

Obvladovanje kompleksnosti večkriterijskih odločitvenih modelov

Andrej Bregar

Informatika, d. d., Vetrinjska ulica 2, 2000 Maribor

andrej.bregar@informatika.si

Izvleček

Članek daje celosten vpogled v problematiko kompleksnosti, s katero smo soočeni pri reševanju problemov večkriterijske odločitvene analize. Oblikuje smernice, s katerimi mehanizmi in na podlagi katerih dejavnikov zajezi to kompleksnost. V članku je tako predstavljeno celovito ogrodje za vrednotenje večkriterijskih odločitvenih metod, teorij, tehnik, modelov in sistemov, ki se osredinja na visokonivojske vidike vzdrževanja odločitvene skupine, analitičnih lastnosti ter metodoloških osnov. Preučeni so vplivi posameznih dejavnikov ogrodja na kompleksnost, pri čemer sta obravnavani tako človeško zaznavna kot računsko-metodološka kompleksnost, na podlagi katerih so elementarni dejavniki klasificirani v pozitivne in negativne ter tiste, katerih vpliv je bodisi nevtralen ali pa ga ni mogoče enolično določiti. Izpeljane so tudi korelacije med dejavniki in med njihovimi skupinami ter podana priporočila za obvladovanje kompleksnosti večkriterijskih odločitvenih metod, teorij in sistemov ter na njih zasnovanih modelov za reševanje odločitvenih problemov. Z ozirom na tri temeljne visokonivojske vidike so analizirani in sistematizirani nekateri standardni pristopi k zmanjševanju kompleksnosti, kot so združitveno-razdružitvena analiza, analiza občutljivosti, tehnike strukturiranja, hibridne tehnike in nenatančne/mehke/celostne presoje.

Ključne besede: sistemi za podporo odločanju, večkriterijska odločitvena analiza, skupinsko odločanje, sistematizacijski modeli, eksperimentalni modeli, študije kompleksnosti.

Abstract

Managing the Complexity of Multiple Criteria Decision Models

The paper provides a holistic view of the complexity which has to be dealt with when solving multiple criteria decision-making problems. It shows which mechanisms can be applied and which factors must be observed to reduce complexity. A common universal framework for the assessment of decision-making methods and systems is presented. It focuses on group maintenance, analytic characteristics and methodological foundations. The paper studies the influence of individual factors of the framework on the complexity of multiple criteria decision methods, theories, systems and models used to solve decision-making problems. Elementary factors are classified into positive, negative and neutral, in order to treat computational/methodological as well as user-perceivable complexity. Correlations between factors and their groups are also calculated and some directions are provided to manage the complexity. Several standard approaches for reducing the complexity are analysed and systematized, such as the aggregation-disaggregation analysis, robustness analysis, structuring techniques, hybrid techniques and fuzzy/holistic/imprecise judgements.

Keywords: Decision support systems, Multiple criteria decision analysis, Group decision-making, Systematization models, Experimental models, Complexity studies.

1 UVOD

Obstaja obsežna množica metod, teorij in tehnik, ki pomagajo ljudem na strukturiran in vsaj deloma formaliziran način opisovati ter sprejemati odločitve. Pomembna skupina teh pristopov temelji na večkriterijski odločitveni analizi, ki omogoča izbiro najboljše ali dovolj dobre alternativne rešitve z upoštevanjem in obravnavo več konfliktnih ciljev (Shim idr., 2002). Pri reševanju stvarnih problemov so te metode, teorije in tehnike uporabljene v sklopu odločitvenih modelov, ki so zasnovani na njih z namenom predstavitve problemske

domene, ali odločitvenih sistemov, ki jih implementirajo v obliki računalniških programov z namenom, da olajšajo delo odločevalcem (Turban, Aronson & Liang, 2005).

Metode, teorije, tehnike, modeli in sistemi za podporo odločanju lahko temeljijo na številnih različnih preferenčnih in kompozicijskih modelih, zaradi česar se njihove značilnosti glede človeško zaznavne in računsko-metodološke kompleksnosti znatno razlikujejo. Tako je praviloma le peščica razpoložljivih

pristopov primerna za specifične probleme ali specifične odločitvene skupine, katerih člani so podvrženi omejitvam v času, znanju in informacijah. Posledično je bistvenega pomena oceniti in v čim večji meri omejiti kompleksnost metod, teorij, tehnik, modelov in sistemov, ki so na voljo.

Namen članka je sistematično opredeliti dejavnike, ki vplivajo bodisi na človeško zaznavno bodisi na računsko-metodološko kompleksnost večkriterijskih odločitvenih metod, teorij, tehnik, modelov in sistemov. Ti dejavniki so izpeljani iz celovitega univerzalnega ogrodja za vrednotenje metod in sistemov za podporo odločanju (Bregar, 2010). Članek se osredinja izključno, a hkrati temeljito na vidik kompleksnosti, zato zanemara ostale vidike splošnega ogrodja. Po drugi strani pa obravnava kazalnike kompleksnosti v precej širšem smislu kot predhodna študija o kognitivnem bremenu (Bregar, 2009a).

Čeprav se članek ukvarja zlasti s kompleksnostjo pristopov k večkriterijskemu odločanju, ni omejen nanje. Prav tako se ne posveča primarno procesom skupinskega odločanja, četudi je za te predvidena obsežna skupina dejavnikov vzdrževanja odločitvene skupine. Predlagano ogrodje namreč ne predpisuje dejavnikov kompleksnosti, ki bi jih morali obvezno upoštevati, temveč predlaga dejavnike, ki jih lahko upoštevamo, kadar je to smiselno in potrebno. Če na primer ocenjujemo kompleksnost katere od preprostejših tehnik ustvarjalnega mišljenja (Pečjak, 1989), lahko zanemarimo dejavnike, ki se nanašajo na določitev alternativ, strukturo kriterijev in bogatost kardinalnih informacij, upoštevamo pa dejavnike zahtevnosti analize, izčrpnosti analize in osredotočenosti na reševanje problema. Podobno lahko pri odločitvenih problemih z enim odločevalcem zanemarimo dejavnike vzdrževanja odločitvene skupine, ker ti nimajo vpliva na skupno zaznavno kompleksnost.

Predlagano ogrodje torej stremi k temu, da bi bilo generično. Vpeljuje nabor standardnih dejavnikov kompleksnosti, ki jih lahko poljubno izbiramo glede na dejansko situacijo in upoštevamo samo tiste, ki so relevantni za opazovano metodo, teorijo, tehniko, model ali sistem. Ogrodje tudi ni namenjeno absolutnemu vrednotenju učinkovitosti pristopov k odločanju z vidika njihove kompleksnosti. Noben takšen pristop namreč ni absolutno dober ali absolutno slab. Zato je bolj bistvena vrednost ogrodja ta, da omogoča odločevalcem v stvarni situaciji za vsak

primer posebej na standarden način oceniti, kateri pristop ali kombinacijo pristopov k odločanju bi bilo za dani primer najučinkoviteje uporabiti.

Poleg primarnega cilja skuša članek izpolniti še nekaj sekundarnih ciljev:

1. podati smernice, kako zmanjšati in obvladovati uporabniško zaznavno ter računsko-metodološko kompleksnost v luči specificiranih dejavnikov;
2. definirati in utemeljiti korelacije med posamičnimi dejavniki kompleksnosti kot tudi med skupinami le-teh;
3. sistematizirati in ovrednotiti ključne obstoječe mehanizme in tehnike za omejevanje kompleksnosti, kot so združitevno-razdružitevna analiza (Matsatsinis & Samaras, 2001), analiza robustnosti (Bregar, Györkös & Jurič, 2009), avtonomni in hibridni pristopi (Bregar, 2013), tehnike strukturiranja (Von Winterfeldt & Fasolo, 2009), tehnike Delfi (Linstone & Turoff, 2002) ter nenatančne/mehke/celostne presoje (Herrera-Viedma, Herrera & Chiclana, 2002).

Preostanek članka je organiziran v pet razdelkov. V razdelku 2 so za lažje razumevanje vsebine podane nekatere splošne informacije o podpori pri odločanju in o tehnikah za zmanjševanje kompleksnosti, ki so obravnavane v nadaljevanju. Razdelek 3 predstavi poenoten in celovit ocenitveni model. V razdelku 4 so vpeljani dejavniki vpliva na uporabniško zaznavno in računsko-metodološko kompleksnost odločitvenih metod, teorij, tehnik, modelov in sistemov. Definirane so tudi korelacije med dejavniki. Razdelek 5 obravnava tehnike za zmanjševanje kompleksnosti. Z razdelkom 6 končamo članek in podamo smernice za nadaljnje delo.

2 ODLOČANJE IN PODPORA PRI ODLOČANJU

Odločanje je proces izbire med razpoložljivimi alternativami oziroma alternativnimi poteki akcij z namenom doseganja enega ali več zastavljenih ciljev (Turban, Aronson & Liang, 2005). Ta proces je tesno povezan z reševanjem bolj ali manj strukturiranih problemov in sestoji iz zaporedja korakov. Kot navajata Turban & Aronson (ibid), so ti zaobjeti v štirih fazah. V fazi inteligence opredelimo cilje delovanja, spremljamo delovanje ter skušamo razpoznati, razumeti in opisati problem. Faza načrtovanja vključuje formalno specifikacijo problema, določanje kriterijev izbire, iskanje in opisovanje alternativ ter merjenje rezultatov alternativ. Sledi ji faza izbire, ki predstavlja

iskanje rešitve problema na podlagi ocenjevanja alternativ, izvedbe analize občutljivosti in izbire najboljše ali vsaj dovolj dobre alternative. Naposled je treba implementirati odločitev in nadzorovati njene učinke.

