

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Milena MEDINECKIENĖ

NEAPIBRĖŽTAS DAUGIAKRITERINIS BŪSTŲ TVARUMO VERTINIMAS

DAKTARO DISERTACIJOS SANTRAUKA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,
STATYBOS INŽINERIJA (02T)



LEIDYKLA
Vilnius TECHNIKA 2014

Disertacija rengta 2009–2014 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.
Mokslinis vadovas

dr. Zenonas TURSKIS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, statybos inžinerija – 02T).

Disertacija ginama Vilniaus Gedimino technikos universiteto Statybos inžinerijos mokslo krypties taryboje:

Pirmininkas

prof. dr. Egidijus Rytas VAIDOGAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, statybos inžinerija – 02T).

Nariai:

prof. dr. Dalė DZEMYDIENĖ (Mykolo Romerio universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija – 07T),

prof. habil. dr. Artūras KAKLAUSKAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, statybos inžinerija – 02T),

prof. habil. dr. Oleg KAPLINSKI (Poznanės technologijos universitetas, socialiniai mokslai, vadyba – 03S),

doc. dr. Tatjana VILUTIENĖ (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, statybos inžinerija – 02T).

Oponentai:

dr. Raimondas BLIŪDŽIUS (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, statybos inžinerija – 02T),

prof. habil. dr. Leonas USTINOVIČIUS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, statybos inžinerija – 02T).

Disertacija bus ginama viešame Statybos inžinerijos mokslo krypties tarybos posėdyje 2014 m. gegužės 13 d. 10 val. Vilniaus Gedimino technikos universiteto senato posėdžių salėje.

Adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva.

Tel.: (8 5) 274 4952, (8 5) 274 4956; faksas (8 5) 270 0112;

el. paštas doktor@vgtu.lt

Disertacijos santrauka išsiuntinėta 2014 m. balandžio 11 d.

Disertaciją galima peržiūrėti Vilniaus Gedimino technikos universiteto bibliotekoje (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lietuva).

VGTU leidyklos „Technika“ 2236-M mokslo literatūros knyga.

© Milena Medineckienė, 2014

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Milena MEDINECKIENĖ

FUZZY MULTI-CRITERIA ASSESSMENT OF DWELLING'S SUSTAINABILITY

SUMMARY OF DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,
CIVIL ENGINEERING (02T)



LEIDYKLA

Vilnius TECHNIKA 2014

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2009–2014.

Scientific Supervisor

Dr Zenonas TURSKIS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Civil Engineering – 02T).

The dissertation is being defended at the Council of Scientific Field of Civil Engineering at Vilnius Gediminas Technical University:

Chairman

Prof Dr Egidijus Rytas VAIDOGAS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Civil Engineering – 02T).

Members:

Prof Dr Dalė DZEMYDIENĖ (Mykolas Romeris University, Technological Sciences, Informatics Engineering – 07T),

Prof Dr Habil Artūras KAKLAUSKAS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Civil Engineering – 02T),

Prof Dr Habil Oleg KAPLINSKI (Poznan University of Technology, Social Sciences, Management – 03S),

Assoc Prof Dr Tatjana VILUTIENĖ (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Civil Engineering – 02T).

Opponents:

Dr Raimondas BLIŪDŽIUS (Kaunas University of Technology, Technological Sciences, Civil Engineering – 02T),

Prof Dr Habil Leonas USTINOVICĪUS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Civil Engineering – 02T).

The dissertation will be defended at the public meeting of the Council of Scientific Field of Civil Engineering in the Senate Hall of Vilnius Gediminas Technical University at 10 a. m. on 13 May 2014.

Address: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania.

Tel.: +370 5 274 4952, +370 5 274 4956; fax +370 5 270 0112;

e-mail: doktor@vgtu.lt

The summary of the doctoral dissertation was distributed on 11 April 2014.

A copy of the doctoral dissertation is available for review at the Library of Vilnius Gediminas Technical University (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lithuania).

