



SUDĖTINGŲ DYDŽIŲ KOMPLEKSINIS VERTINIMAS

Valentinas Podvezko

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva

El. paštas valentinas.podvezko@fm.vgtu.lt

Įteikta 2007-05-03; priimta 2008-01-25

Santrauka. Kiekvienas socialinis ir ekonominis reiškinys pagal savo prigimtį priklauso sudėtingų kompleksinių reiškinų kategorijai. Pavyzdžiui, šalies regionų ir tam tikrų šalių socialinė ir ekonominė plėtra, įmonių komercinė veikla ir strateginis potencialas, skirtingų investicinių projektų lyginimas ir t. t. Nė vieno iš jų neįmanoma išreikšti vienu dydžiu, rodikliu, nes sunku rasti tokią jo savybę, kuri integruotų visus esminius reiškinio aspektus. Sudėtingų dydžių kompleksiniam vertinimui pastaruoju metu efektyviai taikomi daugiakriteriniai metodai. Kiekybinių daugiakriterinių vertinimo metodų pagrindą sudaro rodikliai, charakterizuojantys nagrinėjamą procesą arba reiškinį, rodiklių reikšmės ir jų santykinis reikšmingumas (rodiklių svoriai). Neatsižvelgiant į nagrinėjamą sritį, atliekant daugiakriterinį vertinimą sudėtingas dydis (reiškinys) pereina tam tikrus etapus – pradedant nuo tyrimo problemos formulavimo ir baigiant nagrinėjamo reiškinio apibendrinamojo dydžio nustatymu. Nepaisant daugybės mokslinių darbų, susijusių su šių uždavinių sprendimu, daug problemų dar turi būti nagrinėjamos išsamiau.

Reikšminiai žodžiai: daugiakriteriniai metodai, kompleksinis vertinimas, rezultatų suderinamumas.

COMPREHENSIVE EVALUATION OF COMPLEX QUANTITIES

Valentinas Podvezko

Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania

E-mail: valentinas.podvezko@fm.vgtu.lt

Received 3 May 2007; accepted 25 January 2008

Abstract. Any social and economic phenomenon is complex by nature. For example, social and economic development of the state or its particular regions, enterprise commercial activities and strategic potential, as well as comparison of various investment projects, etc. belong to the category of complex phenomena. They cannot be described by a single value or criterion because it is hardly possible to find a property integrating the essential features of such phenomena. Recently, multicriteria methods have been effectively used for evaluating complex quantities. The criteria describing the considered processes or objects, as well as the criteria values and relative significances (weights) make the basis of quantitative multicriteria evaluation methods. Irrespective of the area of investigation, the analysis of a complex phenomenon (quantity) is carried out in several steps, including statement of the research problem at the initial stage and determination of the integrated value describing a particular phenomenon at the final stage. Many investigations addressed the above problems, however, further research is still needed.

Keywords: multicriteria methods, complex evaluation, consistency of results.

1. Įvadas

Socialinių ir ekonominių procesų sudėtingų dydžių vertinimas – nelengvas uždavinys. Procesų veiklą charakterizuoja daug rodiklių ir jų neįmanoma išreikšti viena charakteristika, dydžiu, rodikliu, nes sunku surasti tokią jo savybę, kuri integruotų visus esminius reiškinių aspektus. Sudėtingų dydžių kompleksiniam vertinimui pastaruoju metu efektyviai taikomi daugiakriteriniai metodai.

Sudėtingų dydžių kompleksinį vertinimą sudaro tam tikri būtini vertinimo etapai, pradedant nuo tyrimo problemos formulavimo, dalinių rodiklių sistemos formavimo, komponentų hierarchinio struktūrizavimo ir baigiant tiriamo reiškinių apibendrinamojo dydžio nustatymu ir taikomų modelių stabilumo tikrinimu. Daugiakriteriniams metodams aprašyti ir taikyti pastaruoju metu skirta labai daug publikacijų. Tik vienoje Figueira J., Greco S., Ehrgot M. (2005) knygoje daugiakriteriniams metodams skirtą bibliografiją sudaro keletas tūkstančių pavadinimų. Nepriklausomai nuo sprendžiamo uždavinio, taikant kiekybinius daugiakriterinius metodus, tyrinėtojas nagrinėja tokius pagrindinius etapus (nebūtinai visus):

- sudėtingų dydžių dalinių rodiklių sistemos formavimas;
- taikomų rodiklių statistinių duomenų arba ekspertų vertinimų paruošimas;
- duomenų transformavimas ir normalizavimas;
- rodiklių reikšmingumo nustatymas – jų svorių skaičiavimas;
- skirtingų daugiakriterinių metodų ypatingumo, metodų apribojimų analizė, konkrečių, tinkamų vertinimui daugiakriterinių metodų pasirinkimas, atskirų rezultatų suderinamumo analizė;
- sudėtingų dydžių hierarchijos formavimas ir hierarchijos struktūros kiekybinis įvertinimas;
- pagrindinio hierarchijos lygmens rodiklių kompleksinis vertinimas;
- duomenų neapibrėžtumo įtakos daugiakriteriniuose metoduose vertinimas, modelių parametrų keitimo intervalų nustatymas.

Atskiri šios vertinimo sekos klausimai išnagrinėti nevienodai išsamiai. Pavyzdžiui, pasiūlyta pačių įvairiausių būdų, kaip sujungti nagrinėjamo reiškinių dalinius rodiklius į apibendrinantį, bet iki galo nežinoma, kokie modeliai kokiais atvejais tinka geriausiai.

Tą patį galima pasakyti apie rodiklių reikšmingumo nustatymą. Pasiūlyta daugelis tiek objektyvių, tiek subjektyvių metodų, tačiau neaišku, kuris yra tikslesnis, nuo ko priklauso vieno ar kito metodo taikymas ir pan.

Ne mažiau svarbus yra pirmasis etapas, vertinimo pagrindas – nagrinėjama reiškinį veikiančių veiksnių sąrašo sudarymas, jų sistemos formavimas. Tai atliekama

remiantis literatūros šaltiniu, apklausiant ekspertus ir pan. Vertinimas bus adekvatus, jeigu į sistemą bus įtraukti visi esminiai dydžiai, veikiančys nagrinėjamą reiškinį.

Sudėtingas yra veiksnių formalizavimas, t. y. kiekybinės išraiškos suradimas, nes nemaža dalis jų dėl savo prigimties sunkiai formalizuojami. Tokiais atvejais pasitelkiamas ekspertinis vertinimas.

Su tuo tiesiogiai susijęs duomenų transformavimas ir normalizavimas. Jų būdai irgi turi įtaką kompleksiniams vertinimams, tad reikia juos patikslinti, sisteminti ir pan.

Šiame darbe nagrinėjami sudėtingų dydžių daugiakriteriniai vertinimo metodai, jų taikymo galimybės, pagrindinės kilusios problemos ir jų sprendimai.