Pomembna značilnost odločanja je uporaba enega ali več modelov. Odločitvena analiza, ki je povezana zlasti z drugo in tretjo fazo postopka odločanja, je tako namesto na realnem sistemu izvedena na abstraktnem modelu, ki pomeni poenostavljeno in formalizirano predstavitev stvarne problemske domene ter pretvori vhodne parametre, katerih vrednosti specificirajo odločevalci, v ocene, imenovane modelske domneve. Obstajajo številne vrste modelov, od katerih se pogosto uporabljajo zlasti (ibid):

- optimizacija z analitičnimi formulami pomeni iskanje najboljše rešitve iz majhnega ali srednje velikega nabora razpoložljivih alternativ ob uporabi metod večkriterijskega (tudi večkriterialnega ali večatributnega) odločanja;
- optimizacija z algoritmom pomeni iskanje najboljše rešitve med veliko ali neskončno mnogo razpoložljivimi alternativami s postopnim izboljševanjem rešitve z uporabo metod matematičnega programiranja ali mrežnih modelov;
- simulacija pomeni iskanje dovolj dobre rešitve med izbranimi alternativami s pomočjo numeričnega ali vizualnega eksperimentiranja;
- heuristika je iskanje dovolj dobre rešitve na podlagi ekspertno oblikovanih pravil;
- analizo občutljivosti ali robustnosti pogosto uporabljamo v povezavi z drugimi tehnikami in služi ugotavljanju vpliva sprememb vhodnih parametrov na rezultate oziroma modelske domneve;
- prediktivni modeli, kot je markovska analiza, so namenjeni predvidevanju prihodnosti za podane scenarije.

Kot izhaja iz te delitve, predstavljajo pomembno skupino odločitvenih modelov matematični ali analitični modeli (Shim idr., 2002). Reševanje polstrukturiranih problemov s takšnimi modeli omogočajo metode večkriterijske odločitvene analize (Triantaphyllou, 2000), ki so sposobne tudi obravnave nasprotujočih si ciljev ter nenatančnih, negotovih in nepopolnih informacij. Problem, s katerim se soočajo te metode, je sprejeti odločitev – izbrati ustrezno alternativo, sortirati alternative v vnaprej definirane kategorije ali razvrstiti alternative od najboljše do najslabše – z agregacijo vhodnih preferenčnih informacij (Siskos & Spyridakos, 1999).

Kadar je analitični pristop dobro utemeljen in formaliziran z aksiomi, govorimo o odločitvenih teorijah, med katerimi je bržkone najbolj ključna večatributna teorija koristnosti (Zeleny, 1982). Kadar so odločitvene metode ali tehnike implementirane v sklopu računalniške aplikacije, ki podpira celoten odločitveni postopek ali vsaj nekatere njegove korake, je to odločitveni sistem (Turban, Aronson & Liang, 2005). V primeru, ko je v postopku sprejemanja odločitve udeleženi več odločevalcev ali samostojnih odločevalskih agentov, pa gre za skupinsko odločanje ali pogajanje (Bregar, 2009c; Bregar, 2010; Riffa, Richardson & Metcalfe, 2002). Takrat se znatno poveča kompleksnost, saj je treba upoštevati številne dodatne vidike, kot so komunikacija, usklajevanje mnenj in iskanje konsenza.

Članek celovito obravnava kompleksnost večkriterijskih odločitvenih metod, tehnik in teorij ter odločitvenih modelov, v katerih so uporabljeni, odločitvenih sistemov, ki jih implementirajo, in procesov skupinskega odločanja ali pogajanj, ki temeljijo na njih. V nadaljevanju tega razdelka je podrobneje opisanih nekaj metod in tehnik, ki so ovrednotene v petem razdelku.

2.1 Tehnika delfi

Delfi je tehnika ustvarjalnega mišljenja, skupinskega reševanja problemov in asinhrona komunikacije (Linstone in Turoff, 2002; Pečjak, 1989). Primarno služi predvidevanju dogodkov v prihodnosti, s prilagoditvami jo lahko uporabimo tudi v druge namene, kot so iskanje in ocenjevanje alternativ, odkrivanje skupinskih vrednot in ciljev ali zbiranje informacij. Sestoji iz zaporedja vprašalnikov. Vsak član skupine v posameznem krogu odločitvenega postopka v številski obliki poda odgovore na zastavljena vprašanja. Presoje posameznih odločevalcev se za vsako vprašanje posebej združijo z izračunom statističnih vrednosti središčnega nagnjenja in variabilnosti – mediane, levega kvartila in desnega kvartila. Te vrednosti tvorijo prognostične trikotnike, ki v naslednjem krogu pomagajo odločevalcem pri usklajevanju in izražanju ustrežnejših mnenj. Člani skupine lahko tako na podlagi povratnih informacij popravljajo in dopolnjujejo svoje sodbe. Za postopke delfi je ključna vloga moderatorja, ki mora usmerjati skupino in skrbeti za zadostno raven komunikacije ter sodelovanja.

2.2 Nenatančne, mehke in celostne presoje

Za izpeljavo zanesljivih sklepov v večkriterijski odločitveni analizi morajo vhodni podatki ujeti človeške presoje v vsej njihovi kompleksnosti. Ta implikacija se izkaže za nestvarno v številnih situacijah, v katerih so modelirani zapleteni prednostni sistemi. Tedaj pomeni pridobivanje preferenčnih informacij od neizkušenega ali časovno omejenega odločevalca ozko grlo. Dognanja iz prakse namreč kažejo, da imajo ljudje pogosto težave z določitvijo natančnih vrednosti parametrov, ki formalizirajo osebne presoje ter povedo, kako naj bodo ovrednotene alternative (Ngo The & Mousseau, 2002). Potrjeno je, da odločevalci praviloma raje neposredno podajajo odločitve, kakor pa jih pojasnjujejo v smislu preferenčnih parametrov modela.

Ker so klasični postopki zbiranja preferenčnih informacij neprikladni in pogosto v nasprotju z odločevalčevo voljo do sodelovanja v njih, jih skušata nadomestiti dva pristopa – modeliranje nenatančnih, mehkih ali celostnih presoj in združitevni pristop. Prvi zajema množico precej različnih tehnik. Metode na temelju psevdokriterija in prednostne relacije vpečujejo pragove prednosti, enakovrednosti in veta, s katerimi odločevalci izrazijo nenatančnost, nedoločenost in negotovost v podatkih (Bregar, 2011; Roy, 1996). Podoben učinek je mogoče doseči z mehki ali lingvističnimi vrednostmi, ki določajo stopnje pripadnosti mehkim množicam, s čimer odločevalec pove, da za neko alternativo velja več lastnosti ali da velja posamična lastnost le v določeni meri (Herrera-Viedma, Herrera & Chiclana, 2002; Zhang & Lu, 2003; Zimmermann, 1996). Čeprav je kognitivno precej zahtevno, je bilo že pred nekaj desetletji priljubljeno tudi modeliranje negotovosti v podatkih s stopnjami verjetnosti ali verjetnostnimi porazdelitvami (Zeleny, 1982). Razmeroma pogosto in uporabno je še izražanje ocen znotraj intervalov dopustnih vrednosti (Bregar, 2009c) in izražanje kvalitativnih ordinalnih ocen v povezavi s klasifikacijo alternativ v urejene razrede ali kategorije (Moshkovich, Mechitov & Olson, 2002). Nekateri raziskovalci namreč trdijo, da so odločevalčeve preferenčne informacije bolj zanesljive, če so podane namesto v kardinalni v ordinalni obliki. Ta naj bi bila manj kompleksna in naj bi bila zato zmožna bolje odraziti človekove presoje. Poleg tega naj bi zmanjševala nasprotje med nejasnostjo, dvomljivostjo in nerazpoložljivostjo subjektivnih presoj ter natančnostjo ocenitev, ki jih zahteva večina kardinalnih metod.

2.3 Združitevno-razdružitevna analiza

Razdružitevni pristop (Bregar, 2005; Matsatsinis & Samaras, 2001; Siskos & Spyridakos, 1999) se sooči z odločanjem z obratnega zornega kota kakor tradicionalna paradigma. Njegova bistvena predpostavka je, da je odločitev poznana vnaprej. Tedaj se odpre vprašanje, kako je mogoče poiskati racionalno podlago za sprejetje te odločitve oziroma kako je mogoče specificirati preferenčni model, ki privede do enake ali karseda podobne odločitve, kot je dejanska. Filozofija razdruževanja je zgraditi model iz globalnih preferenčnih struktur, ki se nanašajo na omejeno množico že ocenjenih razpoložljivih alternativ, alternativ iz preteklosti ali fiktivnih alternativ z verodostojno izmerjenimi zaželenostmi. Referenčna množica torej zajema primerke stvarnih odločitev, ki nosijo potrebne informacije o presojevalni hevristici.

