12.14	22.12.14	0.3	-0.2	-0.2	-0.1
22.12.14	29.12.14	0.0	-0.2	0.7	0.3
max		0.9	0.9	1.1	0.8

Tabela P1.6 Odstupanja mesečnih od godišnjih vrednosti- MM1/2014.

	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
Januar 2014.	0.0	-0.2	-0.1	-0.1
Februar 2014.	0.0	-0.2	-0.3	-0.2
Mart 2014.	0.2	0.0	-0.1	0.0
April 2014.	0.3	0.3	0.3	0.3
Maj 2014.	0.2	0.2	0.1	0.2
Jun 2014.	-0.1	-0.1	0.1	0.0
Jul 2014.	-0.3	0.1	-0.2	-0.2
Avgust 2014.	-0.4	-0.2	0.2	0.0
Septembar 2014.	0.0	-0.1	-0.1	-0.1
Oktobar 2014.	0.1	0.0	0.0	0.0
Novembar 2014.	-0.1	-0.1	-0.4	-0.3
Decembar 2014.	0.2	0.3	0.2	0.2
max	0.4	0.3	0.4	0.3

Tabela P1.7 Odstupanja polugodišnjih od godišnjih vrednosti- MM1/2014.

	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
I	0.1	0	0	0
II	-0.1	0	0	0
max	0.1	0	0	0

Rezultati merenja parametara buke za merno mesto MM1 - 2015. god.

Tabela P1.8 Sedmični izveštaji (ponedeljak – nedelja) – MM1/2015.

Početak	Kraj	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
29.12.14	05.01.15	71.4	71.6	71.4	77.8
05.01.15	12.01.15	72.7	71.4	66.7	75.1
12.01.15	19.01.15	72.7	71.4	67.6	75.5
19.01.15	26.01.15	73.3	71.7	67.6	75.8
26.01.15	02.02.15	72.9	71.8	67.7	75.7
02.02.15	09.02.15	73.0	72.2	67.4	75.7
09.02.15	16.02.15	73.2	71.7	67.4	75.6
16.02.15	23.02.15	72.4	71.5	67.1	75.2
23.02.15	02.03.15	72.8	71.7	67.4	75.5
02.03.15	09.03.15	73.6	72.0	68.0	76.1
09.03.15	16.03.15	73.4	72.6	68.2	76.3
16.03.15	23.03.15	72.7	71.7	67.1	75.4
23.03.15	30.03.15	73.2	71.9	67.9	75.9
30.03.15	06.04.15	73.1	72.2	67.7	75.9
06.04.15	13.04.15	72.9	71.6	67.3	75.5
13.04.15	20.04.15	72.4	71.3	67.2	75.2
20.04.15	27.04.15	72.5	71.2	67.1	75.2
27.04.15	04.05.15	72.4	71.3	66.8	75.0
04.05.15	11.05.15	72.5	71.4	67.1	75.2
11.05.15	18.05.15	72.6	71.7	67.5	75.5
18.05.15	25.05.15	72.4	71.5	67.2	75.3
25.05.15	01.06.15	72.9	71.5	67.5	75.6
01.06.15	08.06.15	72.4	71.7	68.8	76.2
08.06.15	15.06.15	72.4	71.7	68.0	75.7
15.06.15	22.06.15	72.7	71.7	67.9	75.8
22.06.15	29.06.15	72.4	71.6	67.6	75.5
29.06.15	06.07.15	72.4	71.1	67.5	75.3
06.07.15	13.07.15	72.2	70.9	67.5	75.3
13.07.15	20.07.15	72.1	71.5	67.7	75.4
20.07.15	27.07.15	71.9	71.0	67.3	75.1
27.07.15	03.08.15	72.1	71.6	67.4	75.3
03.08.15	10.08.15	72.1	71.7	67.9	75.6
10.08.15	17.08.15	71.9	71.2	67.9	75.4
17.08.15	24.08.15	72.5	71.5	67.5	75.5
24.08.15	31.08.15	72.3	71.1	67.6	75.4
31.08.15	07.09.15	72.3	71.3	67.3	75.2
07.09.15	14.09.15	72.9	71.5	68.0	75.8
14.09.15	21.09.15	72.2	71.5	67.2	75.2
21.09.15	28.09.15	72.8	71.5	67.3	75.4
28.09.15	05.10.15	72.9	71.7	67.3	75.5
05.10.15	12.10.15	73.3	72.5	68.1	76.2
12.10.15	19.10.15	72.9	72.0	67.6	75.7
19.10.15	26.10.15	73.5	72.1	67.7	76.0

Nastavak tabele P1.8

26.10.15	02.11.15	72.8	71.6	67.8	75.7
02.11.15	09.11.15	72.7	71.5	67.6	75.6
09.11.15	16.11.15	72.5	71.2	67.3	75.3
16.11.15	23.11.15	72.7	71.3	67.3	75.4
23.11.15	30.11.15	73.5	72.4	68.6	76.5
30.11.15	07.12.15	72.8	71.7	67.7	75.7
07.12.15	14.12.15	72.9	71.7	67.9	75.8
14.12.15	21.12.15	72.9	71.9	67.7	75.7
21.12.15	28.12.15	73.0	72.4	68.4	76.3
28.12.15	04.01.16	72.5	71.6	72.5	78.8
	srednja vr.	72.7	71.6	67.7	75.7
	stdev.s	0.45	0.37	0.94	0.63
	stdev.p	0.44	0.36	0.93	0.62
	max	73.6	72.6	72.5	78.8
	min	71.4	70.9	66.7	75.0

Tabela P1.9 Mesečni izveštaji – MM1/2015.