2. Sudėtingų dydžių dalinių rodiklių sistemos formavimas

Pirmas daugiakriterinių metodų taikymo etapas, vertinant sudėtingus dydžius, yra veiksnių sistemos formavimas, rodiklių, apibūdinančių tiriamojo objekto sąrašą, sudarymas. Tai yra vertinimo pagrindas, svarbiausias ir mažiausiai ištirtas etapas. Vertinimas bus adekvatus, jeigu į sistemą bus įtraukti visi esminiai dydžiai, veikiančys nagrinėjamą reiškinį (Ginevičius, Podvezko 2005a). Kiekvieno dalinio rodiklio įtaka nagrinėjamam reiškiniui yra skirtinga, todėl svarbu, ar bus įtrauktas konkretus rodiklis į veiksnių sistemos sąrašą.

Veiksnių sistemos sudarymas yra subjektyvus procesas, nes tai atlieka ekspertai. Įtraukiamų veiksnių skaičius ir sudėtis priklauso nuo vertintojų kvalifikacijos. Tai atliekama remiantis literatūros šaltinių ir eksperto patirtimi. Ekspertai nustato rodiklio svarbą pagal jo poveikį nagrinėjamam reiškiniui. Kitaip tariant, ekspertai į sistemą įtrauks tik, jų nuomone, tikrai svarbius veiksnius. Kita vertus, netgi taip sudarytoje sistemoje atsidurs labai nevienareikšmiški savo poveikiu nagrinėjamam reiškiniui veiksniai.

Į sistemą gali būti įtrauktas ribotas veiksnių skaičius: kai jų per daug, neįmanoma gana tiksliai įvertinti kiekvieno veiksnio poveikio galutiniam rezultatui. Taigi kyla uždavinys – kaip iš didelio veiksnių skaičiaus pagrįstai atrinkti tuos, kurie būtų pakankamai svarbūs nagrinėjamo reiškinių atžvilgiu.

Pradiniu etapu nepriklausomai nuo taikomo matematinio metodo iš atskirų ekspertų pasiūlytų rodiklių sudaromas bendras visų bent vieną kartą paminėtų rodiklių sąrašas.

Pradinių rodiklių aibę $R = \{R_1, R_2, \dots, R_m\}$ tikslinga išreikšti trimis poaibiais R_A , R_B ir R_C , priklausančiais nuo jų įtakos pagrindiniam nagrinėjamam tikslui D :

R_A – poaibis rodiklių, turinčių didžiausią įtaką D ;

R_B – poaibis rodiklių, turinčių vidutinę įtaką D ;

R_C – poaibis rodiklių, mažiausiai veikiančių arba visai neturinčių įtakos D .

Žinodami R_C poaibio rodiklius, galime juos pašalinti iš aibės R ir šitaip sumažinti pradinį jų skaičių.

Poaibis R_A , R_B ir R_C turėtų atitikti tokias sąlygas:

$$a) R = R_A \cup R_B \cup R_C, \quad (1)$$

t. y. aibė R yra trijų poaibių junginys;

$$b) R_A \cap R_B = \emptyset, R_A \cap R_C = \emptyset, R_B \cap R_C = \emptyset, \quad (2)$$

t. y. poaibis poromis nesusikerta, taigi poaibių sankirtos yra tuščios aibės.

Yra keletas galimybių iš pasiūlytų rodiklių atrinkti svarbiausius.

Jei rodiklių skaičius m yra palyginti nedidelis ($m < 20$), galima nustatyti rodiklių R_i svorius ω_i ($i = 1, \dots, m$), taikant, pavyzdžiui, rodiklių porinio palyginimo T. Saaty metoda (Saaty 1980; Ginevičius *et al.* 2004b) arba bet kokius kitokius svorių nustatymo metodus (Бешелев, Гурвич 1974; Ginevičius, Podvezko 2004b).

Nustatę poaibių R_A ir R_B apatines svorių ribines reikšmes ω_A ir ω_B , gauname tris aibės R poaibius:

$$R_A = \{R_i \mid \omega_i \geq \omega_A\},$$

$$R_B = \{R_i \mid \omega_B \leq \omega_i < \omega_A\}, \quad (3)$$

$$R_C = \{R_i \mid \omega_i < \omega_B\}.$$

Matome, kad pagal poaibio R_C apibrėžimą rodikliai laikomi nereikšmingais, jei jų svorių reikšmės yra mažesnės už nustatytą ribinę reikšmę ω_B .

Akivaizdu, kad sąlygos (1) ir (2) poaibiams (3) yra teisingos.

Šito metodo trūkumas tas, kad ekspertai laisvai pasirenka ribines svorių reikšmes ω_A ir ω_B , o nuo to priklauso konkreti poaibių sudėtis.

Jei ekspertų kvalifikacija aukšta, svarbiausi rodikliai kartojasi praktiškai visuose atskirų ekspertų sąrašuose ir sudaro kuriamos sistemos pagrindą, t. y. poaibį R_A . Įtraukimas likusiųjų rodiklių į bazę gali būti kompromisinis komisijos narių susitarimas. Šį klausimą galima spręsti taip pat taikant matematinės statistikos hipotezės tikrinimo metodą (Ginevičius, Podvezko 2005a).

Iš tikrųjų veiksnių išdėstymo pagal svarbą histograma gali išryškinti tam tikrą dėsingumą – atitinkamą teorinį tikimybinį skirstinį. Tokiu atveju galima susieti poaibių R_A , R_B ir R_C formavimą su teoriniu skirstiniu ir sukurti rodiklių poaibius pagal nustatytą tikimybę.

Jei yra daug vienalyčių statistinių duomenų kaip dalinių rodiklių ir kaip vertinamo rezultato – pagrindinio rodiklio, tai svarbiausius dalinius rodiklius galima atrinkti taikant

dirbtinius neuroninius tinklus (Juodis, Asanavičienė 2002) arba koreliacinę bei regresinę analizę.

3. Rodiklių reikšmingumo nustatymas

Vienas iš dviejų kiekybinių daugiakriterinių metodų sudedamųjų yra taikomų rodiklių svorių (reikšmingumo) ω_i reikšmės.

Atskirų rodiklių, apibūdinančių tiriamąjį objektą, įtaka nagrinėjamam tikslui nevienoda, todėl taikant kiekybinius daugiakriterinius vertinimus labai svarbu nustatyti rodiklių reikšmingumą, t. y. jų svorius. Dažniausias yra vadinamasis subjektyvusis vertinimas, kai rodiklių svorius nustato specialistai ekspertai, nors žinomi objektyvūs ir apibendrinti vertinimai (Hwang, Yoon, 1981; Ustinovičius 2001; Ginevičius, Podvezko 2005b). Kai svorių skaičiavimo pagrindą sudaro specialistų ekspertų vertinimai, rodiklių svoriai nustatomi, taikant matematinės statistikos metodus. Nuo vertinimo metodo pasirinkimo priklauso svorių reikšmės ir jų tikslumas.

Nepriklausomai nuo taikomo metodo vertinimo logika yra vienoda: svarbiausias i -tasis rodiklis turės didžiausią svorį ω_i . Susitarta, kad svorių suma turi būtų lygi vienetui: $\sum_{i=1}^m \omega_i = 1$.