Postopek razdruževanja le inducira preferenčne informacije ter jih formalizira v obliki parametrov modela. Zaradi tega ne zadošča za sprejetje odločitve in mora biti kombiniran s klasičnimi metodami agregacije. Prepletanje združitevni in razdružitevni faz pomaga poglobiti znanje o problemu in izboljšati dojetje preferenc. Zajema faze razpoznavanja problema, modeliranja kriterijev, specifikacije globalnih presoj, konstrukcije preferenčnega modela, preverjanja konsistence preferenčnega modela z globalnimi presojami in odločitve. Splošna shema analize razdruževanja preferenc je podobna indukciji simboličnih modelov s strojnimi učenjem. Kljub pomembni stični točki – uporabi obstoječega znanja v obliki učnega vzorca – se filozofiji pristopov razlikujeta. Namen analize razdruževanja je tako usmerjati odločitveni proces skozi elicitacijo informacij, skladnih s presojami odločevalca, medtem ko je strojno učenje osredotočeno na izpeljavo modela v smislu pričakovane točnosti.

2.4 Analiza občutljivosti/robustnosti

Ker je odločitveni model poenostavljena in formalizirana predstavitev problemske domene, modelske domneve ne smejo biti neposredno, brez dodatnega ovrednotenja, upoštevane kot dokončne odločitve. Vhodi, od katerih so odvisni rezultati modela, namreč pogosto temeljijo na predpostavkah o negotovi prihodnosti in odražajo nezanemarljivo mero nenatančnosti, ki je posledica pomanjkljivih in omejenih informacij o problemski domeni, subjektivnih ocen, miselnega bremena odločevalcev ter slabega vpogle-

da v relacije med parametri modela. Iz navedenih razlogov je treba temeljito analitično preveriti modelske domneve. Izpeljava kvantitativnih oziroma kvalitativnih ocen alternativ z agregacijo vhodnih parametrov mora predstavljati šele prvi korak tretje faze celovitega procesa odločanja, saj ni namen odločitvene analize samo ovrednotenje razpoložljivih alternativ, temveč tudi in predvsem usmerjanje odločevalcev k poglobljenemu razumevanju problemske domene ter vpliva parametrov in relacij med njimi na rezultate modela. Tehnika, ki to omogoča, je analiza občutljivosti. Z njo lahko odločevalci presodijo vpliv sprememb v vhodnih podatkih na predlagano rešitev, posledice negotovosti, učinke interakcij med soodvisnimi spremenljivkami, robustnost odločitev v spreminjajočih se pogojih ter minimalne potrebne spremembe vhodov, ki privedejo do (ne) zelenih rezultatov.

Analiza občutljivosti/robustnosti je eden ključnih konceptov večkriterijske podpore odločanju (Saltelli, Tarantola & Chan, 1999). Odločevalcu pomaga, da se pripravi na negotovo, nepričakovano ali potencialno ekstremno prihodnost ter z vnašanjem in opazovanjem sprememb izboljša svoje razumevanje problema. Vendar pa izkušnje kažejo, da je izčrpne analize občutljivosti/robustnosti zaradi precejšnje večdimenzionalne kompleksnosti praviloma težko predočiti analitiku (Hodgkin, Belton & Koulouri, 2005), zaradi česar je priporočljivo implementirati in uporabiti tudi interaktivna vizualna orodja, ki za večino ljudi pomenijo učinkovit način komunikacije in lahko bistveno izboljšajo proces reševanja problemov. Obstaja več pristopov k analizi občutljivosti in njeni vizualizaciji (Bregar, Györkös & Jurič, 2009; Vincke, 1999), kot so intervali ali večdimenzionalna območja vrednosti preferenčnih parametrov, na katerih se ohranja stabilna razvrstitev ali klasifikacija alternativ, minimalne razdalje do vektorjev preferenčnih parametrov, pri katerih se odločitev spremeni, interaktivno prilagajanje uteži kriterijev, reševanje primerov »kaj če«, iskanje ciljev, analiza po glavnih komponentah itd.

2.5 Tehnike strukturiranja

Tehnike strukturiranja omogočajo sistematično pridobivanje, opisovanje in organizacijo informacij, ki so relevantne za proces reševanja problemov ali odločanja. Von Winterfeldt & Fasolo (2009) obravnava strukturiranje problemov v kontekstu odločit-

vene analize kot postopek, ki sestoji iz treh korakov – identifikacije problema, izbire ustreznega analitičnega pristopa in oblikovanja podrobne analitične strukture. V svojem delu nakažeta, da je na voljo širok nabor tehnik strukturiranja, kar potrjujeta tudi Mingers & Rosenhead (2004). Med bolj znanimi sta hierarhično strukturiranje odločitvenih ciljev, kriterijev in alternativ z orodjem Expert Choice v povezavi z uporabo metode AHP (Forman & Selly, 2001) ter strukturiranje kriterijev z odločitvenim sistemom MACBETH (Bana e Costa idr., 1999), ki podpira ciklični interaktivni proces kardinalnega merjenja značilnosti alternativ na podlagi primerjalnih presoj, izraženih na semantični intervalni lestvici v razponu od zelo šibke do zelo močne razlike v zaželenosti. V obeh primerih gre za grafična urejevalnika, ki sta namenjena enostavnemu interaktivnemu oblikovanju hierarhije konceptov.

3 MODEL VREDNOTENJA ODLOČITVENIH METOD IN SISTEMOV

Dokumentiranih je nekaj modelov za empirično ocenitev in primerjavo odločitvenih metod in sistemov ter procesov reševanja problemov individualnega ali skupinskega odločanja (Ait Haddou, Camilleri & Zarate, 2012; Benbunan-Fich, Hiltz & Turoff, 2002; Paul, Haseman & Ramamurthy, 2004; Stohr & Konsynski, 1992; Triantaphyllou, 2000; Tung & Quaddus, 2002). Med njimi obstajata dve celoviti ogrodji za vrednotenje večkriterijskih pristopov k odločanju. Peniwati (2007) je na podlagi konsolidacije predhodnih modelov vpeljal ogrodje, ki sestoji iz šestnajstih kvalitativnih kriterijev z vrednostmi s petstopenjske ordinalne lestvice. Na podlagi ogrodja je ocenil metode strukturiranja, razvrščanja in merjenja, med katerimi so zapisovanje analogij in asociacij, vihanje možganov, nominalna skupinska tehnika, delfi, glasovanje, razvrščanje na podlagi prednostne relacije, večciljni programiranje, Bayesova analiza, AHP ter večatributna teorija koristnosti.

Drugo ogrodje je bilo definirano v sklopu lastnih raziskav (Bregar, 2005; Bregar, 2009c). Sprva je zajemalo petnajst temeljnih kriterijev, operacionaliziranih s 54 kvantitativnimi metrikami in podkriteriji. Služilo je kot osnova za ovrednotenje združitveno-združitvenega večagentnega pogajalskega mehanizma (Bregar, 2009b; Bregar, 2011) ter z vidika kognitivne kompleksnosti tudi nekaterih drugih sodobnih in pogosto uporabljenih tehnik skupinskega

odločanja (Bregar, 2009a), kakršne so ELECTRE TRI za skupine, ELECTRE-GD, skupinski PROMETHEE, združevanje z metodama ELECTRE III in PROMETHEE izpeljanih delnih vrstnih redov alternativ, skupinska aplikacija večatributne funkcije koristnosti, skupinski AHP ter iterativni postopek iskanja konsenza z integracijo različnih formatov in mehkih operatorjev sinteze preferenc.

Zaradi stičnih točk sta bili ogrodji usklajeni, združeni in nadgrajeni v celovito univerzalno ogrodje za vrednotenje metod in sistemov za podporo odločanju (Bregar, 2010). To sestoji iz 29 temeljnih kriterijev, strukturiranih v 80 metrik in podkriterijev. Njegov cilj je zagotoviti standard za enotno ocenjevanje in primerjavo širokega nabora pristopov k odločitveni analizi ter pri tem zaobjeti vse relevantne vidike, ki so v največji možni meri operacionalizirani s kvantitativno merljivimi podkriteriji.

Strukturo celovitega modela za vrednotenje odločitvenih metod in sistemov podaja slika 1. Zajeti so samo temeljni kriteriji in visokonivojske skupine, v katere so organizirani. Elementarni podkriteriji so zaradi preglednosti izpuščeni. Definirani bodo v nadaljevanju tega razdelka.

Na vrhnjem hierarhičnem nivoju so tri skupine kriterijev. Dejavniki vzdrževanja odločitvene skupine odražajo sposobnost metode/sistema/procedure za organizacijo in vodenje procesa skupinskega odločanja z osredotočanjem na konvergenco h konsenzni odločitvi, učinkovitost in pravičnost komunikacije med člani skupine ter na vidik organizacijskega in individualnega učenja. Analiza predstavlja najobširnejšo skupino kriterijev. Nanaša se tako na individualno kot na skupinsko večkriterijsko odločitveno analizo. Pokaže, ali je odločitveni proces izčrpen, zanesljiv, verodostojen, nadzirljiv in informacijsko učinkovit. Metodološko-teoretične osnove prav tako vplivajo na verodostojnost in uporabnost, s čimer lahko metodo ali sistem približajo končnemu uporabniku. Posledično učinkujejo tako na uporabniško zaznavno kot na računsko-metodološko kompleksnost.