	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
Januar 2015.	72.8	71.4	68.5	76.0
Februar 2015.	72.8	71.8	67.4	75.5
Mart 2015.	73.2	72.1	67.8	75.9
April 2015.	72.7	71.6	67.3	75.4
Maj 2015.	72.5	71.4	67.3	75.3
Jun 2015.	72.5	71.7	68.0	75.8
Jul 2015.	72.1	71.3	67.5	75.3
Avgust 2015.	72.1	71.3	67.7	75.4
Septembar 2015.	72.6	71.5	67.4	75.4
Oktobar 2015.	73.1	72.0	67.8	75.9
Novembar 2015.	72.9	71.6	67.7	75.7
Decembar 2015.	73.0	72.0	69.3	76.7
srednja vr.	72.7	71.6	67.8	75.7
stdev.s	0.35	0.28	0.58	0.41
stdev.p	0.34	0.27	0.56	0.39
max	73.2	72.1	69.3	76.7
min	72.1	71.3	67.3	75.3

Tabela P1.10 Polugodišnji izveštaji – MM1/2015.

	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
I	72.8	71.7	67.7	75.7
II	72.6	71.7	67.9	75.7
srednja vr.	72.7	71.7	67.8	75.7
stdev.p	0.1	0	0.1	0
max	72.8	71.7	67.9	75.7
min	72.6	71.7	67.7	75.7

Tabela P1.11 Godišnji izveštaj – MM1/2015.

L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
72.7	71.7	67.8	75.7

Tabela P1.12 Odstupanja sedmičnih od godišnjih vrednosti- MM1/2015.

Početak	Kraj	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
29.12.14	05.01.15	-1.3	-0.1	3.6*	2.1*
05.01.15	12.01.15	0.0	-0.3	-1.1	-0.6
12.01.15	19.01.15	0.0	-0.3	-0.2	-0.2
19.01.15	26.01.15	0.6	0.0	-0.2	0.1
26.01.15	02.02.15	0.2	0.1	-0.1	0.0
02.02.15	09.02.15	0.3	0.5	-0.4	0.0
09.02.15	16.02.15	0.5	0.0	-0.4	-0.1
16.02.15	23.02.15	-0.3	-0.2	-0.7	-0.5
23.02.15	02.03.15	0.1	0.0	-0.4	-0.2
02.03.15	09.03.15	0.9	0.3	0.2	0.4
09.03.15	16.03.15	0.7	0.9	0.4	0.6
16.03.15	23.03.15	0.0	0.0	-0.7	-0.3
23.03.15	30.03.15	0.5	0.2	0.1	0.2
30.03.15	06.04.15	0.4	0.5	-0.1	0.2
06.04.15	13.04.15	0.2	-0.1	-0.5	-0.2
13.04.15	20.04.15	-0.3	-0.4	-0.6	-0.5
20.04.15	27.04.15	-0.2	-0.5	-0.7	-0.5
27.04.15	04.05.15	-0.3	-0.4	-1.0	-0.7
04.05.15	11.05.15	-0.2	-0.3	-0.7	-0.5
11.05.15	18.05.15	-0.1	0.0	-0.3	-0.2
18.05.15	25.05.15	-0.3	-0.2	-0.6	-0.4
25.05.15	01.06.15	0.2	-0.2	-0.3	-0.1
01.06.15	08.06.15	-0.3	0.0	1.0	0.5
08.06.15	15.06.15	-0.3	0.0	0.2	0.0
15.06.15	22.06.15	0.0	0.0	0.1	0.1
22.06.15	29.06.15	-0.3	-0.1	-0.2	-0.2
29.06.15	06.07.15	-0.3	-0.6	-0.3	-0.4
06.07.15	13.07.15	-0.5	-0.8	-0.3	-0.4
13.07.15	20.07.15	-0.6	-0.2	-0.1	-0.3
20.07.15	27.07.15	-0.8	-0.7	-0.5	-0.6
27.07.15	03.08.15	-0.6	-0.1	-0.4	-0.4
03.08.15	10.08.15	-0.6	0.0	0.1	-0.1
10.08.15	17.08.15	-0.8	-0.5	0.1	-0.3
17.08.15	24.08.15	-0.2	-0.2	-0.3	-0.2
24.08.15	31.08.15	-0.4	-0.6	-0.2	-0.3
31.08.15	07.09.15	-0.4	-0.4	-0.5	-0.5
07.09.15	14.09.15	0.2	-0.2	0.2	0.1
14.09.15	21.09.15	-0.5	-0.2	-0.6	-0.5
21.09.15	28.09.15	0.1	-0.2	-0.5	-0.3
28.09.15	05.10.15	0.2	0.0	-0.5	-0.2
05.10.15	12.10.15	0.6	0.8	0.3	0.5

Nastavak tabele P1.12

12.10.15	19.10.15	0.2	0.3	-0.2	0.0
19.10.15	26.10.15	0.8	0.4	-0.1	0.3
26.10.15	02.11.15	0.1	-0.1	0.0	0.0
02.11.15	09.11.15	0.0	-0.2	-0.2	-0.1
09.11.15	16.11.15	-0.2	-0.5	-0.5	-0.4
16.11.15	23.11.15	0.0	-0.4	-0.5	-0.3
23.11.15	30.11.15	0.8	0.7	0.8	0.8
30.11.15	07.12.15	0.1	0.0	-0.1	0.0
07.12.15	14.12.15	0.2	0.0	0.1	0.1
14.12.15	21.12.15	0.2	0.2	-0.1	0.0
21.12.15	28.12.15	0.3	0.7	0.6	0.6
28.12.15	04.01.16	-0.2	-0.1	4.7*	3.1*
	max	0.9	0.9	1.0	0.8

*Vrednosti koje bitno odstupaju od ostalih, a posledica su slučajnih kratkotrajnih “bučnih” dešavanja i događaja koji nisu uobičajeni za datu lokaciju. Izuzimaju se iz analize u istraživanju.