Ekspertų vertinimų rezultatas yra matrica $\mathbf{C} = \|c_{ik}\|$ ($i = 1, \dots, m; k = 1, \dots, r$), čia m – lyginamų rodiklių (objektų) skaičius, r – ekspertų skaičius. Ekspertai gali vertinti laukiamą rodiklio reikšmę skirtingu būdu. Vertinimams gali būti pritaikyta bet kokia matavimo skalė, pavyzdžiui, rodiklio vienetai, procentai, vieneto dalys, dešimties balų sistema (Ginevičius, Podvezko 2004b), paprasčiausias (0–1) dviejų rodiklių porinis palyginimas (Zavadskas, Kaklauskas 1996), analizinės hierarchijos proceso (AHP) Saaty skalė (Saaty 1980) arba kiti būdai.

Paprasčiausias iš taikomų metodų yra rodiklių (objektų) rangavimas. Rangavimas yra procedūra, kai pačiam svarbiausiam rodikliui (objektui) suteikiamas rangas, lygus vienetai, antram pagal svarbumą – rangas du ir t. t., paskutiniam pagal svarbumą – rangas m ; čia m – lyginamų rodiklių (objektų) skaičius. Ekvivalentiniams rodikliams suteikiama vienoda reikšmė – eilinių rangų aritmetinis vidurkis. Šis metodas yra logiškas, aiškus, lengvai taikomas praktikoje, nors metodo tikslumas mažas ir jį galima rekomenduoti taikyti pradinio skaičiavimo etapu arba tais atvejais, kada rodiklių svoriai neturi didelės įtakos vertinimo rezultatams. Tačiau ir taikant sudėtingesnius rodiklių svorių nustatymo metodus, verta pradžioje ranguoti rodiklius: tai labai palengvina tų metodų taikymą. Taip pat, norint patvirtinti ekspertų vertinimų nuomonių suderinamumą, taikant vadinamąjį konkordancijos koeficientą, būtina reikia preliminariai ranguoti rodiklius (Kendall 1955; Бешелев, Гурвич 1974; Podvezko 2005, 2007).

Taikant tiesioginio rodiklių svorių nustatymo metodą (Ginevičius, Podvezko 2004b), kiekvieno eksperto visų vertinimų svorių suma turi būti lygi vienetui (arba 100 %). Šiuo atveju i -tojo rodiklio svoris ω_i sutampa su visų ekspertų vertinimų vidurkiu \bar{c}_i :

$$\bar{c}_i = \frac{\sum_{k=1}^r c_{ik}}{r} \quad (4)$$

Procentų atveju rezultatas dalijamas iš 100.

Šio metodo taikymo praktika parodė, kad jis yra lengvai suprantamas ir duoda palyginti tikslų svorių vertinimo rezultata, kai ekspertų grupės nuomonės suderintos.

Netiesioginis rodiklių svorių nustatymo metodas taiko pasirinktą balų sistemą (5, 10, 20 ir pan.), t. y. ekspertas vertina kiekvieno rodiklio svorį, nesiedamas vieno įvertimo su kitų rodiklių įvertimais. Svarbiausiam rodikliui priskiriamas didžiausias įvertis. Šiuo atveju skaičiuojamas kiekvieno i -tojo rodiklio visų vertinimų vidurkis \bar{c}_i pagal (4) formulę ir rodiklių svoriai ω_i yra vidurkių \bar{c}_i normalizuotos reikš-

mės, t. y. svorių suma turi būti lygi vienetui: $\sum_{i=1}^m \omega_i = 1$.

Iš sudėtingesnių, bet matematiškai pagrįstų metodų galima rekomenduoti du rodiklių porinio lyginimo metodus: paprasčiausią lyginimo ir AHP (analizinės hierarchijos proceso) T. Saaty metodus.

Kai rodiklių skaičius yra palyginti nemažas, tiesioginis rodiklių vertinimas ir nuoseklus visų rodiklių lyginimas yra sudėtingas. Sunkumus galima sumažinti, lyginant rodiklius poromis, po du, nustatant, kuris rodiklis kiekvienoje poroje yra svarbesnis. Ekspertai lygina tarpusavyje visus vertinamus rodiklius R_i ir R_j ($i, j = 1, \dots, m$), m – rodiklių skaičius. Paprasčiausiu rodiklių porinio palyginimo metodu tik nustatoma, kuris iš dviejų lyginamų rodiklių R_i ar R_j yra svarbesnis. Lyginimo rezultatas yra kvadratinė matrica $\mathbf{P} = \|p_{ij}\|$ ($i, j = 1, \dots, m$). Matricos elementai p_{ij} gali būti 0 arba 1: $p_{ij} = 1$, jei rodiklis R_i yra svarbesnis (reikšmingesnis) už rodiklį R_j , ir $p_{ij} = 0$ priešingu atveju, jei rodiklis R_j yra svarbesnis už rodiklį R_i (Бешелев, Гурвич 1974; Завадскас 1987; Zavadskas, Kaklauskas 1996).

Kai ekspertų skaičius didelis ($r \geq 25$), jų vertinimų skirtumai Z_{ij} turi normalųjį skirstinį su vidutiniu kvadratinu nuokrypiu, lygiu vienetui. Santykinių i -tojo rodiklio R_i prioritetų skaičius j -ojo rodiklio R_j atžvilgiu tokiu atveju yra normaliojo dėsnio pasiskirstymo funkcijos $F(x)$ reikšmė Z_{ij} taške ir rodo tikimybę p_{ij} , kad rodiklis R_i yra svarbesnis už rodiklį R_j :

$$p_{ij} = F(Z_{ij}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Z_{ij}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (5)$$

Integralo (5) reikšmės skirtumų vidurkių \bar{Z}_i taškuose duoda nenormalizuotas rodiklių svorių reikšmes $F(\bar{Z}_i)$.

Paprasčiausias porinis lyginimas tik nustato, kuris iš dviejų rodiklių yra svarbesnis už kitą: vienodas vertinimas

bus tuo atveju, kai vienas rodiklis truputį svarbesnis už kitą ir kai jis absoliučiai (nepalyginti) svarbesnis. Jei visi ekspertai vieną iš rodiklių įvertino kaip svarbiausią, jis gali gauti mažiausią reikšmingumą (svorį), nes visi geriausi rodiklių vertinimai naikinami, t. y. vietoj didžiausios reikšmės rašomi nuliai. Pabrėžiame, kad šis metodas sudėtingas ir jį sunku realizuoti praktikoje.

Analizinės hierarchijos proceso (AHP) metodą pasiūlė T. Saaty (1980). Metodo pagrindą sudaro porinio lyginimo matrica. Ekspertai lygina tarpusavyje visus vertinamus rodiklius R_i ir R_j ($i, j = 1, \dots, m$), m – rodiklių skaičius.

Rodiklių lyginimas yra nesudėtingas ir kokybiškas: nurodoma, ar vienas rodiklis yra svarbesnis už kitą. Metodas pertvarko kokybinį ekspertų rodiklių įvertinimą (kuris nustato, ar vienas rodiklis yra svarbesnis už kitą) į kiekybinį – rodiklių svorius. Palyginimo rezultatas yra kvadratinė matrica $\mathbf{P} = \|p_{ij}\|$ ($i, j = 1, \dots, m$). Vertinimams T. Saaty pasiūlė taikyti dažnai praktikoje naudojamą penkių balių skalę (1-3-5-7-9). Matricos \mathbf{P} elementai $p_{ij} = 1$, kai abiejų lyginamų rodiklių reikšmingumai tiriamo reiškinio (objekto) atžvilgiu yra vienodi, t. y. abu rodikliai yra vienodai svarbūs, $p_{ij} = 3$, kai rodiklis R_i yra truputį svarbesnis už rodiklį R_j ir t. t., iki $p_{ij} = 9$, kai rodiklis R_i yra absoliučiai (nepalyginti) svarbesnis už rodiklį R_j . Matricos \mathbf{P} elementai p_{ij} traktuojami kaip rodiklių R_i ir R_j svorių reikšmių santykiai: $p_{ij} = \frac{\omega_i}{\omega_j}$ (Saaty 1980; Ginevičius et al. 2004b).