Upoštevanje celotnega nabora definiranih dejavnikov ni obvezujoče. Odločevalci posežejo samo po tistih dejavnikih, ki so smiselni in relevantni za dejansko problemsko situacijo ter razpoložljive pristope k podpori pri odločanju. Odločevalci lahko po svoji presoji zanemarijo tako posamične dejavnike kot skupine le-teh. Izpuščeni dejavniki v takšnih primerih nimajo vpliva na kompleksnost.

Vzdrževanje odločitvene skupine	
Usmerjanje postopka odločanja	
+	Sposobnost avtonomnega vodenja
+	Razreševanje nesoglasij
+	Konvergenca mnenj
	Zmožnost doseganja kompromisa
Učinkovitost komunikacije	
+	Zmožnost asinhronne interakcije
+/-	Skupni čas, porabljen za sprejetje odločitve
-	Čas aktivnosti posameznega odločevalca
Pravičnost	
	Prioretizacija odločevalcev
	Demokracija upoštevanja mnenj vseh odločevalcev
	Zmožnost učenja o problemski situaciji
Analiza	
Zahtevnost analize	
-	Začetno miselno/informacijsko breme
-	Miselno/informacijsko breme med odločitveno analizo
-	Kompleksnost tipov informacij
Verodostojnost analize	
+/-	Širina in globina analize
Vhodni podatki	
+	Ustreznost, učinkovitost in relevantnost presoj
+/-	Stopnja nenatančnosti, nedoločenosti in negotovosti
Izhodni podatki	
+	Bogatost kardinalnih razločevalnih informacij
	Točnost odločitve
	Veljavnost rezultatov
Robustnost odločitve	
	Občutljivost na spremembe v strukturi problema
	Občutljivost na spremembe v podatkih
	Občutljivost na spremembe v odločitveni skupini
Abstrakcija problema	
+/-	Izčrpnost analize problemske domene
+	Osredotočenost na reševanje problema
+	Določitev alternativ
Učinkovitost strukture kriterijev	
+	Širina
+	Globina
Metodološke osnove	
+/-	Teoretična/matematična veljavnost
+	Psihofizična aplikativnost

Slika 1: **Temeljni kriteriji ocenitvenega modela in njihov vpliv na kompleksnost**

3.1 Usmerjanje postopka odločanja

Za skupinske odločitvene postopke pogosto velja, da se močno zanašajo na doprinos človeka kot moderatorja, katerega delovanje je subjektivno in neredko

podvrženo neracionalnosti, pristranskosti ter omejitvam razpoložljivih podatkov, časa in znanja. Ker takšno vodenje v splošnem ni učinkovito in ker ne olajša dela odločevalcem ali njihovim agentom, je nujno, da prevzame vlogo moderatorja implementirani sistem. Obdelati in ovrednotiti mora relevantne podatke ter na podlagi pridobljenih informacij poiskati stične točke in nasprotja v presojah ljudi ali agentov. Svetovati mora glede najprimernejših vrednosti parametrov in akcij, ki naj bi jih izvršili člani skupine. To je sicer težka naloga, s katero pa se je že ukvarjalo nekaj raziskav, bodisi v smislu samodejne konsolidacije presoj (Bregar, 2009c; Bregar, 2013) bodisi v luči vpliva moderatorja (Borštnar idr., 2011).

Sposobnost avtonomnega vodenja je mogoče objektivno oceniti na podlagi dveh metrik. Prva je razmerje med deležema uspešnih in neuspešnih danih napotkov sistema, pri čemer je uspešen napotek tisti, ki privede do konsenza, zmanjša miselno breme ali izboljša znanje skupine prek zagotavljanja vpogleda v problemsko domeno in njeno formalno predstavitev. Druga metrika kvantificira gibanje kompromisne rešitve skozi iteracije postopka pogajanja v smislu glasov, ki jih prejmejo različne alternative.

S sposobnostjo vodenja je pogojeno *razreševanje nesoglasij*, ki pa pomeni ožji koncept. Do nesoglasij pride zaradi navzkrižnih zahtev odločevalcev ali njihovih zastopniških agentov. Nujno je, da sistem v vlogi moderatorja premosti konflikte, ki so posledica razhajanj presoj udeležencev, izraženih z vhodnimi parametri modela in zrcaljenih v različnih individualnih odločitvah. Z maksimizacijo števila uspešnih posegov moderatorja mora biti dosežen konsenz ali vsaj kompromis. Meriti je mogoče deleža (ne)uspešnih moderatorjevih posredovanj, delež nerazrešenih nesoglasij in dosežene stopnje strinjania odločevalcev v posameznih iteracijah.

Razreševanje nesoglasij ima izrazit vpliv na *konvergenco mnenj*, ki je eden najpomembnejših dejavnikov kakovosti skupinskih odločitvenih sistemov. Učinkoviti postopki ne potrebujejo veliko iteracij za konvergenco k odločitvi, dosežejo visoko stopnjo konsenza in zagotovijo, da večina udeležencev izrazi zadovoljstvo glede sprejete skupinske odločitve. Optimalen pristop omogoča povsem samodejno približevanje konsenzu, kar pomeni, da so ljudje odgovorni le za določitev izhodiščnih vrednosti ali intervalnih omejitev preferenčnih parametrov, medtem

ko skrbi za prilagajanje teh parametrov z namenom poenotenja individualnih zahtev algoritmem.

Četudi individualna mnenja ne konvergirajo k popolnemu konsenzu, je lahko zagotovljena zadostna učinkovitost odločitve na podlagi *zmožnosti doseganja kompromisa*. Vendar tudi ta ne pomeni privzete danosti, saj imajo metode za skupinsko odločanje praviloma kompenzacijski značaj. To pomeni, da izvira sprejeta odločitev iz združenih, najpogosteje povprečnih vrednosti preferenčnih parametrov. Toda te ne odražajo nujno mnenja večine odločevalcev ali avtonomnih agentov, zaradi česar se utegne zgoditi, da najboljše ocenjeni alternativni ne daje prednosti (skoraj) nihče, pač pa je njena izbira zgolj posledica znatnega nesoglasja v skupini.

Učinkoviti pristopi k skupinskemu odločanju premoščajo ta problem, tako da je razvidno, koliko udeležencev postopka podpira izbiro posamezne alternative. Zato se ne more zgoditi, da bi bila sprejeta rešitev, s katero se ne bi strinjala večina ljudi ali agentov. Posledično je dosežen realen kompromis, ki ni samo neka navidezna odločitev. Takšen učinkovit kompromis rezultira v enoličnosti izbire najboljše alternative, veliki oddaljenosti najboljše alternative od ostalih neoptimalnih alternativ ter enakomerni in robustni ordinalni razvrstitvi alternativ.

3.2 Učinkovitost komunikacije in zmožnost učenja

Za skupinske postopke delfi je nujna *zmožnost asinhronne interakcije* (Linstone & Turoff, 2002). Pogoja zanjo sta majhno število umikov iz skupine, ki je nasploh eden bistvenih faktorjev verodostojnosti in učinkovitosti vseh skupinskih procesov, ter dolg skupni čas za sprejetje odločitve. Princip asinhronne interakcije je pomemben, ker ni treba, da so vsi odločevalci istočasno udeleženi pri reševanju problema, za kar pogosto nimajo niti možnosti. Svoje presoje podajo takrat, ko jim to dopuščajo zadolžitve in interesi.

Tip interakcije vpliva na čas, *porabljen za sprejetje odločitve*. Gre za spremenljivko, z ozirom na katero kakovost odločitvene metode ni enolično določena, ampak je odvisna od konkretnega položaja. Običajno je velika hitrost sprejetja odločitve pogoj za konvergenco mnenj (Paul, Haseman & Ramamurthy, 2004). Po drugi strani pa privede dolg časovni interval do prednosti asinhronne interakcije.

Nekaj raziskovalcev zagovarja *prioritetnost odločevalcev*, to je dodelitev različnih vplivov različnim članom skupine, saj naj bi imeli določeni posamezni

ki odgovornost in pravico implementirati odločitev (Zhang & Lu, 2003). V tem primeru morajo biti odnosi v skupini hierarhični, kar je doseženo tako, da so odločevalcem pripisane uteži. Pri tem je bodisi mogoča natančna in eksplicitna določitev uteži pomembnosti članov skupine ali pa so sicer dopuščeni neenakovredni odnosi med člani skupine, vendar so uteži izpeljane posredno z ordinalno ali kakšno drugo aproksimacijo.

Predhodni kriterij komplementarno dopolnjuje kriterij *demokratičnosti upoštevanja mnenj vseh odločevalcev*. Učinkovita metoda je namreč takšna, da jo je v odvisnosti od potreb mogoče prikrojiti tako demokratičnemu kot hierarhičnemu postopku odločanja. Naraščajoča domena vrednosti tega kvalitativnega kriterija je:

1. enakovrednost odločevalcev ni dopuščena;
2. z agregacijo presoj je poiskana kompromisna rešitev, ki ni nujno odraz mnenja večine ali vseh odločevalcev;
3. poiskana je pravična konsenzna odločitev, ki se ne odraža v samo navideznih skupnih ocenah alternativ ter dopušča veto posameznih članov skupine in vztrajanje na lastnem prepričanju;
4. odločevalci imajo jasen vpogled v mnenje skupine ter so sposobni učenja in prilagajanja presoj na njegovi podlagi.