Tabela P1.13 Odstupanja mesečnih od godišnjih vrednosti- MM1/2015.

	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
Januar 2015.	0.1	-0.3	0.7	0.3
Februar 2015.	0.1	0.1	-0.4	-0.2
Mart 2015.	0.5	0.4	0.0	0.2
April 2015.	0.0	-0.1	-0.5	-0.3
Maj 2015.	-0.2	-0.3	-0.5	-0.4
Jun 2015.	-0.2	0.0	0.2	0.1
Jul 2015.	-0.6	-0.4	-0.3	-0.4
Avgust 2015.	-0.6	-0.4	-0.1	-0.3
Septembar 2015.	-0.1	-0.2	-0.4	-0.3
Oktobar 2015.	0.4	0.3	0.0	0.2
Novembar 2015.	0.2	-0.1	-0.1	0.0
Decembar 2015.	0.3	0.3	1.5	1.0
max	0.6	0.4	1.5	1.0

Tabela P1.14 Odstupanja polugodišnjih od godišnjih vrednosti- MM1/2015.

	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
I	0.1	0	0.1	0
II	-0.1	0	-0.1	0
max	0.1	0	0.1	0

Rezultati merenja parametara buke za merno mesto MM2

Tabela P1.15 Sedmični izveštaji (ponedeljak – nedelja) – MM2

Početak	Kraj	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
30.12.13	06.01.14	69.9	70.3	70.4	76.8
06.01.14	13.01.14	70.1	69.4	66.6	73.9
13.01.14	20.01.14	70.3	70.3	67.3	74.6
20.01.14	27.01.14	70.8	70.3	67.2	74.7
27.01.14	03.02.14	70.4	69.2	65.7	73.6
03.02.14	10.02.14	70.0	69.4	66.2	73.7
10.02.14	17.02.14	70.4	70.0	67.1	74.4
17.02.14	24.02.14	70.2	69.9	66.7	74.1
24.02.14	03.03.14	70.2	69.6	66.5	74.0
03.03.14	10.03.14	70.3	69.6	66.5	74.0
10.03.14	17.03.14	70.0	69.5	66.6	74.0
17.03.14	24.03.14	70.4	69.5	66.9	74.2
24.03.14	31.03.14	70.6	70.0	66.5	74.1
31.03.14	07.04.14	70.2	69.7	66.5	74.0
07.04.14	14.04.14	71.1	70.1	66.9	74.5
14.04.14	21.04.14	70.3	69.8	66.7	74.1
21.04.14	28.04.14	70.6	69.7	66.7	74.2
28.04.14	05.05.14	70.6	70.2	67.2	74.6
05.05.14	12.05.14	70.6	70.8	66.6	74.4
12.05.14	19.05.14	70.3	69.7	66.6	74.0
19.05.14	26.05.14	70.8	70.4	68.1	75.3
26.05.14	02.06.14	70.1	70.3	66.9	74.3
02.06.14	09.06.14	70.3	70.1	67.0	74.5
09.06.14	16.06.14	70.2	69.7	66.3	73.9
16.06.14	23.06.14	70.4	70.0	66.9	74.3
23.06.14	30.06.14	71.5	70.6	67.5	75.1
	srednja vr.	70.4	69.9	66.9	74.4
	stdev.s	0.36	0.41	0.85	0.62
	stdev.p	0.35	0.40	0.83	0.61
	max	71.5	70.8	70.4	76.8
	min	69.9	69.2	65.7	73.6

Tabela P1.16 Mesečni izveštaji – MM2

	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
Januar 2014.	70.3	69.9	67.4	74.7
Februar 2014.	70.2	69.7	66.7	74.1
Mart 2014.	70.6	69.8	66.7	74.2
April 2014.	70.5	70.2	67.2	74.6
Maj 2014.	70.6	70.3	66.8	74.4
Jun 2014.	70.1	69.7	66.6	74.0
srednja vr.	70.4	69.9	66.9	74.3
stdev.s	0.19	0.26	0.35	0.26
stdev.p	0.17	0.24	0.32	0.24

Tabela P1.17 Polugodišnji izveštaj – MM2

L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
70.4	69.9	66.9	74.3

Tabela P1.18 Odstupanja sedmičnih od polugodišnjih vrednosti- MM2

Početak	Kraj	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
30.12.13	04.01.14	-0.5	0.4	3.5*	2.5*
06.01.14	11.01.14	-0.3	-0.5	-0.3	-0.4
13.01.14	18.01.14	-0.1	0.4	0.4	0.3
20.01.14	25.01.14	0.4	0.4	0.3	0.4
27.01.14	01.02.14	0.0	-0.7	-1.2	-0.7
03.02.14	08.02.14	-0.4	-0.5	-0.7	-0.6
10.02.14	15.02.14	0.0	0.1	0.2	0.1
17.02.14	22.02.14	-0.2	0.0	-0.2	-0.2
24.02.14	01.03.14	-0.2	-0.3	-0.4	-0.3
03.03.14	08.03.14	-0.1	-0.3	-0.4	-0.3
10.03.14	15.03.14	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3
17.03.14	22.03.14	0.0	-0.4	0.0	-0.1
24.03.14	29.03.14	0.2	0.1	-0.4	-0.2
31.03.14	05.04.14	-0.2	-0.2	-0.4	-0.3
07.04.14	12.04.14	0.7	0.2	0.0	0.2
14.04.14	19.04.14	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2
21.04.14	26.04.14	0.2	-0.2	-0.2	-0.1
28.04.14	03.05.14	0.2	0.3	0.3	0.3
05.05.14	10.05.14	0.2	0.9	-0.3	0.1
12.05.14	17.05.14	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3
19.05.14	24.05.14	0.4	0.5	1.2	1.0
26.05.14	31.05.14	-0.3	0.4	0.0	0.0
02.06.14	07.06.14	-0.1	0.2	0.1	0.2
09.06.14	14.06.14	-0.2	-0.2	-0.6	-0.4
16.06.14	21.06.14	0.0	0.1	0.0	0.0
23.06.14	28.06.14	1.1*	0.7	0.6	0.8
	max	0.7	0.9	1.2	1.0

*Vrednosti koje bitno odstupaju od ostalih, a posledica su slučajnih kratkotrajnih “bučnih” dešavanja i događaja koji nisu uobičajeni za datu lokaciju. Izuzimaju se iz analize u istraživanju.