Saaty įrodė, kad AHP metodo svoriai yra lyginimo matricos \mathbf{P} tikrinio vektorius, atitinkančio didžiausią tikrinę reikšmę λ_{\max} , normalizuotos komponentės. Nors AHP metodas nėra sudėtingas, ekspertai dažniausia sunkiai geba teisingai užpildyti lyginimo matricą \mathbf{P} , o kai rodiklių skaičius būna didesnis už dešimt, vertinimo logika būna prieštaringa. AHP metodas kiekybiškai vertino kiekvieno eksperto vertinimų suderinamumą.

Perspektyvus rodiklių svorių nustatymas gali būti susijęs tik su vieno – svarbiausio – rodiklio palyginimu su likusiais: tai palengvina eksperto vertinimą ir panaikina (pašalina) loginius lyginimo prieštaravimus (Ginevičius 2006).

4. Ekspertų vertinimų neprieštarinumas ir suderinamumas

Taikant daugiakriterinių metodų vertinimus neįmanoma apsieiti be kvalifikuotų specialistų – ekspertų pagalbos. Jie prisideda praktiškai prie visų uždavinio sprendimo etapų.

Ekspertų nuomonės ir požiūris į sprendžiamą problemą dažnai skiriasi, gali būti ir prieštaringi. Jeigu reikia priimti sprendimą remiantis ekspertų vertinimais, būtina įvertinti ekspertų nuomonių suderinamumo laipsnį. Labai svarbu nustatyti ekspertų nuomonių suderinamumą, taikant daugiakriterinius vertinimų metodus. Dviejų ekspertų suderinamumą kiekybiškai gali įvertinti koreliacijos

koeficientas. Jei ekspertų skaičius didesnis už du, grupės ekspertų suderinamumo lygį nustato konkordancijos koeficientas W (Kendall 1955). Jei ekspertų nuomonės praktiškai nesiskiria, konkordancijos koeficiento W reikšmė yra arti vienetui, jei vertinimai labai priešaringi – W reikšmė artima nuliui. Konkordancijos koeficiento skaičiavimo pagrindą sudaro ekspertų rodiklių rangavimas. Jei ekspertų vertinimai buvo bet kokio kitokio pavidalo, juos preliminariai reikia ranguoti.

Iš tikrųjų ekspertų nuomonių suderinamumo laipsnį, konkordancijos koeficiento reikšmingumą nustato ne tiek W reikšmė, kiek χ^2 kriterijus. Atsitiktinis dydis

$$\chi^2 = Wr(m-1) \quad (6)$$

pasiskirstęs pagal χ^2 skirstinį su $v = m-1$ laisvės laipsniu, čia m – lyginamų objektų skaičius, r – ekspertų skaičius. Pagal pasirinktą reikšmingumo lygmenį α (praktikoje α reikšmė paprastai 0,05 arba 0,01) iš χ^2 skirstinio lentelės su $v = m-1$ laisvės laipsniu randame kritinę reikšmę χ_{kr}^2 . Jei suskaičiuota pagal (6) formulę χ^2 reikšmė didesnė už χ_{kr}^2 , tai išeina, kad ekspertų vertinimai yra suderinti (Kendall 1955; Бешелев, Гурвич 1974; Zavadskas, Kaklauskas 1996; Podvezko 2005, 2007).

Kriterijaus χ^2 reikšmė, kaip matome iš (6) formulės, priklauso ne tik nuo konkordancijos koeficiento W , bet ir nuo ekspertų skaičiaus r ir lyginamų rodiklių skaičiaus m . Praktikoje konkordancijos koeficiento W reikšmė gali būti maža, o ekspertų ir (arba) rodiklių skaičius didelis. Tokiu atveju suskaičiuota pagal (6) formulę χ^2 reikšmė bus didesnė už χ_{kr}^2 , ir ekspertų vertinimai bus suderinti.

Porinio lyginimo AHP metodas vertina kiekvieno atskiro eksperto vertinimų nepriešaringumą. Tai nustato suderinamumo indeksas (Saaty 1980, 2005; Ginevičius *et al.* 2004b):

$$S_I = (\lambda_{\max} - m)/(m-1), \quad (7)$$

čia λ_{\max} – didžiausia ekspertų lyginimo matricos \mathbf{P} tikrinė reikšmė.

Visos ekspertų grupės suderinamumą, taikant konkordancijos koeficientą, šiuo atveju galima nustatyti, jei pradžioje suskaičiuojami kiekvieno atskiro eksperto rodiklių svoriai ir paskui ranguojami rodikliai svorių mažėjimo pagrindu. Turėdami visų ekspertų rangavimo matricą, suskaičiuosime konkordancijos koeficiento W , kriterijaus χ^2 reikšmes ir įvertinsime ekspertų grupės suderinamumo lygį (Podvezko 2005, 2007).

Kaip parodė praktika, ekspertų suderinamumo lygis priklauso nuo objektų vertinimo metodo ir pasirinktos vertinimo skalės.

5. Duomenų transformavimas ir normalizavimas

Kiekybinių metodų pagrindą sudaro rodiklių, charakterizuojančių lyginamų objektų, statistinių duomenų arba ekspertų vertinimų matrica $\mathbf{R} = \|r_{ij}\|, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n$, čia m – rodiklių skaičius, n – lyginamų objektų (alternatyvų) skaičius. Nė vieno metodo negalima pritaikyti formaliai, iškart. Kiekvienas metodas turi savo privalumą, ypatingumą.

Praktiškai pagal visus kiekybinius daugiakriterinius metodus naudojamos teigiamos rodiklių reikšmės. Tačiau praktikoje yra rodiklių, kurių reikšmės gali būti neigiamos, pavyzdžiui, migracija, nedarbas, pelnas ir pan. Tokiu atveju duomenis reikia perstumti iki teigiamųjų reikšmių pagal formulę (Ginevičius, Podvezko 2001, 2007a):

$$\bar{r}_{ij} = r_{ij} + b_i \quad (j = 1, \dots, n), \quad (8)$$

čia b_i – i -tojo rodiklio perstumimo konstanta.

$$\text{Dydis } b_i \text{ turi atitikti sąlygą: } b_i > \left| \min_j r_{ij} \right|.$$

Perstumimas (8) nekeičia atstumų tarp r_{ij} reikšmių su bet kokia konstanta b_i . Tačiau reikšmių r_{ij} santykis priklauso nuo b_i reikšmės. Problema būtų išspręsta iki galo, jeigu pavyktų neigiamuosius duomenis perstumti iki teigiamųjų ir išlaikyti duomenų stabilumą elementų santykio atžvilgiu (Ginevičius, Čirba 2005). Ši problema laukia savo sprendimo.