© Milena Medineckienė, 2014

Įvadas

Problemos formulavimas

Sprendžiant pastato tvarumo užtikrinimo uždavinius dažnai susiduriama su įvairiomis sprendimų priėmimo problemomis. Jas tenka spręsti, vienu metu atsižvelgiant į gamtosauginius, finansinius, architektūrinius, eksploataavimo patogumo, energetinio efektyvumo rodiklius, apibūdinančius pastatą. Tokių rodiklių reikšmės dažnai būna neapibrėžtos, jas sunku iš anksto tiksliai nustatyti, formuluojant sprendimų priėmimo uždavinius. Šiems uždaviniams spręsti turėtų būti taikomi specialūs daugiakriterinio vertinimo metodai. Jie turėtų leisti priimti sprendimus, kai pastato tvarumą nusakantys rodikliai nėra fiksuoti dydžiai. Be to, pastato tvarumui kiekybiškai aprašyti reikės sudaryti tipinius, daugelį praktinių situacijų atspindinčius rodiklių derinius.

Darbo aktualumas

Sprendimų priėmimas statybos srityje yra vienas iš svarbiausių uždavinių ir aktyviai vykdoma tyrimų sritis. Šis uždavinys glaudžiai siejamas su globalaus atšilimo problema visame pasaulyje. Statybos sektorius pagamina ir skleidžia didelį kiekį CO₂ bei vienaip ar kitaip prisideda prie šio globalaus proceso. Darbo rezultatai galės būti praktiškai taikomi, bus reikalingi ir naudingi visiems statybos ir pastato gyvavimo proceso dalyviams: tiek namo gyventojams, tiek statybų rangovams.

Tyrimų objektas

Tyrimų objektai – statybos uždaviniai, kuriuose neraiškiai apibrėžtos kriterijų reikšmės. Nagrinėjamos tipinės tvaraus būsto statybos alternatyvos. Sprendžiami praktiniai uždaviniai tokie kaip namo konstrukcijų pasirinkimas, renkantis tarp tradicinio mūryto iš plytų, medinio ir karkasinio namo. Antroje disertacijos dalyje, taikant skirtingas šildymo sistemas, nagrinėjami gyvenamieji vienbučiai namai ir lofto tipo apartamentai. Uždaviniai sprendžiami apjungiant į vieną modelį pilkųjų skaičių ir neapibrėžtumo teorija su daugiakriteriniais sprendimų priėmimo (pagrindimo) metodais.

Darbo tikslai

Pagrindinis šio darbo tikslas – taikant pilkuosius skaičius ir lošimo metodus pateikti neapibrėžtą daugiakriterinį sprendimų priėmimo modelį, tinkamą tvarios statybos uždaviniams spręsti. Šis modelis būtų tinkamesnis metodas statybos inžinerijos sprendimams pagrįsti. Šiuo modeliu grindžiamas pasirinkimas tarp tikslingų diskrečių alternatyvų, aptariami ir įvertinami rezultatai, pateikiamos bendrosios ir pagrindinės išvados.

Darbo uždaviniai

Numatytiems tikslams įgyvendinti disertacijoje iškelti šie uždaviniai:

1. Apibrėžti ir išnagrinėti tvarumo sąvoką, jos svarbą ir aktualumą statybos inžinerijoje.
2. Pasaulio mokslininkų atliktų darbų pagrindu pateikti išvadas apie tyrimų svarbą ir problematiką, pasiūlyti sprendimus.
3. Pasiūlyti ir aptarti uždavinių su neapibrėžtais rodikliais sprendimo metodologiją. Pasiūlyti sprendimų priėmimo modelį tvarios statybos uždaviniams spręsti.
4. Sumodeliuoti tvarios statybos alternatyvas, atspindinčias tipinius pastato rodiklius.
5. Surinkti pradinis duomenis (suformuoti sprendimų priėmimo matricas) praktiniams uždaviniams spręsti.
6. Pritaikyti pasiūlytą modelį praktikoje. Išanalizuoti uždavinius, nagrinėjamus šiame darbe, ir pademonstruoti plėtojamą modelį.
7. Remiantis skaičiavimais pateikti galutines išvadas apie atliktą tyrimą.