Tabela P1.19 Odstupanja mesečnih od polugodišnjih vrednosti- MM2

	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
Januar 2014.	-0.1	0.0	0.5	0.4
Februar 2014.	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2
Mart 2014.	0.2	-0.1	-0.2	-0.1
April 2014.	0.1	0.3	0.3	0.3
Maj 2014.	0.2	0.4	-0.1	0.1
Jun 2014.	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3
max	0.3	0.4	0.5	0.4

Rezultati merenja parametara buke za merno mesto MM3

Tabela P1.20 Sedmični izveštaji (ponedeljak – nedelja) – MM3

Početak	Kraj	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
07.07.14	14.07.14	62.0	61.5	57.4	65.3
14.07.14	21.07.14	63.9	62.1	57.8	66.1
21.07.14	28.07.14	64.0	64.6	57.8	66.8
28.07.14	04.08.14	62.4	61.9	57.5	65.5
04.08.14	11.08.14	62.7	62.6	57.5	65.8
11.08.14	18.08.14	61.5	62.0	57.3	65.2
18.08.14	25.08.14	62.4	61.9	57.4	65.5
25.08.14	01.09.14	62.3	61.7	57.5	65.5
01.09.14	08.09.14	62.6	62.5	57.6	65.7
08.09.14	15.09.14	63.5	62.4	57.4	65.9
15.09.14	22.09.14	62.6	62.6	57.8	65.9
22.09.14	29.09.14	63.4	62.5	58.6	66.5
29.09.14	06.10.14	62.8	62.6	57.9	66.0
06.10.14	13.10.14	63.2	62.5	57.8	66.0
13.10.14	20.10.14	62.8	63.1	58.0	66.2
20.10.14	27.10.14	64.1	62.6	58.1	66.4
27.10.14	03.11.14	63.5	62.5	57.6	66.0
03.11.14	10.11.14	63.4	62.5	58.1	66.2
10.11.14	17.11.14	62.8	62.4	57.3	65.6
17.11.14	24.11.14	63.4	63.5	58.0	66.4
24.11.14	01.12.14	64.0	63.2	58.1	66.5
01.12.14	08.12.14	64.3	63.4	58.6	66.9
08.12.14	15.12.14	64.3	63.7	58.9	67.1
15.12.14	22.12.14	63.5	62.6	57.8	66.1
22.12.14	29.12.14	63.9	63.6	58.7	66.9
29.12.14	05.01.15	59.6	58.0	54.8	62.5
05.01.15	12.01.15	61.7	60.4	55.6	64.0
12.01.15	19.01.15	62.8	62.1	58.2	66.0
19.01.15	26.01.15	63.8	62.5	58.0	66.3
26.01.15	02.02.15	63.4	62.8	58.5	66.5
02.02.15	09.02.15	63.7	63.3	58.2	66.5
09.02.15	16.02.15	63.2	62.5	57.7	65.9
16.02.15	23.02.15	62.3	62.2	57.5	65.6
23.02.15	02.03.15	62.8	62.5	58.0	66.0
02.03.15	09.03.15	64.0	63.3	58.7	66.8
09.03.15	16.03.15	64.1	63.7	58.9	67.1
16.03.15	23.03.15	62.9	62.0	57.5	65.7
23.03.15	30.03.15	63.4	63.0	58.2	66.4
srednja vr.		63.1	62.5	57.8	66.0
stdev.s		0.93	1.05	0.77	0.84
stdev.p		0.91	1.04	0.76	0.82
max		64.3	64.6	58.9	67.1
min		59.6	58.0	54.8	62.5

Tabela P1.21 Mesečni izveštaji – MM3

	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
Jul 2014.	63.5	63.0	57.6	66.1
Avgust 2014.	62.2	62.0	57.5	65.5
Septembar 2014.	63.1	62.5	57.9	66.0
Oktobar 2014.	63.4	62.8	57.9	66.2
Novembar 2014.	63.3	62.8	57.9	66.2
Decembar 2014.	63.7	63.0	58.2	66.5
Januar 2015.	62.8	61.7	57.4	65.5
Februar 2015.	63.1	62.7	57.9	66.1
Mart 2015.	63.6	63.0	58.3	66.5
srednja vr.	63.2	62.6	57.8	66.1
stdev.s	0.46	0.47	0.30	0.36
stdev.p	0.44	0.44	0.28	0.34
max	63.7	63.0	58.3	66.5
min	62.2	61.7	57.4	65.5