Taikant kiekybinius daugiakriterinius vertinimo metodus, reikia nustatyti, kokio pavidalo – maksimizuojamojo arba minimizuojamojo – yra kiekvienas rodiklis. Geriausios maksimizuojamųjų rodiklių reikšmės – didžiausios, minimizuojamųjų rodiklių geriausios reikšmės – mažiausios.

Yra metodų, pavyzdžiui, SAW arba geometrinis vidurkis (Hwang, Yoon 1981; Ginevičius, Podvezko 2001, 2007a, 2007b), jungiančių tik maksimizuojamųjų rodiklių reikšmes, todėl minimizuojamuosius rodiklius reikia pertvarkyti (normalizuoti) į maksimizuojamuosius pagal formulę (Hwang, Yoon 1981; Ginevičius, Podvezko 2007a, Ginevičius *et al.* 2004a; Zavadskas, Kaklauskas 1996):

$$\tilde{r}_{ij} = \frac{\min_j r_{ij}}{r_{ij}}, \quad (9)$$

čia: r_{ij} – j -osios alternatyvos i -tojo rodiklio reikšmė; $\min_j r_{ij}$ – mažiausia i -tojo rodiklio reikšmė.

Normalizavus duomenis pagal (9) formulę, mažiausia (geriausioji) rodiklio reikšmė įgis didžiausią reikšmę, lygią vienetui.

Analogiškai ir maksimizuojamųjų rodiklių reikšmes galima pertvarkyti taip, kad didžiausia (geriausioji) rodiklio reikšmė įgytų didžiausią reikšmę, lygią vienetui:

$$\tilde{r}_{ij} = \frac{r_{ij}}{\max_j r_{ij}}, \quad (10)$$

čia: $\max_j r_{ij}$ – didžiausia i -tojo rodiklio reikšmė (Hwang, Yoon 1981; Ginevičius, Podvezko 2007a, 2007b).

Pagal daugumą metodų naudojamas pradinių duomenų (rodiklių reikšmių) skirtingas specifinis normalizavimas arba duomenų transformavimas.

Kaip pavyzdį galima paminėti dažnai taikomą „klasiikinį“ normalizavimą:

$$\tilde{r}_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}} \quad (11)$$

$(i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; \sum_{j=1}^n \tilde{r}_{ij} = 1)$.

Pagal TOPSIS metodą naudojamas vektorinis normalizavimas (Hwang, Yoon 1981; Opricovic, Tzeng 2004; Ginevičius, Podvezko 2004a, 2007b; Ustinovičius, Zavadskas 2004):

$$\tilde{r}_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n r_{ij}^2}} \quad (12)$$

$(i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; \sum_{j=1}^n \tilde{r}_{ij}^2 = 1)$.

Remiantis VIKOR metodu (maksimizuojantiems rodikliams) naudojamas normalizavimas (Opricovic, Tzeng 2004; Ginevičius, Podvezko 2004a, 2007b):

$$\tilde{r}_{ij} = (\max_j r_{ij} - r_{ij}) / (\max_j r_{ij} - \min_j r_{ij}) \quad (13)$$

$(0 \leq \tilde{r}_{ij} \leq 1)$.

Kaip matome, atskirų metodų normalizavimo formulės ir pobūdis principingai skiriasi, o nuo to priklauso metodų kriterijų rezultatų svyravimas. Norint lyginti atskirų metodų vertinimo rezultatus ir bandyti juos sujungti į vieną apibendrintą rezultatą, reikia pritaikyti jiems bendrą vienodą normalizavimą.

6. Daugiakriterinių metodų ypatingumas, metodų apribojimai

Daugiakriterinių metodų pagrindą sudaro dvi matricos: rodiklių, apibūdinančių lyginamų objektų, statistinių duomenų arba ekspertų vertinimų matricą $\mathbf{R} = \|r_{ij}\|$ ir reikšmingumų (svorių) vektorius $\Omega = \|\omega_j\|$ ($i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n$), čia m – rodiklių skaičius, n – lyginamų objektų (alternatyvų) A_1, A_2, \dots, A_n skaičius. Duomenų paruošimas, jų patikimumas, ekspertų grupės formavimas yra svarbi, sudėtinga problema, kuriai teorijoje ir taikymo praktikoje skiriama nepakankamai dėmesio. Daugiakriterinių metodų taikymo tikslas – ranguoti lyginamus objektus A_j ($j=1, 2, \dots, n$) tyrimo tikslo atžvilgiu.

Socialinių ir ekonominių procesų sudėtingiems dydžiams vertinti taikomi ir paprasčiausi metodai (VS – vietų

suma, GV – geometrinis vidurkis, SAW – Simple Additive Weighting), ir turintys sudėtingesnę vidinę logiką metodai TOPSIS, VIKOR, COPRAS ir jo supaprastintą variantą (Hwang, Yoon 1981; Opricovic, Tzeng 2004; Zavadskas, Kaklauskas 1996; Ginevičius, Podvezko 2004a, 2006, 2007a, 2007b; Ustinovičius, Zavadskas 2004; Ginevičius et al. 2004 b, 2005, 2006).

Beveik nė vieno metodo negalima pritaikyti formaliai, iš karto. Kiekvienas metodas turi savo privalumą, ypatinumą. Neatsižvelgiant į konkretų metodą, yra bendrų jų taikymo reikalavimų.

- Taikant kiekybinius daugiakriterinius vertinimo metodus, reikia nustatyti kokio pavidalo –maksimizuojamojo arba minimizuojamojo yra kiekvienas rodiklis. Remiantis kai kuriais metodais (GV, SAW) (Ginevičius, Podvezko 2007a) naudojami tik maksimizuojamieji rodikliai. Tokiu atveju minimizuojamuosius rodiklius reikia pertvarkyti į maksimizuojamuosius, pavyzdžiui, pagal (9) formulę.
- Visų rodiklių R_i reikšmės r_{ij} galima sujungti į vieną kiekybinį vertinimą, jei jos nepriklauso nuo matavimo vienetų, t. y. bedimensės. Pagal kiekybinius daugiakriterinius metodus taikomas skirtingas pradinių duomenų r_{ij} normalizavimas, nors pertvarkytos (normalizuotos) reikšmės \tilde{r}_{ij} kinta dažniausiai nuo nulio iki vieneto ($0 \leq \tilde{r}_{ij} \leq 1$). Vietų sumos (VS) metodui normalizavimas nebūtinai.
- Kiekvieno objekto (alternatyvos) rangas, t. y. užimta vieta tiriamo tikslo atžvilgiu, atitinka taikomo metodo kriterijaus reikšmę. Vienų metodų (SAW, GV, TOPSIS, COPRAS) geriausioji kriterijaus reikšmė – didžiausioji, kitų (VS, VIKOR) – mažiausioji.
- Praktiškai visi metodai taiko tik teigiamųjų pradinių duomenų reikšmes. Rodiklius, turinčius neigiamąsias reikšmes (migracija, nedarbas) prieš normalizuojant duomenis, reikia transformuoti (pertvarkyti) į teigiamuosius, pavyzdžiui, pagal formulę (8), čia i -tojo rodiklio perstumimo konstantos b_i reikšmę rekomenduojame paimti lygią vienetui.
- Kiekybinių daugiakriterinių metodų kriterijai dažniausiai sujungia į vieną dydį rodiklių normalizuotąsias reikšmes \tilde{r}_{ij} ir rodiklių svorius ω_j , nors paprasčiausių metodų (VS ir GV) vertinimų rezultatai nepriklauso nuo rodiklių svorių reikšmių.