Tyrimų metodika

Tyrimų metodologija pateikiama kaip kokybinių ir kiekybinių tyrimų metodų derinys. Duomenims rinkti ir uždaviniui analizuoti taikomi kokybiniai ir kiekybiniai tyrimų metodai. Sprendimams priimti šiame darbe taikomi daugiakriteriniai sprendimų priėmimo metodai: Paprastasis suminis svėrimo su pilkaisiais skaičiais metodas (SAW-G), Lošimų teorija (Game Theory), Neraiškiosios aibės (Fuzzy Sets), Neraiškioji lošimų teorija (Fuzzy Game Theory). Kriterijų svoriams nustatyti (kokybiniams ir kiekybiniams tyrimams) taikomas Analitinio hierarchinio proceso (AHP) metodas, pagrįstas Saaty skale ir kriterijų svarba lyginama poromis lentelėse.

Mokslinis naujumas

1. Pateikiamas modelis taikant diskrečiuosius daugiakriterinius sprendimų priėmimo metodus, su neraiškiai apibrėžtomis kriterijų reikšmėmis, kuris yra naujas statybos inžinerijos uždaviniams spręsti ir gali būti taikomas sprendimams pagrįsti.
2. Pagrindinė uždavinio metodika grindžiama neapibrėžtųjų aibių teorija ir pilkaisiais skaičiais. Uždaviniui spęsti pasitelkta neraiškiai apibrėžta lošimų teorija, kuri yra naujas dalykas pagrindžiant sprendimus, o ypač statybos inžinerijoje.

Praktinė vertė

Pasiūlytas modelis gali būti naudojamas statybos projektų planavimo, vertinimo, įgyvendinimo ir naudojimo etape. Šio tyrimo rezultatai gali būti taikomi kaip priemonė naudinga visiems statinio gyvavimo ciklo procesui suinteresuotiems dalyviams, nuo kurių priklauso sprendimų priėmimas ir kurie visą pastato planavimo ir gyvavimo ciklą yra veikiami priimtų sprendimų.

Ginamieji teiginiai

1. Pastato projektavimo ir eksploataavimo etape priimti sprendimai turi atspindėti tvaraus pastato esminius uždavinius, kurie nusako socialinius, aplinkosauginius ir ekonominius kriterijus.
2. Pastatą apibūdinančios reikšmės dažnai būna nežinomos arba netiksliai aprašytos, t. y. joms būdingas neapibrėžtumas. Tokio tipo neapibrėžtiems uždaviniams spręsti turėtų būti taikomi neapibrėžti daugiakriteriniai sprendimų priėmimo metodai, kai kriterijai aprašomi kaip pilkieji skaičiai, arba aprašomi, kaip neapibrėžtos aibės.
3. Uždaviniams, kuriuose rodikliai kinta ir yra apibrėžti intervalais, gali būti taikomas daugiakriterinis metodas su pilkaisiais skaičiais.
4. Neapibrėžtas daugiakriterinis sprendimų priėmimo metodas gali būti taikomas ir deterministiniams uždaviniams spręsti, kuriuose kriterijų vertės yra fiksuotos.

Darbo apimtis

Darbo sudedamosios dalys: įvadas, trys skyriai, bendrosios išvados, literatūros sąrašas, autorės publikacijų sąrašas. Disertacijos apimtis – 103 puslapis, yra 37 numeruotos formulės, 10 paveikslų ir 21 lentelė. Šiam darbui buvo panaudoti 208 literatūros šaltinių.

1. Tvarumo ir daugiakriterinių sprendimų priėmimo metodų apžvalga

Pirmajame disertacijos skyriuje pateikiama mokslinių šaltinių analizė darbo tematika. Aptariama tvarumo koncepcija, jos svarba visuomenei ir statybos sektoriui, pateikiami svarbiausi tvarios pastatų plėtros principai. Apžvalgoje pateikiami pasaulio mokslininkų darbai, kuriuose taikyti daugiakriteriniai sprendimų priėmimo metodai siekiant tvarios pastato plėtros. Apžvelgta energijos, vandens, išteklių naudojimo efektyvumo svarba statyboje, aptarta statybos objektų įtaka aplinkai.

Visi pateikti tyrimai byloja apie pasaulinio atšilimo grėsmę, ypatingai pabrėžiamas statybos poveikis aplinkai. Darbe nagrinėjami moksliniai darbai, kurių vienas pagrindinių tikslų yra įtvirtinti tvarią plėtros koncepciją. Pateiktu

tyrimų autoriai sieja savo darbus su sprendimų priėmimu ir pabrėžia pirminio sprendimo svarbą pradiniam projekto etape. Sprendimų priėmimo metodikos tobulinimo būtinybė neginčytina tiek statybos, tiek daugelyje kitų sričių. Nuo pirminio sprendimo priklauso būsimas pastato tvarumas ir jo poveikis aplinkai.