Tabela P1.22 Devetomesečni izveštaj – MM3

L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
63.2	62.7	57.8	66.1

Tabela P1.23 Odstupanja sedmičnih od devetomesečnih vrednosti – MM3

Početak	Kraj	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
07.07.14	14.07.14	-1.2	-1.2	-0.4	-0.8
14.07.14	21.07.14	0.7	-0.6	0.0	0.0
21.07.14	28.07.14	0.8	0.9	0.0	0.7
28.07.14	04.08.14	-0.8	-0.8	-0.3	-0.6
04.08.14	11.08.14	-0.5	-0.1	-0.3	-0.3
11.08.14	18.08.14	-1.7	-0.7	-0.5	-0.9
18.08.14	25.08.14	-0.8	-0.8	-0.4	-0.6
25.08.14	01.09.14	-0.9	-1.0	-0.3	-0.6
01.09.14	08.09.14	-0.6	-0.2	-0.2	-0.4
08.09.14	15.09.14	0.3	-0.3	-0.4	-0.2
15.09.14	22.09.14	-0.6	-0.1	0.0	-0.2
22.09.14	29.09.14	0.2	-0.2	0.8	0.4
29.09.14	06.10.14	-0.4	-0.1	0.1	-0.1
06.10.14	13.10.14	0.0	-0.2	0.0	-0.1
13.10.14	20.10.14	-0.4	0.4	0.2	0.1
20.10.14	27.10.14	0.9	-0.1	0.3	0.3
27.10.14	03.11.14	0.3	-0.2	-0.2	-0.1
03.11.14	10.11.14	0.2	-0.2	0.3	0.1
10.11.14	17.11.14	-0.4	-0.3	-0.5	-0.5
17.11.14	24.11.14	0.2	0.8	0.2	0.3
24.11.14	01.12.14	0.8	0.5	0.3	0.4
01.12.14	08.12.14	1.1	0.7	0.8	0.8
08.12.14	15.12.14	1.1	1.0	1.1	1.0
15.12.14	22.12.14	0.3	-0.1	0.0	0.0

Nastavak tabele P1.23

22.12.14	29.12.14	0.7	0.9	0.9	0.8
29.12.14	05.01.15	1.0	0.7	0.8	0.8
05.01.15	12.01.15	0.8	0.6	0.9	0.7
12.01.15	19.01.15	-0.4	-0.6	0.4	-0.1
19.01.15	26.01.15	0.6	-0.2	0.2	0.2
26.01.15	02.02.15	0.2	0.1	0.7	0.4
02.02.15	09.02.15	0.5	0.6	0.4	0.4
09.02.15	16.02.15	0.0	-0.2	-0.1	-0.2
16.02.15	23.02.15	-0.9	-0.5	-0.3	-0.5
23.02.15	02.03.15	-0.4	-0.2	0.2	-0.1
02.03.15	09.03.15	0.8	0.6	0.9	0.7
09.03.15	16.03.15	0.9	1.0	1.1	1.0
16.03.15	23.03.15	-0.3	-0.7	-0.3	-0.4
23.03.15	30.03.15	0.2	0.3	0.4	0.3
	max	1.2	1.2	1.1	1.0

Tabela P1.24 Odstupanja mesečnih od devetomesečnih vrednosti – MM3

	L_{day}	$L_{evening}$	L_{night}	L_{den}
Jul 2014.	0.3	0.3	-0.2	0.0
Avgust 2014.	-1.0	-0.7	-0.3	-0.6
Septembar 2014.	-0.1	-0.2	0.1	-0.1
Oktobar 2014.	0.2	0.1	0.1	0.1
Novembar 2014.	0.1	0.1	0.1	0.1
Decembar 2014.	0.5	0.3	0.4	0.4
Januar 2015.	-0.4	-1.0	-0.4	-0.6
Februar 2015.	-0.1	0.0	0.1	0.0
Mart 2015.	0.4	0.3	0.5	0.4
max	1.0	1.0	0.5	0.6

POPIS SLIKA

Br. slike	Naziv slike	Strana
Sl. 3.1	<i>Doprinos različitih mehanizama generisanju ukupnog nivoa buke putničkog vozila</i>	30
Sl. 6.1	<i>Sistem za upravljanje bukom u životnoj sredini - ENMS</i>	97
Sl. 6.2	<i>Prikaz mernog mesta MM1</i>	101
Sl. 6.3	<i>Orto-foto snimak položaja mernog mesta MM1 u odnosu na saobraćajnice i objekte u neposrednoj okolini</i>	101
Sl. 6.4	<i>Prikaz mernog mesta MM2</i>	102
Sl. 6.5	<i>Orto-foto snimak položaja mernog mesta MM2 u odnosu na saobraćajnice i objekte u neposrednoj okolini</i>	102
Sl. 6.6	<i>Prikaz mernog mesta MM3</i>	103
Sl. 6.7	<i>Orto-foto snimak položaja mernog mesta MM3 u odnosu na saobraćajnice i objekte u neposrednoj okolini</i>	103
Sl. 6.8	<i>Raskrsnica ulica generala Milojka Lešjanina i Kneginje Ljubice - prilazi i smerovi saobraćaja</i>	105
Sl. 6.9	<i>Raskrsnica ulica generala Milojka Lešjanina i Kneginje Ljubice - saobraćajno opterećenje po prilazima 09. 12. 2009. god.</i>	105
Sl. 6.10	<i>Raskrsnica ulica generala Milojka Lešjanina i Kneginje Ljubice - koeficijent neravnomernosti saobraćaja 09. 12. 2009. god.</i>	106
Sl. 6.11	<i>Raskrsnica ulica generala Milojka Lešjanina i Kneginje Ljubice - struktura saobraćajnog toka 09. 12. 2009. god.</i>	106
Sl. 6.12	<i>Trend promene vrednosti kriterijuma sa povećanjem vremenskog intervala merenja</i>	116
Sl. 6.13	<i>Algoritam optimizacije izbora merne strategije metodom PROMETHEE</i>	120
Sl. 6.14	<i>Matrica odlučivanja za merno mesto MM1 - scenario 1</i>	135
Sl. 6.15	<i>Matrica odlučivanja za merno mesto MM1 - scenario 2</i>	135
Sl. 6.16	<i>Parcijalno (a) i kompletno (b) rangiranje alternativa metodama PROMETHEE I i PROMETHEE II za merno mesto MM1 po scenarijima 1 i 2</i>	136
Sl. 6.17	<i>Kompletno rangiranje alternativa metodom PROMETHEE II za merno mesto MM1 po scenarijima 1 i 2 na osnovu vrednosti čistog (neto) toka alternativa</i>	136
Sl. 6.18	<i>Izgled prozora PROMETHEE Dijamant - rangiranje alternativa za merno mesto MM1 po scenarijima 1 i 2</i>	137