Kiekybinių daugiakriterinių metodų idėją gerai parodo Simple Additive Weighting (SAW) metodas (Hwang, Yoon 1981; Ginevičius, Podvezko 2004a, 2004c, 2007a, 2007b; Ustinovičius, Zavadskas 2004). Šio metodo kriterijus S_j yra pasvertųjų rodiklių reikšmių suma, t. y. jis skaičiuojamas pagal formulę:

$$S_j = \sum_{i=1}^m \omega_i \tilde{r}_{ij} \quad (14)$$

Daugiakriterinių metodų taikymo praktika rodo, kad objektų rangavimas, remiantis skirtingais metodais, dažnai sutampa arba mažai skiriasi. Pradiniu vertinimo etapu galima rekomenduoti taikyti paprasčiausią metodą VS – vietų sumą: jo rezultatai (objektų rangavimas) dažnai mažai skiriasi nuo sudėtingų matematinių metodų rezultatų, nors skaičiavimas paprastas ir nereikalauja kompiuterinių programų.

VS metodo kriterijus V_j skaičiuojamas pagal formulę (Ginevičius, Podvezko 2001, 2004a, 2006, 2007a, 2007b):

$$V_j = \sum_{i=1}^m m_{ij}, \quad (15)$$

čia m_{ij} – i -tojo rodiklio vieta j -ajam objektui.

Norint padidinti vertinimo rezultatų patikimumą, galima rekomenduoti vienu metu taikyti keletą metodų: visų arba daugiausia rezultatų sutapimas mažina galimybę priimti klaidingą sprendimą. Atskirų metodų vertinimų suderinamumo laipsnį galima nustatyti, skaičiuojant, pavyzdžiui, koreliaciją tarp jų (Ginevičius, Podvezko 2008).

Norint padidinti vertinimų patikimumą ir sumažinti neteisingo sprendimo priėmimo riziką, įtraukiant į vertinimo procesą priimančią sprendimą asmenį, perspektyvoje vertinant sudėtingus dydžius, reikia taikyti naujus daugiakriterinius metodus, pavyzdžiui, PROMETHEE, ELEKTRA, MAUD, dirbtinių neuroninių tinklų ir t. t. (Figueira, Greco, Ehrgot 2005; Ustinovičius, Zavadskas 2004; Juodis, Asanavičienė 2002).

Laukia savo sprendimo atskirų metodų rezultatų patikimumo vertinimų problema ir jų jungimo į bendrą rezultatą. Taip pat nuolat reikia nagrinėti atskirų metodų taikymo sritį ir ribojimus.

7. Sudėtingų dydžių hierarchijos sudarymas, hierarchijos pagrindinio lygmens rodiklių kompleksinis vertinimas

Socialinius ir ekonominius procesus kompleksiskai vertinti yra labai sunku dėl didelio rodiklių skaičiaus. Pavyzdžiui, šalies regionų (apskričių) ekonominę ir socialinę plėtrą apibūdina 162 rodikliai. Neįmanoma nustatyti jų svarumo nagrinėjamo reiškinio atžvilgiu. Tokio didelio skaičiaus rodiklių susieti į vieną apibendrinamąjį kriterijų dabar žinomais metodais praktiškai neįmanoma.

Yra dvi galimybės sumažinti vertinamų rodiklių skaičių. Viena – panaikinti dalį rodiklių iš jų sistemos ir palikti pačius svarbiausius. Tačiau tada bus neįvertinti svarbūs nagrinėjamo reiškinio aspektai ir sumažės vertinimo tikslumas. Kitas galimas problemos sprendimo būdas – rodiklius priskirti giminingoms grupėms ir toliau nagrinėti ne dalinius rodiklius, o jų grupes. Pavyzdžiui, 162 rodiklius, apibūdinančius šalies regionų ekonominę ir socialinę plėtrą, galima suskirstyti į 21 grupę: švietimas ir kultūra, sveikata ir socialinė apsauga, žemės ūkis ir t. t. Paskui atliekamas kiekvienos grupės

dalinių veiksnių daugiakriterinis vertinimas (Ginevičius, Podvezko 2007b).

Sudėtingą reiškinį ar dydį aprašančios sąlygos dažniausiai tarpusavyje yra susijusios. Norint kuo tiksliau įvertinti bendrą visos šios visumos poveikį, reikia sudaryti struktūrą, nusakančią šių sąlygų tarpusavio ryšius. Sąlygos veikia viena kitą, priklauso viena nuo kitos, t. y. jos yra hierarchiškai tarpusavyje priklausomos, todėl sąlygų visumą ir jų tarpusavio ryšius išreiškianti struktūra taip pat turėtų būti hierarchinė. Iš tarpusavyje susijusių dydžių reikia suformuoti hierarchinę struktūrą.

Hierarchijos prioritetus nustatė, bendrą požiūrį į hierarchijų kūrimą suformulavo ir aprašė T. Saaty (1980, 2005). Jis taip pat pasiūlė hierarchijos pakopų dalinių rodiklių svorių vertinimo matematinį AHP (*Analytic Hierarchy Process*) metodą. Jo trūkumu galima laikyti tai, kad nesuteikiama galimybė įvertinti visos hierarchinės struktūros sudėtingumo bei aukščiausiojo hierarchinio lygmens rodiklių svorių priklausomybės nuo šios struktūros. Be to, metodą taikyti įmanoma tik nesudėtingoms hierarchijoms ir, daugėjant lyginamų matricos elementų, jo tikslumas mažėja.

Hierarchijos sudarymo procesas labai sudėtingas ir iki šiol neformalizuotas. Ją kūrė ekspertai savo praktikos, literatūros ir konsultacijų pagrindu. Kai elementų skaičius tampa didelis, jų tarpusavio priklausomybė ir santykiai jau praktiškai nebeįmanomi. Ryšiams tarp rodiklių R_i ($i = 1, \dots, m$) nustatyti ir aprašyti R. Ginevičius (2003) pasiūlė nuoseklus lyginimo kvadratinę matricą $\mathbf{M} = \|m_{ij}\|$ ($i, j = 1, \dots, m$). Ši matrica aprėpia visą reikalingą informaciją apie rodiklių tarpusavio priklausomybę ir yra pagrindas sudėtingo tiriamojo objekto dalinių rodiklių R_i hierarchijai sudaryti ir aprašyti.

Matricos \mathbf{M} elementų tarpusavio priklausomybę nustato ir aprašo specialistai ekspertai.

Sumažinti ryšių skaičių tarp rodiklių R_i ir automatizuoti hierarchijos sudarymą buvo pasiūlyta (Ginevičius, Podvezko 2004d; Гинявичюс, Подвезько 2004), taikant elementų priklausomybės tranzityvumo savybę.