Zadnji dejavnik v tej skupini je *zmožnost učenja o problemski situaciji*, ki se udejanja tako pri posamezniku kot pri celotni skupini. Odločitveni sistem mora predstaviti odločevalcu preference vseh članov skupine in nakazati na ujemanja in razhajanja med njegovimi pogledi ter pogledi kolegov. Tako mu lahko omogoči, da upošteva postavke, ki jih je morda spregledal, osvetli problem z dopolnilnih zornih kotov in črpa iz izkušenj drugih. Zaželeno je, da je učenje udejanjeno tudi na organizacijski ravni, s čimer je doseženo prehajanje znanja in izkušenj med različnimi problemskimi domenami in sejami komunikacije.

3.3 Zahtevnost analize

Začetno miselno/informacijsko breme je pogojeno s tehničnimi/teoretičnimi značilnostmi metode, predvsem s količino potrebnih vhodnih podatkov za posamezni kriterij. Oceniti ga je mogoče s pomočjo matematičnih enačb, ki sestojijo iz konstantnih vrednosti, števil alternativ, atributov, kategorij in odločevalcev ter nekaterih drugih specifičnih spremenljivk.

Relevantne metrike so skupno število preferenčnih parametrov, količina vhodnih podatkov za prvo iteracijo odločitvenega postopka in subjektivno občutena zahtevnost izražanja preferenc. Upoštevanje subjektivnosti je pomemben korekcijski faktor v ocenjevanju kompleksnosti, ker objektivno izmerjene količine preferenčnih parametrov in podatkov niso nujno verodostojen pokazatelj, kako težko je operirati z njimi.

Miselno/informacijsko breme med potekom odločitvene analize je mogoče meriti enako kot začetno breme ter ga reducirati z ustreznim vodenjem postopka in sposobnostjo sistema za učinkovito avtomatizirano indukcijo vrednosti parametrov modela. Odraža se v številu operacij, ki jih mora opraviti odločevalac v posamezni iteraciji, in v zapletenosti teh operacij. Metrike so količina podatkov, ki jih je treba obdelati v posamezni iteraciji, število ročnih prilagoditev parametrov na iteracijo, število operacij analize občutljivosti na iteracijo in subjektivna občutena kompleksnost operacij. Iteracija je v tej definiciji mišljena kot zaporedni krog izvedbe odločitvenega postopka. V vsakem krogu odločevalci analizirajo lastne in morebitne skupne ocene ter po potrebi prilagodijo svoje presoje. Klasičen primer tehnike, ki se uporablja skozi zaporedje iteracij oziroma krogov odločanja, je delfi (Linstone & Turoff, 2002).

Bistven dejavnik zahtevnosti odločitvene analize je tudi *kompleksnost tipov informacij*. Ta vpliva na težavnost izvajanja presoj, ki so lahko podane v različno zapletenih in za človeka prikladnih oblikah. V praksi je tako pogosto proučevana razlika med parnimi primerjavami in neposrednim izražanjem vrednosti (Triantaphyllou, 2000). Pri ocenjevanju učinkovitosti posamezne odločitvene metode je v splošnem treba analizirati in hkrati upoštevati več tipov informacij, kajti ni nujno, da imajo vsi preferenčni parametri enako obliko. Možni tipi informacij, urejeni po naraščajoči kompleksnosti, so holistične ocene referenčnih alternativ (Bregar, 2009c), binarne vrednosti in binarna ali ternarna prednostna relacija (Roy, 1996), mehke vrednosti ali lingvistični kvantifikatorji (Zimmermann, 1996), kvalitativne vrednosti, intervali dopustnih kvantitativnih vrednosti ter neposredno izražene natančne kvantitativne vrednosti. Ker različni uporabniki praviloma različno subjektivno dojemajo kompleksnost posameznih tipov informacij, lahko razvrstitev tudi prikrojijo svojim izkušnjam in zaznavam.

3.4 Verodostojnost analize

Širina in globina analize je kvalitativen kriterij. Njegova domena je določena z naraščajočo lestvico ocen (Peniwati, 2007):

1. mogoča ni niti sinteza presoj niti analiza odločitvenega modela in problemske situacije, ki jo opisuje model;
2. zagotovljena je samo sinteza ocen;
3. omogočena je elementarna analiza, ki daje površen vpogled v problem in v odločitveni model ter je omejena s tehničnimi/teoretičnimi značilnostmi metode;
4. na podlagi tehničnih/teoretičnih značilnosti metode ter podprtih tehnik vizualizacije in analize robustnosti je omogočen poglobljen vpogled v model in problemsko situacijo (Bregar, Györköš & Jurič, 2009).

Ustreznost, učinkovitost in relevantnost presoj je zelo pomemben kriterij, kajti odločevalec mora imeti popolno zaupanje v svoje presoje in v način njihovega izražanja. Poleg tega lahko le ustrezne in relevantne presoje zagotovijo veljavnost rezultatov odločitvene analize. Za kriterij je definiranih več podkriterijev, kot so oblika presoj, zadovoljstvo s postopkom izražanja presoj, zadovoljstvo s celovitostjo presoj glede na obseg problemske domene in cilje odločanja, zmožnost iterativnega prilagajanja in izboljševanja (ostrenja) presoj ter sposobnost metode/sistema za samodejno izpeljavo konsistentnih presoj iz obstoječih modeliranih in sintetiziranih preferenčnih podatkov.

Stopnja nenatančnosti, nedoločenosti in negotovosti, s katero se je sposoben spoprijeti sistem za podporo odločanju, je ena od tehničnih spremenljivk. V splošnem je največja pri metodah, ki temeljijo na konceptih psevdokriterija in prednostne relacije (Roy, 1996), teoriji mehkih množic (Zimmermann, 1996) ali teoriji verjetnosti. Pomembno je, da majhna odstopanja v nezanesljivih podatkih ali človekovem dojemanju, ki jih ni mogoče odpraviti, ne privedejo do neskladnih, nasprotujočih si odločitev. Omenjena stopnja ima močan vpliv na robustnost in točnost odločitve.

Bogatost kardinalnih razločevalnih informacij nakazuje, v kolikšni meri se alternative, ki jih je ocenil posameznik ali celotna odločitvena skupina, razlikujejo po zaželenosti. Razločevalne informacije so tem bogatejše, čim večje so razdalje ali razmerja med ocenami alternativ. V praksi stremimo k temu, da so nekatere alternative znatno boljše od drugih,

saj izberemo za implementacijo samo eno ali peščico izmed njih. Zato mora dati metoda dovolj bogate razločevalne informacije in ne tako rekoč enakovrednih ocen. Prav tako je ugodneje, če so razlike med alternativami izražene kardinalno in ne ordinalno. Iz teh razlogov obravnavajo podkriteriji, ki merijo bogatost razločevalnih informacij, zmožnost kardinalnega razločevanja alternativ po zaželenosti, povprečno razdaljo med ocenama dveh alternativ, ki se nahajata na zaporednih mestih, ter povprečno oddaljenost najboljše alternative od vseh ostalih neoptimalnih alternativ.

Čeprav je *točnost odločitve* morda najbolj bistven kriterij vrednotenja odločitvenih metod in sistemov, jo je težko potrditi. Točna odločitev je namreč tista, ki se z uspešno implementacijo izkaže v praksi. Zato je edina smiselna metrika za njeno kvantitativno ocenitev ugotovljena učinkovitost sprejete odločitve po realizaciji. Vsi ostali dejavniki, ki se posredno nanašajo nanjo, so definirani kot podkriteriji nekaterih drugih kriterijev, zlasti *veljavnosti rezultatov*. Kriterija se razlikujeta predvsem v tem, da je prvega mogoče objektivno oceniti šele po implementaciji, medtem ko je veljavnost rezultatov znana in kvantitativno določljiva že med postopkom odločitvene analize na podlagi več merljivih podkriterijev, kot so število umikov članov odločitvene skupine, subjektivna stopnja zaupanja v rezultate, natančnost rezultatov glede na njihovo kvantitativno ali kvalitativno obliko ter narava izhodnih podatkov glede na vhode. Pri tem so lahko rezultati dobljeni na podlagi boljše ali slabše strukturiranih vhodov z ordinalno ali kardinalno obliko.

Sprejeta odločitev mora biti robustna. Zaželeno je, da je minimalna sprememba preferenčnih parametrov, ki povzroči drugačno odločitev, čim večja. *Robustnost odločitve* je v kontekstu odločitvene analize pomemben koncept (Bregar, Györköš & Jurič, 2009). Zato je na voljo precej pristopov, ki jo dokazujejo z uporabo matematičnih in/ali algoritmičnih metrik. Ker so te prirojene specifičnim metodam, je v ocenitvenem modelu nujna generična obravnava občutljivosti na spremembe v strukturi problema, podatkih in odločitveni skupini.

3.5 Abstrakcija problema

Izčrpnost analize problemske domene pomeni, da je zagotovljen vpogled v vse za odločanje ali pogajanje bistvene postavke. Podrejanje večinskemu mnenju in osredotočenost na skupne cilje ne sme zamegli-

ti ali celo izločiti obrobni dejavnikov, ki so morda pomembni zgolj za nekatere odločevalce, vendar lahko znatno doprinesejo h kakovosti rezultatov. Upoštevati je treba zadovoljstvo z naborom obravnavanih alternativ ter z definicijami domen in uteži kriterijev, subjektivno dojetje skladnosti izvedbe postopka s cilji odločanja in ujemanje z lastnostmi sorodnih problemskih situacij.