Sl. 6.19	<i>Izgled prozora PROMETHEE Duga - rangiranje alternativa za merno mesto MM1 po scenarijima 1 i 2</i>	137
Sl. 6.20	<i>Poređenje rangiranja alternativa za merno mesto MM1 po scenarijima 1 i 2</i>	138
Sl. 6.21	<i>Matrica odlučivanja za merno mesto MM2 - scenario 1</i>	145
Sl. 6.22	<i>Matrica odlučivanja za merno mesto MM2 - scenario 2</i>	145
Sl. 6.23	<i>Parcijalno (a) i kompletno (b) rangiranje alternativa metodama PROMETHEE I i PROMETHEE II za merno mesto MM2 po scenarijima 1 i 2</i>	146
Sl. 6.24	<i>Kompletno rangiranje alternativa metodom PROMETHEE II za merno mesto MM2 po scenarijima 1 i 2 na osnovu vrednosti čistog (neto) toka alternativa</i>	146
Sl. 6.25	<i>Izgled prozora PROMETHEE Dijamant - rangiranje alternativa za merno mesto MM2 po scenarijima 1 i 2</i>	147
Sl. 6.26	<i>Izgled prozora PROMETHEE Duga - rangiranje alternativa za merno mesto MM2 po scenarijima 1 i 2</i>	147
Sl. 6.27	<i>Poređenje rangiranja alternativa za merno mesto MM2 po scenarijima 1 i 2</i>	147
Sl. 6.28	<i>Matrica odlučivanja za merno mesto MM3 - scenario 1</i>	154
Sl. 6.29	<i>Matrica odlučivanja za merno mesto MM3 - scenario 2</i>	154
Sl. 6.30	<i>Parcijalno (a) i kompletno (b) rangiranje alternativa metodama PROMETHEE I i PROMETHEE II za merno mesto MM3 po scenarijima 1 i 2</i>	155
Sl. 6.31	<i>Kompletno rangiranje alternativa metodom PROMETHEE II za merno mesto MM3 po scenarijima 1 i 2 na osnovu vrednosti čistog (neto) toka alternativa</i>	155
Sl. 6.32	<i>Izgled prozora PROMETHEE Dijamant - rangiranje alternativa za merno mesto MM3 po scenarijima 1 i 2</i>	156
Sl. 6.33	<i>Izgled prozora PROMETHEE Duga - rangiranje alternativa za merno mesto MM3 po scenarijima 1 i 2</i>	156
Sl. 6.34	<i>Poređenje rangiranja alternativa za merno mesto MM3 po scenarijima 1 i 2</i>	156

POPIS TABELA

Br. tabele	Naziv tabele	Strana
Tabela 2.1	<i>Granične vrednosti indikatora buke na otvorenom prostoru</i>	20
Tabela 2.2	<i>Granične vrednosti indikatora buke u zatvorenim prostorijama</i>	21
Tabela 2.3	<i>Procenat ugroženog (%A) i veoma ugroženog stanovništva (%HA) Evropske unije pri različitim nivoima izloženosti buci L_{den} avionskog, drumskog i železničkog saobraćaja</i>	25
Tabela 24	<i>Procenat ugroženog (%A) i veoma ugroženog stanovništva (%HA) Evropske unije pri različitim nivoima izloženosti buci L_{night} avionskog, drumskog i železničkog saobraćaja</i>	25
Tabela 3.1	<i>Istorijski pregled dozvoljenih nivoa emisije buke motornih vozila</i>	32
Tabela 3.2	<i>Smanjenje buke drumskog saobraćaja u zavisnosti od izbora mere zaštite</i>	37
Tabela 4.1	<i>Određivanje standardne greške aritmetičke sredine populacije</i>	49
Tabela 4.2	<i>Izbor faktora pokrivanja</i>	54
Tabela 5.1	<i>Kvantifikovanje kvalitativnih atributa</i>	75
Tabela 5.2	<i>Saaty-jeva skala za komparaciju parova kriterijuma na osnovu lingvističkih iskaza</i>	78
Tabela 5.3	<i>Primena dominacione matrice za određivanje težine kriterijuma njihovim prethodnim poređenjem po parovima - primer</i>	80
Tabela 5.4	<i>Prikaz alternativa i kriterijuma</i>	84
Tabela 5.5	<i>Model matrice indeksa preferentnosti</i>	88
Tabela 6.1	<i>Komponente Sistema za upravljanje bukom u životnoj sredini</i>	98
Tabela 6.2	<i>Raskrsnica ulica generala Milojka Lešjanina i Kneginje Ljubice - vremenska analiza strukture saobraćaja po prilazima i smerovima 09. 12. 2009. god.</i>	106
Tabela 6.3	<i>Ulica generala Milojka Lešjanina - planirano stanje saobraćajnog opterećenja i iskorišćenja kapaciteta saobraćajnice</i>	106
Tabela 6.4	<i>Ulica Vožda Karađorđa - planirano stanje saobraćajnog opterećenja i iskorišćenja kapaciteta saobraćajnice</i>	107
Tabela 6.5	<i>Ulica dr Zorana Đinđića - planirano stanje saobraćajnog opterećenja i iskorišćenja kapaciteta saobraćajnice</i>	108
Tabela 6.6	<i>Sedmični izveštaji (ponedeljak – nedelja) – MM1 (izvod)</i>	109
Tabela 6.7	<i>Mesečni izveštaji – MM1 (izvod)</i>	109