Sudėtingų dydžių hierarchijos gali būti pavaizduotos grafiškai, kiekybiškai įvertintas jų struktūros sudėtingumas ir nustatytos pirmo hierarchijos lygmens apibendrintos rodiklių reikšmės, jei hierarchija formalizuota, jei identifikuotas kiekvienas jos elementas. Buvo pasiūlytas (Ginevičius, Podvezko 2003) hierarchijos elementų identifikacijos metodas jos paskutinio lygmens elementų pagrindu.

Sudėtingų dydžių struktūros ir tam tikros hierarchijos ypatingumas priklauso nuo šių dydžių bendrojo dalinių rodiklių skaičiaus, nuo hierarchijos gilumos, t. y. nuo jos lygmens skaičiaus. Tokiu atveju hierarchijos struktūra, jos sudėtingumas turi įtaką pagrindinio hierarchijos lygmens rodiklių svarumui, jų reikšmingumui. Buvo pasiūlytas (Ginevičius, Podvezko 2003) pirmojo pagrindinio hierarchijos lygmens rodiklių priklausomybės kiekybinis

metodas, vertinantis hierarchijos struktūros, jos medžių ir šakų, kiekvieno dalinio rodiklio vertinimo įtaką rezultatui. Hierarchijos struktūros kiekybinis vertinimas yra iš tikrųjų sudėtingų struktūrizuotų rodiklių objektyvių svorių nustatymas.

Kai sudėtingo reiškinių hierarchinė struktūra sukurta ir įvertinta, reikia nustatyti jos pagrindinio lygmens rodiklių apibendrintas reikšmes.

Taikant kiekvienos grupės, kiekvieno lygmens, kiekvieno hierarchijos medžio padarytą ekspertų pagrindu daugia-kriterinį vertinimą, gaunamas subjektyvus vertinimas.

Sudarant tiriamojo sudėtingo reiškinių hierarchinę struktūrą, reikia įvertinti visas pirmo lygmens rodiklių reikšmes. Taikant pirmo lygmens suskaičiuotas pagrindinių apibendrintų rodiklių reikšmes ir susiejant jas su šių rodiklių objektyviais ir subjektyviais svoriais, gaunamas integruotasis nagrinėjamo reiškinių kriterijus (Ginevičius, Podvezko 2003).

Sudėtingų dydžių daugiakriterinio vertinimo teorijoje ir taikymo praktikoje hierarchinis požiūris dar labai retas atvejis, nors metodų taikymas mažai efektyvus, o dažnai ir neįmanomas, kai rodiklių skaičius viršija 15–20. Liko daug neišspręstų klausimų hierarchiškai struktūrizuojant sudėtingus dydžius, kryptis labai perspektyvi ir laukia mokslininkų ir praktikų dėmesio.

8. Duomenų neapibrėžtumo įtakos daugiakriteriniuose metoduose vertinimas

Matematinė metodų kintamieji dažniausia turi tikimybinę prigimtį. Ir pats procesas – ekonominis, socialinis, technologinis arba inžinerinis, sudarantis matematinio modelio pagrindą, taip pat būna stochastinis. Matematinį modelį galima taikyti praktikoje, jei iširta įtaka modelio atsitiktinių komponentų svyravimo rezultatams, jei modelis yra stabilus parametrų atžvilgiu, t. y. nedideliu modelio parametrų svyravimui tinka mažas rezultatų keitimasis.

Daugiakriterinių metodų pagrindą sudaro statistiniai duomenys arba ekspertų vertinimai. Duomenų neapibrėžtumas turi įtakos taikomų metodų rezultatams. Statistinis imitavimas teikia galimybę daug kartų pakartoti (imituoti) nagrinėjamą procesą, taikant atsitiktinių skaičių sekas, patvirtinti ekspertų suderinamumą, įvertinti rodiklių svorių kitimo intervalus, nustatyti vertinamų objektų veiklos efektyvumo laipsnį, patikrinti taikomų metodų stabilumą.

Statistinis imitavimas yra atskiras kompiuterinio imitavimo atvejis, kai matematinio modelio parametrai turi stochastinę prigimtį ir nagrinėjamam atsitiktiniam procesui imituoti taikomos tikimybinių skirstinių atsitiktinių skaičių sekos. Nagrinėjamo proceso tam tikrų komponentų reikšmės kartojamos daug kartų neviršijant jų kitimo ribų, kiekvienam variantui skaičiuojant atsitiktinį, bet įmanomą rezultatą. Tam tikslui kiekvienam metodo kintamajam

nustatomi galimų svyravimų intervalų režiai (Podvezko, Sivilevičius 2003). Jei modelio stochastinį parametru (charakteristiką) X vertina ekspertai arba yra jo reikšmių vienarūšių statistinių duomenų masyvas, tai galima, taikant matematinės statistikos metodus, nustatyti šio parametro teorinį tikimybinį skirstinį su pasiskirstymo funkcija $F(x)$ ir su pasirinkto patikimumo lygmeniu, artimu vienetui, apskaičiuoti kiekvieno modelio parametro pasikliautinojo intervalo režius. Kitais atvejais parametrų mažiausias ir didžiausias reikšmes gali nustatyti specialistai ekspertai.

Statistinio imitavimo pagrindą sudaro atsitiktinių arba pseudoatsitiktinių skaičių $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N$, tolygiai pasiskirstusių $[0, 1]$ intervale generuota seka, čia N – imitacijų skaičius. Naudojant pseudoatsitiktinius skaičius atsiranda galimybė patikrinti skaičiavimo algoritmą ir kompiuterines programas: kartojant skaičiavimus taip pat kartojasi taikomoji atsitiktinė seka ir skaičiavimo rezultatai turėtų sutapti. Teorinis statistinio imitavimo metodo pagrindas yra didžiųjų skaičių dėsnis ir centrinė ribinė teorema (Podvezko 2006).

Statistinį imitavimą galima pailustruoti, pavyzdžiui, nustatant ekspertų vertinimų suderinamumo stabilumą. Ekspertų vertinimai yra stochastinio pobūdžio: keičiant, pavyzdžiui, ekspertų grupės sudėtį, pasikeis ir rodiklių vertinimų reikšmės, ir atitinkama rangų lentelė, o nuo to priklausau konkordancijos koeficiento W ir χ^2 suskaičiuotos reikšmės ir kaip pasekmė – vertinimų suderinamumo lygis. Taip pat keičiasi rodiklių svoriai ω_i , o nuo to priklauso ir lyginamų objektų rangavimas ir sprendimo priėmimas. Pritaikant statistinio imitavimo metodą, galima patikrinti ir patvirtinti ekspertų vertinimų suderinamumą, taip pat nustatyti galimus rodiklių svorių intervalų režius.

Konkordancijos koeficiento ir suderinamumo nustatymo metodų taikymas rodo (Podvezko 2005, 2006), kad vertinimų rezultatai gali labai svyruoti, o ekspertų nuomonės vis tiek statistiškai suderintos. Bet jeigu suskaičiuota χ^2 kriterijaus reikšmė, kuri nustato vertinimų suderinamumo lygį, mažai skiriasi nuo kritinės reikšmės, paimtos iš χ^2 skirstinio lentelės, tai atsitiktinumo įtaka gali pakeisti suderinamumą ir vertinimo rezultatai tokiu atveju yra mažai patikimi.

Statistinis imitavimas turi didelę perspektyvą taikant daugiakriterinius metodus. Iš tikrųjų vertinimų rezultatas turi būti ne viena iš geriausių alternatyvų, bet alternatyvų klasės.