Skirtingai nuo apžvelgtų tyrimų, šiame darbe nagrinėjami neapibrėžti daugiakriteriniai sprendimų priėmimo metodai, kurie taikomi vertinti tvarius būsto rodiklius, atsižvelgiant į tai, kad pasirinktų alternatyvų kriterijų vertės yra neraiškiai apibrėžtos. Tokio tipo uždavinių sprendimo metodika turėtų būti grindžiama pilkųjų skaičių arba neapibrėžtųjų aibių teorija.

Viena vertus, tvari plėtra – gana senas terminas: 1987 m. Bruntlando komisija išspausdino ataskaitą pavadinimu „Our common Future“ („Mūsų bendra ateitis“). Joje šalių vyriausybėms nustatytas uždavinys siekti ekonominės plėtos pažangą, kuri turėtų būti tvari. Ataskaitoje pabrėžiamos trys tvarumo vystymo koncepcijos: aplinka, visuomenė ir ekonomika.

Bet, kita vertus, tvarumo koncepcija yra gana nauja neištirta sritis. Tai gerai matyti, kai kalbama apie kriterijų parinkimą sprendimų priėmimo uždaviniams. Viena dalis tyrėjų sukuria savo metodus alternatyvoms parinkti, antri pritaiko kitų autorių sukurtus metodus, tretį parenka alternatyvų kriterijus, remdamiesi tais šaltiniais, kuriuos buvo įmanoma rasti numatytam projektui. Nepaisant to, visas šis procesas yra neapibrėžtas ir alternatyvų kriterijai apibrėžti neraiškiai. Kas patvirtina neapibrėžtų sprendimų priėmimo metodų svarbą būstų tvarumo vertinime.

2. Disertacijos uždavinių sprendimo SAW-G ir Fuzzy Games metodika

Antrajame skyriuje pateikiama metodologija, taikoma priimant sprendimus. Šie metodikos principai siejami su Paprastuoju Suminiu Svėrimo, kai kriterijų vertės aprašomos pilkaisiais skaičiais, (SAW-G) metodu, neraiškaus apibrėžtumo teorija (Fuzzy Theory) ir lošimų teorija (Game Theory).

Šiame skyriuje pagrindžiama daugiakriterinių sprendimų priėmimo metodų svarba, jų taikymas ir plėtra. Aprašomas pilkųjų skaičių (SAW-G) metodas, kuris iš esmės yra SAW metodas, pritaikytas pilkųjų skaičių teorijai. Pateikiamas ir SAW metodo aprašymas, ir pagrindiniai jo principai. Šiame skyriuje pagrindžiamos lošimų teorijos taikymo galimybės. Pateikiami kitų autorių darbai, taikančių šios teorijos pagrindus.

Skyriuje taip pat nagrinėjami pagrindiniai neapibrėžtos teorijos principai ir tezės.

Neapibrėžto uždavinio priklausomybės reikšmėms nustatyti sudaromi apibrėžti priklausomybės funkcijos reikalavimai:

- tęstinumas;
- nuolatinis kitimas;
- monotonija.

Šie reikalavimai turi sietis su trimis subjektyviais taškais. Kitaip tariant, erdvė padalijama į tris taškus (a_0 , a_d , a_m), kuriuose priklausomybės reikšmės yra $\mu_{(a_0)} = 0$, $\mu_{(a_d)} = 0,5$, $\mu_{(a_m)} = 1$.

Neapibrėžta lošimų teorija matematiškai apibūžinama taip:

$$\Gamma_m = \left\{ (x_i, y_i), (y_i, \mu_{ij}), (a_{ij}, \mu_{ij}^*) \right\} \quad (1)$$

čia $i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n$.