Tabela 6.8	<i>Polugodišnji izveštaji – MM1 (izvod)</i>	110
Tabela 6.9	<i>Godišnji izveštaj – MM1 (izvod)</i>	110
Tabela 6.10	<i>Odstupanja sedmičnih od godišnjih vrednosti- MM1 (izvod)</i>	110
Tabela 6.11	<i>Odstupanja mesečnih od godišnjih vrednosti- MM1 (izvod)</i>	110
Tabela 6.12	<i>Odstupanja polugodišnjih od godišnjih vrednosti- MM1 (izvod)</i>	110
Tabela 6.13	<i>Sedmični izveštaji (ponedeljak – nedelja) – MM2 (izvod)</i>	111
Tabela 6.14	<i>Mesečni izveštaji – MM2 (izvod)</i>	111
Tabela 6.15	<i>Polugodišnji izveštaj – MM2 (izvod)</i>	111
Tabela 6.16	<i>Odstupanja sedmičnih od polugodišnjih vrednosti- MM2 (izvod)</i>	111
Tabela 6.17	<i>Odstupanja mesečnih od polugodišnjih vrednosti- MM2 (izvod)</i>	111
Tabela 6.18	<i>Sedmični izveštaji (ponedeljak – nedelja) – MM3 (izvod)</i>	112
Tabela 6.19	<i>Mesečni izveštaji – MM3 (izvod)</i>	112
Tabela 6.20	<i>Devetomesečni izveštaj – MM3 (izvod)</i>	112
Tabela 6.21	<i>Odstupanja sedmičnih od devetomesečnih vrednosti- MM3 (izvod)</i>	112
Tabela 6.22	<i>Odstupanja mesečnih od devetomesečnih vrednosti- MM3 (izvod)</i>	112
Tabela 6.23	<i>Kriterijumi za izbor optimalne merne strategije</i>	115
Tabela 6.24	<i>Funkcije cilja i vrste ocena kriterijuma</i>	117
Tabela 6.25	<i>Kvantifikovanje kvalitativnih atributa prema cilju kriterijuma za definisane alternative</i>	117
Tabela 6.26	<i>Rezultati težinskog ocenjivanja kriterijuma od strane stručnog tima Delfi metodom</i>	118
Tabela 6.27	<i>Prikaz alternativa, ocena, ciljeva i težinskih koeficijenata kriterijuma za izbor optimalne merne strategije</i>	118
Tabela 6.28	<i>Kvantifikovana matrica odlučivanja – merno mesto MM1</i>	121
Tabela 6.29	<i>Tipovi opštih kriterijuma i vrednosti parametara preferencije i indiferencije – MM1</i>	121
Tabela 6.30	<i>Vrednosti funkcija preferencije svih parova alternativa po svakom kriterijumu – MM1</i>	131
Tabela 6.31	<i>Matrica indeksa preferentnosti - MM1</i>	132
Tabela 6.32	<i>Formiranje izlaznih i ulaznih tokova - MM1</i>	133
Tabela 6.33	<i>Vrednosti čistih tokova i formiranje potpunog porekta alternativa - MM1</i>	133
Tabela 6.34	<i>Kvantifikovana matrica odlučivanja – merno mesto MM2</i>	138

Tabela 6.35	<i>Tipovi opštih kriterijuma i vrednosti parametara preferencije i indiferencije – MM2</i>	138
Tabela 6.36	<i>Vrednosti funkcija preferencije svih parova alternativa po svakom kriterijumu – MM2</i>	142
Tabela 6.37	<i>Matrica indeksa preferentnosti – MM2</i>	143
Tabela 6.38	<i>Formiranje izlaznih i ulaznih tokova – MM2</i>	143
Tabela 6.39	<i>Vrednosti čistih tokova i formiranje potpunog porekta alternativa – MM2</i>	143
Tabela 6.40	<i>Kvantifikovana matrica odlučivanja – merno mesto MM3</i>	148
Tabela 6.41	<i>Tipovi opštih kriterijuma i vrednosti parametara preferencije i indiferencije</i>	148
Tabela 6.42	<i>Vrednosti funkcija preferencije svih parova alternativa po svakom kriterijumu – MM3</i>	151
Tabela 6.43	<i>Matrica indeksa preferentnosti – MM3</i>	152
Tabela 6.44	<i>Formiranje izlaznih i ulaznih tokova – MM3</i>	152
Tabela 6.45	<i>Vrednosti čistih tokova i formiranje potpunog porekta alternativa – MM3</i>	153
Tabela P1.1	<i>Sedmični izveštaji (ponedeljak – nedelja) – MM1/2014.</i>	173
Tabela P1.2	<i>Mesečni izveštaji – MM1/2014.</i>	174
Tabela P1.3	<i>Polugodišnji izveštaji – MM1/2014.</i>	175
Tabela P1.4	<i>Godišnji izveštaj – MM1/2014.</i>	175
Tabela P1.5	<i>Odstupanja sedmičnih od godišnjih vrednosti- MM1/2014.</i>	175
Tabela P1.6	<i>Odstupanja mesečnih od godišnjih vrednosti- MM1/2014.</i>	176
Tabela P1.7	<i>Odstupanja polugodišnjih od godišnjih vrednosti- MM1/2014.</i>	176
Tabela P1.8	<i>Sedmični izveštaji (ponedeljak – nedelja) – MM1/2015.</i>	177
Tabela P1.9	<i>Mesečni izveštaji – MM1/2015.</i>	178
Tabela P1.10	<i>Polugodišnji izveštaji – MM1/2015.</i>	178
Tabela P1.11	<i>Godišnji izveštaj – MM1/2015.</i>	179
Tabela P1.12	<i>Odstupanja sedmičnih od godišnjih vrednosti- MM1/2015.</i>	179
Tabela P1.13	<i>Odstupanja mesečnih od godišnjih vrednosti- MM1/2015.</i>	180
Tabela P1.14	<i>Odstupanja polugodišnjih od godišnjih vrednosti- MM1/2015.</i>	180
Tabela P1.15	<i>Sedmični izveštaji (ponedeljak – nedelja) – MM2</i>	181
Tabela P1.16	<i>Mesečni izveštaji – MM2</i>	181
Tabela P1.17	<i>Polugodišnji izveštaj – MM2</i>	182
Tabela P1.18	<i>Odstupanja sedmičnih od polugodišnjih vrednosti- MM2</i>	182