Osredotočenost na reševanje problema je kvalitativni kriterij z naraščajočo zalogo vrednosti (Peniwati, 2007).

1. Metoda ne zagotavlja učinkovitih mehanizmov, ki bi spodbudili osredotočenost na problemsko domeno in postopek odločanja ter bi razvijali abstrakcijo.
2. Metoda delno razvija abstrakcijo, vendar implicira omejitve, ki zavirajo skupinsko mišljenje.
3. Mehanizmi analize dajejo povratne informacije in razvijajo problemsko abstrakcijo.
4. Metoda spodbuja učenje z dvojno zanko ter z njim povezano odpravljanje napak in spreminjanje preferenčnih struktur.

Nekatere metode vključujejo mehanizme za identifikacijo in opisovanje alternativ. Kadar teh mehanizmov ni, morajo odločevalci poseči po komplementarnih tehnikah, saj je oblikovani nabor alternativ privzet in obvezen vhod v odločitveni postopek. Zato je zaželena zmožnost učinkovite *določitve alternativ* v sklopu enega od standardnih opravil.

Odločitvena metoda ne sme omejevati števila obvladljivih kriterijev in njihove strukture – niti v širino niti v globino. *Širino strukture kriterijev* merimo na podlagi povečanja količine vhodnih podatkov ob dodajanju novega kriterija, subjektivno zaznane zgornje meje obvladljivosti števila kriterijev in učinkovitosti agregacije. *Globino strukture kriterijev* obravnavajo analogne metrike. Prva se namesto na dodajanje novega kriterija nanaša na novo skupino kriterijev. Druga meri zgornjo mejo obvladljivosti števila nivojev.

3.6 Metodološka osnovanost

Aplicirana sta dva kvalitativna, nekoliko protislovna kriterija. Metoda naj bi bila znanstveno utemeljena, kar pomeni osnovanost na vsaj deloma aksiomatizirani matematični teoriji. Hkrati pa ta teorija ne sme biti prezahtevna za povprečno izkušenega odločevalca. Metoda mora biti namreč preprosta in intuitivna za uporabo.

4 DEJAVNIKI KOMPLEKSNOŠTI

Dejavniki, ki vplivajo na uporabniško zaznavno in računsko-metodološko kompleksnost, so identificirani na sliki 1, tako da je za vsak takšen dejavnik usmerjenost vpliva označena z znakom +, – ali +/- . Ker je cilj minimizacija kompleksnosti, pozitivni vpliv pomeni, da kompleksnost pada z višanjem ocene glede na dejavnik. Obratno za negativni vpliv velja, da kompleksnost raste sorazmerno z rastjo ocene po dejavniku. Znak +/- pa nakazuje, da vpliva ni mogoče enolično določiti – v nekaterih primerih je lahko pozitiven, medtem ko je v drugih negativen. Kjer znak +, – ali +/- na sliki 1 ni podan, gre za dejavnik, od katerega uporabniško zaznavna ali računsko kompleksnost ni neposredno odvisna.

Primer dejavnika s pozitivnim vplivom je sposobnost avtonomnega vodenja. Večja kot je, manj truda je potrebnega za člane odločitvene skupine, da oblikujejo svoje presoje in se uskladijo med seboj. Hkrati lahko v veliki meri izgine potreba po prisotnosti moderatorja. Stopnja človeško zaznavne kompleksnosti se zaradi tega bistveno zmanjša. Po drugi strani pa porast začetnega miselnega/informacijskega bremena ali miselnega/informacijskega bremena med odločitveno analizo vselej negativno vpliva na človeško zaznavno kompleksnost, ker se ta monotono povečuje z večanjem količine preferenčnih informacij, ki jih mora specificirati in analizirati odločevalec.

Prednosti in/ali slabosti z vidika vpliva na kompleksnost so za vsak ključni dejavnik sistematično specificirane v tabelah 1 do 3. Posamezna tabela se nanaša na eno od treh temeljnih visokonivojskih skupin kriterijev, in sicer na vzdrževanje odločitvene skupine, analizo in metodološke podlage.

Tabela 1: **Vzdrževanje odločitvene skupine**

Dejavnik	Prednosti	Slabosti
Sposobnost avtonomnega vodenja	Odločitveni sistem proaktivno svetuje odločevalcu, kako nadaljevati s postopkom odločitvene analize. Oblikuje priporočila, kako specificirati ali prilagoditi presoje.	
Razreševanje nesoglasij	Učinkoviteje, bolj preprosto in hitreje pride do poenotenja posameznega odločevalca z odločitveno skupino.	
Konvergenca mnenj	Posameznik mora analizirati manjše intervale/množice/prostore preferenc ostalih odločevalcev, zaradi česar je poenotenje s skupino lažje.	
Zmožnost asinhrona interakcije	Odločitvena analiza ni podvržena bistvenim časovnim omejitvam; odločevalec ni pod pritiskom in je lahko aktiven, ko mu to dopušča čas; ni treba, da so vsi odločevalci ves čas aktivni v postopku odločanja.	
Skupni čas, porabljen za sprejetje odločitve	Če je čas kratek, je mogoča hitra in učinkovita konvergenca h konsenzu kot posledica poenotenja stališč. Če je čas dolg, se zmanjša kratkoročno in dolgoročno miselno breme ter izboljša razumevanje presoj.	Če je čas kratek, je kratkoročno miselno breme potencialno veliko. Če je čas dolg, je odločitveni proces potencialno neučinkovit in nekonvergenten.
Čas aktivnosti posameznega odločevalca		Če je čas dolg, je odločitvena analiza za odločevalca miselno obremenjujoča.
Zmožnost učenja o problemski situaciji	Odločevalec pridobi novo in poglobljeno znanje ter boljši vpogled v problemsko situacijo, zaradi česar lahko sprejeme odločitev hitreje in bolj preprosto.	Dodatne informacije lahko odločevalca »zvajajo« k pretirano poglobljeni, časovno potratni analizi. Potrebna je samodisciplina.

Tabela 2: **Analiza**

Dejavnik	Prednosti	Slabosti
Začetno miselno breme		Odločevalec mora zagotoviti veliko količino preferenčnih informacij. Specifikacija presoj je lahko miselno težavna in časovno zahtevna.
Miselno breme med odločitveno analizo		Odločevalec mora izvesti veliko analitičnih operacij. Operacije so lahko miselno težavne in časovno zahtevne.
Kompleksnost tipov informacij		Izražanje presoj je lahko miselno težavno in časovno zahtevno.
Širina in globina analize	Zagotovi dober vpogled v odločitveni problem. Lahko izboljša učinkovitost in enostavnost analize preferenčnih informacij.	Količina informacij, ki jih je treba analizirati, se utegne prekomerno povečati.
Ustreznost, učinkovitost in relevantnost presoj	Poveča se zaupanje v presoje in njihovo izražanje ter v veljavnost rezultatov.	
Stopnja nenatančnosti, nedoločenosti in negotovosti	Odločevalec z lahkoto izraža »približne« preference, tudi če nima polnega zaupanja v svoje presoje.	Praviloma so potrebne dodatne informacije za izražanje nenatančnosti, nedoločenosti in/ali negotovosti (pragovi, verjetnostne porazdelitve itd.).
Bogatost kardinalnih razločevalnih informacij	Odločevalec bolj preprosto in transparentno razpozna pozitivno izstopajoče alternative, ki so dobri kandidati za učinkovito odločitev.	
Izčrpnost analize problemske domene	Na voljo so vse za odločanje relevantne informacije. Upoštevani so vsi dejavniki in cilji. Podrejanje večinskemu mnenju ne izloči obrobni dejavnikov, ki lahko znatno doprinesejo h kakovosti rezultatov.	Zaradi potencialno velike količine informacij je potrebno ustrezno strukturiranje in organiziranje.
Osredotočenost na reševanje problema	Spodbujena sta osredotočenost na ključne podatke, presoje, cilje in postavke reševanja problema ter razvoj abstrakcije na individualni in skupinski ravni.	
Določitev alternativ	Identifikacija in opisovanje alternativ sta hitra, preprosta, razumljiva in organizirana.	
Učinkovitost strukture kriterijev	Na miselno obvladljivo raven se reducirajo omejitve glede skupnega števila kriterijev in števila gnezdenih skupin kriterijev.	

Tabela 3: **Metodološka osnovanost**

Dejavnik	Prednosti	Slabosti
Znanstvena in matematična utemeljenost	Za tehnično in matematično kompetentnega odločevalca je uporaba metode, sistema ali modela formalizirana in standardizirana.	Uporaba je lahko potencialno zahtevna za nekoga, ki ni tehnični ekspert.
Psihofizična aplikativnost	Za povprečnega odločevalca je odločitvena metoda razumljiva, intuitivna, uporabna in preprosta za učenje.	

Dejavniki modela kompleksnosti so korelirani. Obstajajo tri možne smeri korelacij. Pozitivna korelacija med faktorjema X in Y je označena s $+$. Pomeni, da se ocena odločitvene metode glede na dejavnik Y zviša, če se zviša ocena glede na dejavnik X . Negativna korelacija je označena z znakom $-$ in implicira znižanje ocene po dejavniku Y kot posledico zvišanja

po dejavniku X . Če lahko zvišanje ocene z ozirom na X povzroči bodisi zvišanje bodisi znižanje po Y , pa usmerjenost korelacije ni enolično določena in je predstavljena s $+/-$. Povišanje ocene glede na opazovani dejavnik je interpretirano kot značilnost ali zmožnost odločitvene metode oziroma sistema, da ustreza specifikaciji dejavnika.