Γ_m – neraiškūs dviejų asmenų lošimas su nuline mokėjimo suma; x_i – pirmojo lošėjo strategija (alternatyvų aibė); μ_i – pirmojo lošėjo strategijos priklausomybės funkcija; y_i – antrojo lošėjo strategija; μ_{ij} – antrojo lošėjo strategijos priklausomybės funkcija nuo antrojo lošėjo strategijos; a_{ij} – naudingumo funkcija (apibrėžimo funkcija) neraiškiajai lošimų teorijai; μ_{ij}^* – neapibrėžtosios lošimo matricos naudingumo funkcijos priklausomybės funkcija.

Neapibrėžtoji funkcija aprašoma trimis pagrindiniais etapais:

1. Pagal pirmojo lošėjo strategiją. Priklausomybės reikšmės nuo vidinės įtakos veiksnių, skaičiuojamos taip:

x_i, μ_i – neapibrėžtoji alternatyvų aibė:

$$\mu_i = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L \mu_{il} \quad (2)$$

Čia $\mu_{il} - x_l$ kriterijaus priklausomybės reikšmė;

2. Pagal antrojo lošėjo strategiją. Antrojo lošėjo strategijos aibė aprašoma taip pat kaip priklausomybės funkcija. Išoriniai veiksniai, galimybės ir aplinkos kriterijai sudaro antrojo lošėjo strategijos aibę. Visi išvardyti veiksniai aprašomi kaip alternatyvų aibė ir užrašoma kaip matrica su priklausomybės reikšmėmis.
3. Abiejų aibių pjūvis. Čia susumuojami abiejų žingsnių rezultatai. Rezultatai, kurie formaliai atitinka abi strategijas, gali būti aprašyti kaip abiejų aibių pjūvis. Šis rezultatas pateikiamas pagrindinėje sprendimų priėmimo matricioje.

Iš pagrindinės sprendimų priėmimo matricos formuojama galutinė sprendimų priėmimo matrica, kuri gali būti vadinama neapibrėžta lošimų matrica, čia $\mu_{ij}^* = \min(\mu_i, \mu_{ij})$ – neapibrėžtos aibės priklausomybės funkcija. Galutinis sprendimas daromas minimakso principu, t. y. iš neapibrėžtos aibės priklausomybės funkcijos, kuri pateikta matricioje, pasirenkama maksimali reikšmė.

Šio lošimo sprendinys apskaičiuojamas minimakso principu, kuris yra pagrindinis lošimų teorijos metodas.

3. Kompleksinis pastatų vertinimas, kai dalis informacijos yra neraiškiai apibrėžta

Trečiajame skyriuje pateikiami du praktiniai sukurtų modelių taikymo uždaviniai. Nagrinėjamas pasirinkimas tarp tikslingų ir galimų pastato alternatyvų, kai šių sprendimų kriterijų vertės yra neraiškiai apibrėžtos. Sprendimams priimti taikomi anksčiau aprašyti SAW-G ir neraiškiai apibrėžtos lošimų teorijos metodai.

Pirmajame poskyryje pateiktas uždavinys, kuriame nagrinėjamos trys populiariausios gyvenamųjų namų konstrukcijos:

- pirmoji alternatyva – tradicinis mūrinis namas, pastatytas iš tradicinių plytų;
- antrasis namas – medinis, pastatytas daugiausia iš medžio arba medžio medžiagų pagrindu;
- trečiasis – karkasinis namas, pastatytas daugiausia iš medienos ir mineralinių medžiagų.

Šių alternatyvų kriterijai parinkti vertinant pastato poveikį aplinkai, vartojimo ir priežiūros piniginę išraišką, paties pastato ir jo statybos terminus.

1 lentelėje pateikiama pradinė sprendimų priėmimo matrica, 2 lentelėje – pasverta ir normalizuota sprendimų priėmimo matrica, kurioje matyti ir galutiniai skaičiavimų rezultatai. Normalizuotos matricos skaičiavimai pateikiami disertacijoje.

Taigi galima teigti, kad antroji alternatyva (pastatas medžio pagrindu) yra geriausias – 7,5 % geresnis už pirmąją alternatyvą (mūrinį namą) ir 6,6 % geresnis už trečiąją alternatyvą (karkasinį namą).