Tabela P1.19	<i>Odstupanja mesečnih od polugodišnjih vrednosti- MM2</i>	182
Tabela P1.20	<i>Sedmični izveštaji (ponedeljak – nedelja) – MM3</i>	183
Tabela P1.21	<i>Mesečni izveštaji – MM3</i>	184
Tabela P1.22	<i>Devetomesečni izveštaj – MM3</i>	184
Tabela P1.23	<i>Odstupanja sedmičnih od devetomesečnih vrednosti – MM3</i>	184
Tabela P1.24	<i>Odstupanja mesečnih od devetomesečnih vrednosti – MM3</i>	185

BIOGRAFIJA AUTORA

Darko Mihajlov je rođen u Nišu 14. 11. 1969. godine.

Osnovnu školu „Vožd Karađorđe“ i gimnaziju „Svetozar Marković“ završio je u Nišu kao nosilac Vukovih diploma.

Diplomirao je na Mašinskom fakultetu u Nišu 1997. godine sa prosečnom ocenom 8,32 na temu “Projektovanje horizontalne dvostrujne centrifugalne pumpe za transport hemijski čiste vode”.

Od 1998. godine radi na Fakultetu zaštite na radu u Nišu kao saradnik u Laboratoriji za buku i vibracije, a od 2000. godine kao asistent, uključen u deo realizacije nastave iz grupe predmeta koji obrađuju buku u životnoj i radnoj sredini, vibracije mašinskih sistema i probleme u klasičnoj mehanici.

Magistarsku tezu na temu “Primena vibrodijagnostike u preventivnom održavanju rotacionih mašina” odbranio je na Fakultetu zaštite na radu u Nišu 2009. godine.

Darko Mihajlov je autor i koautor većeg broja radova objavljenih na naučnim skupovima domaćeg i međunarodnog značaja iz oblasti buke i vibracija. Takođe, učestvovao je u realizaciji četiri projekta Ministarstva za nauku, tehnologije i razvoj Republike Srbije u oblasti osnovnih istraživanja i tehnološkog razvoja.

Istraživački rad mu je orijentisan na buku u životnoj i radnoj sredini, kao i na vibracije tehničkih sistema.



Izjava 1.

IZJAVA O AUTORSTVU

Izjavljujem da je doktorska disertacija pod naslovom

**VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMIZACIJA IZBORA MERNE STRATEGIJE ZA
PROCENU DUGOTRAJNE VREDNOSTI INDIKATORA BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI**

koja je odbranjena na Fakultetu zaštite na radu Univerziteta u Nišu

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada,
- da predložena disertacija, ni u celini, ni u delovima, nije bila predložena za dobijanje bilo koje diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova,
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršio autorska prava, niti zloupotrebio intelektualnu svojinu drugih lica.

Autor disertacije

Darko I. Mihajlov

U Nišu, 02. 06. 2016. god.



Izjava 2.

**IZJAVA O ISTOVETNOSTI ŠTAMPANE I ELEKTRONSKE VERZIJE
DOKTORSKE DISERTACIJE**

Ime i prezime autora: Darko I. Mihajlov

Naslov disertacije: Višekriterijumska optimizacija izbora merne strategije za procenu dugotrajne vrednosti indikatora buke u životnoj sredini

Mentor: Dr Momir R. Prašćević, red. prof. Fakulteta zaštite na radu u Nišu

Izjavljujem da je štampana verzija moje doktorske disertacije istovetna elektronskoj verziji koju sam predao na unošenje u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Nišu.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci koji su u vezi sa dobijanjem akademskog zvanja doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada i to u katalogu Biblioteke, Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Nišu, kao i u publikacijama Univerziteta u Nišu.

Autor disertacije

Darko I. Mihajlov

U Nišu, 02. 06. 2016. god.



Izjava 3.

IZJAVA O KORIŠĆENJU

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku “Nikola Tesla” da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Nišu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom

VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMIZACIJA IZBORA MERNE STRATEGIJE ZA
PROCENU DUGOTRAJNE VREDNOSTI INDIKATORA BUKE U ŽIVOTNOJ SREDINI
koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim prilogima predao sam u elektronskom formatu, pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju, unetu u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Nišu, mogu koristiti svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons), za koju sam se odlučio.

1. Autorstvo
2. Autorstvo - nekomercijalno
3. **Autorstvo - nekomercijalno - bez prerađe (CC BY-NC-ND 3.0)**
4. Autorstvo - nekomercijalno - deliti pod istim uslovima
5. Autorstvo - bez prerađe
6. Autorstvo - deliti pod istim uslovima

Autor disertacije

Darko I. Mihajlov

U Nišu, 02. 06. 2016. god.