	Usmerjanje postopka odločanja	Učinkovitost komunikacije	Zmožnost učenja	Zahtevnost analize	Širina in globina analize	Vhodni podatki	Izhodni podatki	Robustnost	Abstrakcija problema	Metodološke podlage
Usmerjanje postopka odločanja	NA	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Učinkovitost komunikacije	NA	NA	+	+	+	+/-	+/-	NA	+	+
Zmožnost učenja	NA	+	NA	+	+	+	+	NA	+	+
Zahtevnost analize	-	-	-	NA	-	+/-	+/-	-	-	-
Širina in globina analize	-	+	+	+/-	NA	+	+/-	NA	+	+/-
Vhodni podatki	+/-	+/-	+	+/-	+	NA	+	+/-	+	NA
Izhodni podatki	NA	+	+	+/-	+	NA	NA	+	+	+
Abstrakcija problema	+	+	+	+/-	+	+	+	+	NA	+
Metodološke podlage	+	+	+	+	+	+	+	+	+	NA

Slika 2: **Korelacije med skupinami dejavnikov**

Na sliki 2 so izpeljane korelacije med skupinami dejavnikov. Razbrati je mogoče visoko stopnjo medsebojne odvisnosti. Najvplivnejši sta skupini usmerjanja postopka odločanja in metodoloških podlag. Zlasti zmožnost avtonomnega usmerjanja (skupinskega) odločitvenega postopka ima strogo pozitiven vpliv na številne druge dejavnike ali skupine dejavnikov, kot so učinkovitost komunikacije, miselno/informacijsko breme med postopkom odločanja, abstrakcija problema in verodostojnost analize. Zato je za minimizacijo uporabniško zaznavne in računsko-metodološke kompleksnosti ključno optimizirati te značilnosti.

Množice korelacij med posameznimi nižjenivojskimi dejavniki kompleksnosti zaradi obsežnosti mo-

dela niso predstavljene. Prav tako so definirane samo smeri korelacij. Matematična ali eksperimentalna izpeljava moči korelacij je predmet nadaljnjih raziskav.

5 TEHNIKE ZA ZMANJŠEVANJE IN OBVLADOVANJE KOMPLEKSNOSTI

Obstaja več tehnik, ki jih je mogoče aplicirati z namenom zmanjševanja uporabniško zaznavne in računsko-metodološke kompleksnosti. Njihova uporabnost in učinkovitost sta ocenjeni na podlagi definiranih dejavnikov. Rezultati ovrednotenja so povzeti na slikah 3 in 4. Tehnike so klasificirane v dve kategoriji. V prvi kategoriji so trije pristopi s slike 3, ki vsaj pogojno pomagajo pri zmanjševanju in obvladovanju kompleksnosti z ozirom na vse faktorje.

		Združitevno-razdružitevna analiza	Procesi delfi	Hibridne procedure
+/-	Vzdrževanje odločitvene skupine	Dobro	Dobro	Zelo dobro
	+ Usmerjanje postopka odločanja	Dobro	Dobro	Zelo dobro
	+ Sposobnost avtonomnega vodenja	Da	Ne	Da
	+ Razreševanje nesoglasij	Da (omejitve)	Da	Da
	+ Konvergenca mnenj	Da (omejitve)	Da	Da
+/-	Učinkovitost komunikacije	Dobra	Dobra	Zelo dobra
	+ Zmožnost asinhronne interakcije	Ne	Da	Da
	+/- Skupen čas, porabljen za sprejetje odločitve	Kratek	Dolg	Kratek do dolg
	- Čas aktivnosti posameznega odločevalca	Kratek	Kratek do dolg	Kratek
+/-	Zmožnost učenja o problemski situaciji	Delna	Da	Da
+/-	Analiza	Dobra	Povprečna	Zelo dobra
	- Zahtevnost analize	Nizka	Visoka	Povprečna
	- Začetno miselno/informacijsko breme	Nizko	Nizko do visoko	Nizko do visoko
	- Miselno/informacijsko breme med analizo	Nizko	Visoko	Nizko do visoko
	- Kompleksnost tipov informacij	Nizka	Visoka	Nizka do visoka
+/-	Verodostojnost analize	Dobra	Povprečna	Zelo dobra
	+/- Širina in globina analize	Dobra	Dobra	Zelo dobra
	+/- Vhodni podatki	Dobri	Povprečni	Zelo dobri
	+ Ustreznost, učinkovitost in relevantnost presoj	Zmerna	Zmerna	Visoka
	+/- Nenatančnost, nedoločенost in negotovost	Zmerna do visoka	Zmerna	Zmerna do visoka
	+ Izhodni podatki – bogatost kardinalnih informacij	Zmerna (omejitve)	Nizka do visoka	Visoka
+/-	Abstrakcija problema	Povprečna	Dobra	Zelo dobra
	+/- Izčrpnost analize problemske domene	Povprečna	Dobra	Zelo dobra
	+ Osredotočenost na reševanje problema	NA (nepotrebna)	Dobra	Zelo dobra
	+ Določitev alternativ	NA (nepotrebna)	Dobra	Dobra
	+ Učinkovitost strukture kriterijev	Zelo dobra	Povprečna	Zelo dobra
+/-	Metodološke osnove	Dobre	Povprečne	Dobre
	+/- Znanstvena in matematična utemeljenost	Dobra	Povprečna	Dobra
	+ Psihofizična aplikativnost	Zelo dobra	Dobra	Zelo dobra

Slika 3: **Tehnike za celovito zmanjševanje uporabniško zaznavne in računsko-metodološke kompleksnosti**

		Tehnike strukturiranja	Analiza robustnosti	Nenatančne, mehke ali celostne presoje	
+/-	Vzdrževanje odločitvene skupine		Povprečno	Povprečno	Zelo šibko
	+	Usmerjanje postopka odločanja	Zelo šibko	Šibko	Zelo šibko
	+	Sposobnost avtonomnega vodenja	Ne	Ne	NA
	+	Razreševanje nesoglasij	Ne	Posredna podpora	NA
	+	Konvergenca mnenj	Ne	Posredna podpora	NA
+/-	Učinkovitost komunikacije		Povprečna	Povprečna	Šibka
	+	Zmožnost asinhronne interakcije	Da	Da	NA
	+/-	Skupen čas, porabljen za sprejetje odločitve	Dolg	Dolg	Kratek do dolg
	-	Čas aktivnosti posameznega odločevalca	Dolg	Dolg	Kratek do dolg
+/-	Zmožnost učenja o problemski situaciji		Da	Da	NA
+/-	Analiza		Dobra	Dobra	Dobra
	-	Zahtevnost analize	Visoka	Povprečna	Nizka
	-	Začetno miselno/informacijsko breme	Visoko	Nizko do visoko	Nizko
	-	Miselno/informacijsko breme med analizo	Visoko	Visoko	Nizko
	-	Kompleksnost tipov informacij	Nizka do visoka	Nizka do visoka	Nizka
+/-	Verodostojnost analize		Dobra	Dobra	Povprečna
	+/-	Širina in globina analize	Zelo dobra	Dobra	NA
	+/-	Vhodni podatki	Povprečni	Povprečni	Dobri
	+	Ustreznost, učinkovitost in relevantnost presoj	Visoka	Zmerna	Zmerna
	+/-	Nenatančnost, nedoločenoost in negotovost	Nizka	Zmerna	Visoka
	+	Izhodni podatki – bogatost kardinalnih informacij	Zmerna	Visoka	Zmerna
+/-	Abstrakcija problema		Zelo dobra	Dobra	Povprečna
	+/-	Izčrpnost analize problemske domene	Dobra	Dobra	NA
	+	Osredotočenost na reševanje problema	Dobra	Dobra	Povprečna
	+	Določitev alternativ	Zelo dobra	Slaba	NA
	+	Učinkovitost strukture kriterijev	Zelo dobra	Povprečna	Povprečna
+/-	Metodološke osnove		Povprečne	Povprečne	Dobre
+/-	Znanstvena in matematična utemeljenost		Povprečna	Dobra	Dobra
+	Psihofizična aplikativnost		Dobra	Povprečna	Povprečna do dobra

Slika 4: **Tehnike za zmanjševanje uporabniško zaznavne in računsko-metodološke kompleksnosti z vidika analize**

Najbolj učinkoviti so hibridni postopki (Bregar, 2013), ki kombinirajo druga dva pristopa, in sicer združitevno-razdružitevno analizo (Matsatsinis & Samaras, 2001) in procese delfi (Linstone & Turoff, 2002). Tako privedejo do sinergije ključnih konceptov teh dveh močno razlikujočih se »filozofij«, od katerih je prva izhodišče za doseganje sposobnosti avtonomnega vodenja, druga pa postavlja dobro podlago za zmožnost asinhronne interakcije.

Na sliki 4 so ovrednoteni preostali trije pristopi, ki so klasificirani kot omejeno uporabni. Kompleksnost zmanjšujejo le z vidika analize, zaznavnih koristi

pri vzdrževanju odločitvene skupine pa ne dajejo. Ti pristopi vključujejo tehnike za strukturiranje problemov in presoj (Von Winterfeldt & Fasolo, 2009), analizo robustnosti (Bregar, Györkös & Jurič, 2009) in nenatančne/mehke/celostne presoje (Herrera-Viedma, Herrera & Chiclana, 2002).