Antrojoje skyriaus dalyje aprašytos neapibrėžtos lošimų teorijos praktinio taikymo galimybės. Nagrinėjami dviejų tipų gyvenamieji pastatai: tradicinis vienbutis gyvenamasis namas ir lofto tipo apartamentai. Šie du variantai išskirstyti į aštuonias alternatyvas, kiekvienam pastatui priskiriant keturių tipų šildymo sistemas: šildymas akmens anglimi, šildymas dujomis, šildymas biologine mase, mišrusis šildymas biologine mase ir dujomis.

1 lentelė. Pradinė sprendimų priėmimo matrica

	Kriterijai											
	$\otimes x_1$	$\otimes x_2$		$\otimes x_3$		$\otimes x_4$	$\otimes x_5$	$\otimes x_6$	$\otimes x_7$	$\otimes x_8$		$\otimes x_9$
	$w_1 = b_1$	w_2	b_2	w_3	b_3	$w_4 = b_4$	$w_5 = b_5$	$w_6 = b_6$	$w_7 = b_7$	b_8	w_8	$w_9 = b_9$
Opt	min	min		maks		min	min	min	min	min		min
Q	0,078	0,038		0,390		0,143	0,022	0,015	0,008	0,252		0,053
A_1	46400	6	8	70	80	84400	188	16,04	4,86	58000	78300	6810
A_2	43500	6	8	70	80	56600	126	10,76	3,26	63800	75400	5680
A_3	40600	3	6	60	80	69600	155	13,23	3,99	58000	74500	9340

2 lentelė. Pasverta – normalizuota sprendimų priėmimo matrica

	Kriterijai												<i>L_i</i>
	$\otimes \hat{x}_1$	$\otimes \hat{x}_2$		$\otimes \hat{x}_3$		$\otimes \hat{x}_4$	$\otimes \hat{x}_5$	$\otimes \hat{x}_6$	$\otimes \hat{x}_7$	$\otimes \hat{x}_8$		$\otimes \hat{x}_9$	
<i>A₁</i>	0,069	0,019	0,014	0,341	0,390	0,096	0,015	0,010	0,005	0,252	0,187	0,045	0,280
<i>A₂</i>	0,073	0,019	0,014	0,341	0,390	0,143	0,023	0,015	0,008	0,229	0,194	0,053	0,303
<i>A₃</i>	0,078	0,038	0,019	0,293	0,390	0,116	0,018	0,012	0,006	0,252	0,196	0,032	0,286

Fuzzy Games uždaviniui spręsti parinkti ir apskaičiuoti dešimt šias alternatyvas aprašančių kriterijų, apibūdinančių pastato gyvavimo ciklą:

x_1 – medžiagos, naudotos statybos procesui, t/m^2 ;

x_2 – energija, suvartota statybos metu, GJ/m^2 ;

x_3 – vanduo, suvartotas statybos metu, m^3/m^2 ;

x_4 – energija, suvartota per 50 pastato gyvavimo metų, kWh/m^2 ;

x_5 – sienos su šilumos nuostoliais, m^2 ;

x_6 – CO_2 kiekis, suvartotas per 50 pastato gyvavimo metų, kg/m^2 ;

x_7 – apartamentų kaina, EUR/m^2 ;

x_8 – žmogaus darbo valandų kaina, žmogaus valandos/ m^2 ;

x_9 – kuro metinė kaina, $EUR/100 m^2$;

x_{10} – suvartotos energijos kaina per 50 pastato gyvavimo metų, Lt/m^2 .

Remiantis skaičiavimo rezultatais, alternatyvos išsidėsto štai taip:

$$A_2 \succ A_3 \succ A_1$$

Uždavinio sprendimo modelis, taikomas abiemis sprendimų metodams, pateiktas 1 paveiksle ir aprašomas taip:

Pirmas žingsnis – problemos formulavimas. Šiame etape nagrinėjama esama situacija: apžvelgiama būstų rinka, koks yra visuomenės poreikis, kokie būstai yra patrauklus, kokie galimi šių būstų tvarūs statybos sprendiniai, ir kokie yra planuojamo pastato priežiūros kaštai.

Antras žingsnis – nustatomi sprendimo priėmėjo tikslai. Uždaviniui spręsti svarbu žinoti kas ir kokių tikslu sprendžia uždavinį, kas ir kodėl yra suinteresuotas to uždavinio sprendiniu ir kokią poveikį turės priimtas sprendimas.