9. Išvados

Sudėtingų dydžių kompleksiniam vertinimui pastaruoju metu efektyviai taikomi daugiakriteriniai metodai.

Kompleksinį vertinimą sudaro tam tikri būtini vertinimo etapai, pradedant nuo tyrimo problemos formulavimo

ir baigiant tiriamo reiškinio apibendrinamojo dydžio nustatymu ir taikomų modelių stabilumo tikrinimu.

Nepaisant daugybės mokslinių darbų, skirtų daugiakriteriniams metodams, atskiri vertinimo etapų klausimai išnagrinėti nevienodai išsamiai.

Nors sudėtingi dydžiai yra hierarchinės prigimties, hierarchijos formavimas, jos struktūros kiekybinis vertinimas, pagrindinio hierarchijos lygmens rodiklių kompleksinis vertinimas šiuo metu tik pradėti tirti.

Nepakankamai ištirtas daugiakriterinių metodų rodiklių sistemos formavimas, rodiklių reikšmingumo nustatymas, duomenų transformavimas, geriausių modelių pasirinkimas ir atskirų metodų rezultatų sujungimas.

Sudėtingų dydžių stochastinė prigimtis artimiausiu metu gali turėti didelę įtaką daugiakriterinių metodų teoriniams tyrimams ir praktiniams taikymams.

Literatūra

- Figueira, J.; Greco, S.; Ehrgott, M. 2005. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Survey*. Springer.
- Ginevičius, R. 2003. Sudėtingų reiškinų ir dydžių hierarchinis struktūrizavimas dalinių rodiklių nuoseklaus palyginimo būdu, *Verslas: teorija ir praktika* 4(4): 147–154.
- Ginevičius, R. 2006. Daugiakriterinio vertinimo rodiklių svorių nustatymas, remiantis jų tarpusavio sąveika, *Verslas: teorija ir praktika* 7(1): 3–13.
- Ginevičius, R.; Butkevičius, A.; Podvezko, V. 2005. Naujų Europos šalių ekonominės plėtros daugiakriterinis įvertinimas, *Verslas: teorija ir praktika* 6(2): 85–93.
- Ginevičius, R.; Butkevičius, A.; Podvezko, V. 2006. Complex Evaluation of Economic Development of the Baltic States and Poland, *Ekonomický Časopis* 54(9): 918–930.
- Ginevičius, R.; Čirba, S. 2005. Rodiklių reikšmių transformavimas atliekant daugiakriterinius vertinimus, *Verslas: teorija ir praktika* 6(3): 125–130.
- Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2001. Complex evaluation of economic-social development of Lithuanian regions, *Statyba* 7(4): 304–309.
- Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2003. Hierarchiškai struktūrizuotų rodiklių reikšmingumo kompleksinis įvertinimas, *Verslas: teorija ir praktika* 4(3): 111–116.
- Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2004a. Complex evaluation of the use of Information Technologies in the Countries of Eastern and Central Europe, *Journal of Business Economics and Management* 5(4): 183–191.
- Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2004b. Quantitative Assessing the Accuracy of Expert Methods, *Inžinerinė ekonomika* 5(40): 7–12.
- Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2004c. Įmonių strateginio potencialo kiekybinis įvertinimas, *Verslas: teorija ir praktika* 5(1): 3–9.
- Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2004d. Hierarchinių struktūrų formavimas taikant jų elementų tranzityvumą, *Verslas: teorija ir praktika* 5(3): 85–89.
- Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2005a. Daugiakriterinio vertinimo rodiklių sistemos formavimas, *Verslas: teorija ir praktika* 6(4): 199–207.
- Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2005b. Objective and Subjective Approaches in Determining the Criterion Weights in Multicriteria Models, *Transport and Telecommunication* 6(1): 133–137.
- Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2006. Assessing the Financial state of construction enterprises, *Ūkio technologinis ir ekonominis vystymas* 12(3): 188–194.
- Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2007a. Some problems of evaluating multicriteria decision methods, *International Journal of Management and Decision Making* 8(5/6): 527–539.
- Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2007b. Complex assessment of sustainable development of state regions with emphasis on ecological and dwelling conditions, *Ekologija* 53, (Suppl.): 41–48.
- Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2008. Kompleksinių vertinimų įtaka rezultatų patikimumui, *Verslas: teorija ir praktika* 9(1): 73–80.
- Ginevičius, R.; Podvezko, V.; Andruskevičius, A. 2004a. Statybos sistemų technologiškumo nustatymas AHP metodų, *Ūkio technologinis ir ekonominis vystymas* 10(4): 135–141.
- Ginevičius, R.; Podvezko, V.; Mikelis, D. 2004b. Quantitative Evaluation of Economic and Social Development of Lithuanian Regions, *Ekonomika: mokslo darbai* 65: 67–81.
- Hwang, C. L.; Yoon, K. 1981. *Multiple Attribute Decision-Making Methods and Applications. A State of the Art Survey*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Juodis, A.; Asanavičienė, R. 2002. Statybos projektų išlaidų kintimo prognozės modeliavimas taikant dirbtinius neuroninius tinklus, *Journal of Civil Engineering and Management* 8 (Suppl. 2): 81–90.
- Kendall, M. 1955. *Rank correlation methods*. Hafner Publishing House. N.Y.
- Opricovic, S.; Tzeng, G.-H. 2004. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS, *European Journal of Operational Research* 156: 445–455.
- Podvezko, V. 2005. Ekspertų įverčių suderinamumas, *Ūkio technologinis ir ekonominis vystymas* 11(2): 101–107.
- Podvezko, V. 2006. Neapibrėžtumo įtaka daugiakriteriniams vertinimams, *Verslas: teorija ir praktika* 7(2): 81–88.
- Podvezko, V. 2007. Determining the level of agreement of expert estimates, *International Journal of Management and Decision Making* 8(5/6): 586–600.
- Podvezko, V.; Sivilevičius, H. 2003. The study of stability asphalt concrete mixture composition optimization mathematical models using imitative simulation, *Transport* 18(6): 259–265.
- Saaty, T. L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. M.Graw-Hill, New York.
- Saaty, T. L. 2005. The Analytic Hierarchy and Analytic Network Processes for the Measurement of Intangible Criteria and for Decision-Making, in *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Ed. by J. Figueira, S. Greco, M. Ehrgott. Springer, Chapter 9: 345–408.
- Ustinovichius, L.; Zavadskas, E. K. 2004. *Statybos investicijų efektyvumo sistemotechninis įvertinimas*. Vilnius: Technika.
- Ustinovičius, L. 2001. Determining integrated weights of attributes, *Statybai* 7(4): 321–326.
- Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A. 1996. *Pastatų sistemotechninis įvertinimas*. Vilnius: Technika. 280 p.
- Бешелев, С. Д.; Гурвич, Ф. Г. 1974. *Математико-статистические методы экспертных оценок*. Москва: Статистика.
- Гинявичюс, Р.; Подвезько, В. 2004. Метод иерархической структуризации сложных составных величин, *Искусственный интеллект* 2: 54–58.
- Завадскас, Э. К. 1987. *Комплексная оценка и выбор ресурсосберегающих решений в строительстве*. Вильнюс: Мокслас.