Pomembno je, da odločevalci skrbno izberejo in uporabijo ustrezne tehnike za zmanjševanje in obvladovanje kompleksnosti. Izbira mora upoštevati dejansko problemsko situacijo in sestavo odločitvene skupine. Kombinirati je mogoče več tehnik, zlasti komplementarnih iz dveh različnih kategorij.

6 SKLEP

Veliko metod večkriterijske odločitvene analize je kompleksnih, zaradi česar zahtevajo od odločevalcev nezanemarljiv trud pri uporabi. Ob načrtovanju izvedbe postopka odločanja je zato bistveno oceniti kompleksnost razpoložljivih odločitvenih metod in/ali sistemov ter ugotoviti, po katerih od njih je najprimerneje poseči v dani situaciji. Prav tako je ključnega pomena minimizirati stopnjo njihove kompleksnosti. Članek je skušal oblikovati izhodišča, katere dejavnike upoštevati pri tem.

Čeprav je dal članek celosten vpogled v široko in pomembno področje kompleksnosti odločitvenih metod, teorij, tehnik, procesov, modelov in sistemov, ostaja odprtih nekaj zanimivih možnosti za nadaljnje raziskovalno in praktično delo:

1. Predlagano ogrodje bo temeljito in formalno ovrednoteno z eksperimentalno študijo in študijo primera.
2. Posamezni dejavniki kompleksnosti bodo podrobneje raziskani in formalizirani. Po potrebi bodo razgrajeni ali dopolnjeni z dodatnimi komplementarnimi dejavniki.

7 LITERATURA

- [1] Ait Haddou, H., Camilleri, G., & Zarate, P. (2012). Prediction of ideas number during a brainstorming session. *Group Decision and Negotiation*, 10.1007/s10726-012-9312-8, 1–28.
- [2] Bana e Costa, C. A., Ensslin, L., Corrêa, É., & Vansnick, J.-C. (1999). Decision support systems in action: Integrated application in a multicriteria decision aid process. *European Journal of Operational Research*, 113(2), 315–335.
- [3] Benbunan-Fich, R., Hiltz, S., & Turoff, M. (2002). A comparative content analysis of face-to-face vs. asynchronous group decision making. *Decision Support Systems*, 34(4), 457–469.
- [4] Borštnar, M. K., Kljajić, M., Škraba, A., Kofjač, D., & Rajkovič, V. (2011). The relevance of facilitation in group decision making supported by a simulation model. *System Dynamics Review*, 27(3), 270–293.
- [5] Bregar, A. (2005). Extension of the aggregation/disaggregation principle to computer-guided convergent group decision-making processes. V F. C. C. Dargam idr. (ur.), *Proceedings of the Joint Workshop on Decision Support Systems, Experimental Economics & e-Participation* (str. 95–107). Gradec, Avstrija.
- [6] Bregar, A. (2009). Cognitive complexity of multi-criteria group decision-making methods. V M. Bohanec idr. (ur.), *Proceedings of the 12th International Multiconference Information Society – IS 2009: Vol. A* (str. 11–14). Ljubljana, Slovenija.
- [7] Bregar, A. (2009). Efficiency of problem localization in group decision-making. V L. Zadnik Stirn idr. (ur.), *Proceedings of the 10th International Symposium on Operational Research in Slovenia – SOR 2009* (str. 139–149). Nova Gorica, Slovenija.
- [8] Bregar, A. (2009). *Vpeljava združitevno-razdružitenega principa v integrativne pogajalske procese* (doktorska disertacija). Univerza v Mariboru, FERi, Maribor, Slovenija.
- [9] Bregar, A. (2010). Celovit model vrednotenja skupinskih odločitvenih metod in sistemov. V *zborniku posvetovanja Dnevi slovenske informatike* (13 str.). Portorož, Slovenija.
- [10] Bregar, A. (2011). Metode na temelju prednostne relacije in njihova uporaba v postopkih večkriterijskega skupinskega odločanja: študija primera. *Uporabna informatika*, 19(2), 75–90.
- [11] Bregar, A. (2013, april). *Primerjava in sinergija avtonomnih združitevno-razdružitenih algoritmov in postopkov Delfi v večkriterijskem skupinskem odločanju*. Prispevek na posvetovanju Dnevi slovenske informatike. Portorož, Slovenija.
- [12] Bregar, A., Györkös, J., & Jurič, M. B. (2009). Robustness and visualization of decision models. *Informatika*, 33(3), 385–395.
- [13] Forman, E. H., & Selly, M. A. (2001). *Decision by Objectives*. Singapore: World Scientific.
- [14] Herrera-Viedma, E., Herrera, F., & Chiclana, F. (2002). A consensus model for multiperson decision-making with different preference structures. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics – Part A: Systems and Humans*, 32(3), 394–402.
- [15] Hodgkin, J., Belton, V., & Koulouri, A. (2005). Supporting the intelligent MCDA user: A case study in multi-person multi-criteria decision support. *European Journal of Operational Research*, 160(1), 172–189.
- [16] Linstone, H. A., & Turoff, M. (ur.). (2002). *The Delphi method: Techniques and applications*. Newark, New Jersey: New Jersey Institute of Technology.
- [17] Matsatsinis, N. F., & Samaras, A. P. (2001). MCDA and preference disaggregation in group decision support systems. *European Journal of Operational Research*, 130(2), 414–429.
- [18] Mingers, J., & Rosenhead, J. (2004). Problem structuring methods in action. *European Journal of Operational Research*, 152(3), 530–554.
- [19] Moshkovich, H. M., Mechitov, A. I., & Olson, D. L. (2002). Ordinal judgments in multiattribute decision analysis. *European Journal of Operational Research*, 137(3), 625–641.
- [20] Ngo The, A., & Mousseau, V. (2002). Using assignment examples to infer category limits for the ELECTRE TRI method. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 11(1), 29–43.
- [21] Paul, S., Haseman, W. D., & Ramamurthy, K. (2004). Collective memory support and cognitive-conflict group decision-making: An experimental investigation. *Decision Support Systems*, 36(3), 261–281.
- [22] Pečjak, V. (1989). *Poti do idej: tehnike ustvarjalnega mišljenja v podjetjih, solah in drugje*. Ljubljana.
- [23] Peniwati, S. K. (2007). Criteria for evaluating group decision-making methods. *Mathematical and Computer Modelling*, 46(7–8), 935–947.
- [24] Raiffa, H., Richardson, J., & Metcalfe, D. (2002). *Negotiation Analysis: The Science and Art of Collaborative Decision Making*. Cambridge, Massachusetts: Belknap Harvard University Press.
- [25] Roy, B. (1996). *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Dordrecht, Nizozemska: Kluwer Academic Publishers.

- [26] Saltelli, A., Tarantola, S., & Chan, K. (1999). A role for sensitivity analysis in presenting the results from MCDA studies to decision makers. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 8(3), 139–145.
- [27] Shim, J. P., Warkentin, M., Courtney, J. F., Power, D. J., Sharda, R. & Carlsson, C. (2002). Past, present, and future of decision support technology. *Decision Support Systems*, 33(2) 111–126.
- [28] Siskos, Y., & Spyridakos, A. (1999). Intelligent multicriteria decision support: Overview and perspectives. *European Journal of Operational Research*, 113(2), 236–246.
- [29] Stohr, E. A., & Konsynski, B. R. (1992). *Information Systems and Decision Processes*. Los Alamitos, Kalifornija: IEEE Computer Society Press.
- [30] Triantaphyllou, E. (2000). *Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*. Dordrecht, Nizozemska: Kluwer Academic Publishers.
- [31] Tung, L. L., & Quaddus, M. A. (2002). Cultural differences explaining the differences in results in GSS: Implications for the next decade. *Decision Support Systems*, 33(2), 177–199.
- [32] Turban, E., Aronson, J. E., & Liang, T. P. (2005). *Decision Support Systems and Intelligent Systems*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- [33] Vincke, P. (1999). Robust solutions and methods in decision aid. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 8(3), 181–187.
- [34] Von Winterfeldt, D., & Fasolo, B. (2009). Structuring decision problems: A case study and reflections for practitioners. *European Journal of Operational Research*, 199(3), 857–866.
- [35] Zeleny, M. (1982). *Multiple Criteria Decision Making*. New York: McGraw-Hill.
- [36] Zhang, G., & Lu, J. (2003). An integrated group decision-making method dealing with fuzzy preferences for alternatives and individual judgments for selection criteria. *Group Decision and Negotiation*, 12(6), 501–515.
- [37] Zimmermann, H.-J. (1996). *Fuzzy Set Theory*. Dordrecht, Nizozemska: Kluwer Academic Publishers.

■

Andrej Bregar je diplomiral, magistriral in doktoriral na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru. Zaposlen je kot analitik v podjetju Informatika, d. d. Področja njegovega dela so sistemi za podporo odločanju, večkriterijska odločitvena analiza, operacijske raziskave, upravljanje s poslovnimi procesi in storitveno usmerjeni razvoj informacijskih sistemov. Je avtor več znanstvenih člankov ter prispevkov na domačih in mednarodnih strokovnih simpozijih.