Trečias žingsnis – duomenų surinkimas. Šis etapas yra daugiausiai imlus darbui ir labai svarbus. Nuo surinktų duomenų tikslumo ir duomenis renkančiųjų kvalifikacijos priklauso uždavinio sprendinio kokybė. Jis pagrindinis tyrimo etapas. Vykdoma respondentų apklausa, renkami poveikį aplinkai apibūdinantys kriterijai, apskaičiuojama statybos kaina, statybos terminai ir kaštai.

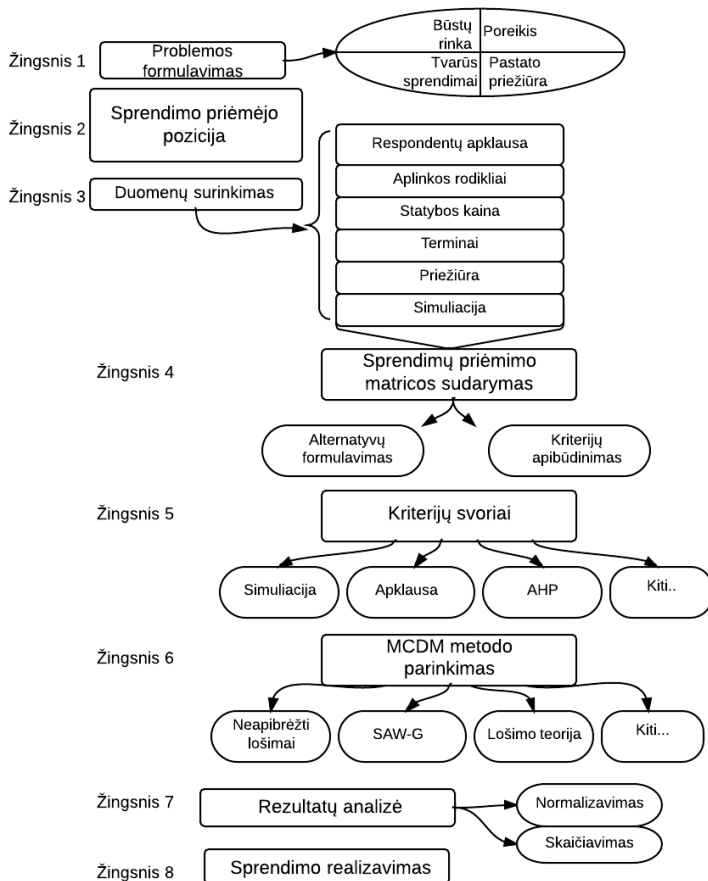
Ketvirtas žingsnis – pradinės sprendimų priėmimo matricos sudarymas. Šis žingsnis susideda iš dviejų etapų: alternatyvų sudarymo ir kriterijų aprašymo. Aprašytų duomenų pagrindu suformuojama sprendimų priėmimo matrica.

Penktas žingsnis – kriterijų svorių nustatymas. Šis žingsnis gali būti lygiagrečiai atliekamas su 4 žingsniu. Yra daug metodų kriterijų svoriams nustatyti ir apskaičiuoti: modeliavimas (kompiuterinės programos), respondentų apklausa, AHP metodas (porinis kriterijų svarbos palyginimas) ir kt.

Šeštasis žingsnis – MCDM metodo parinkimas. Svarbu tinkamai parinkti daugiakriterinį sprendimų priėmimo metodą. Nuo jo labai priklauso galutinis sprendinys ir priimamas sprendimo sėkmė.

Septintasis žingsnis – rezultatų nagrinėjimas ir vertinimas prieš priimančią sprendimą. Uždavinio sprendimo algoritmas, taikant neraiškiai apibrėžtą lošimų teoriją taip pat patiekiamas scheme (žiūr. disertacijoje).

Aštuntasis žingsnis – sprendimo realizavimas. Geriausias sprendinys (alternatyva) parenkamas ir įdiegiamas praktikoje (projektuojant pastatus).



1 pav. Bendras neapibrėžto uždavinio sprendimo modelis

3 lentelėje pateikiama šio tyrimo vidinių įtakos veiksnių paskirstymo matrica (išorių įtakos veiksnių lentelę žiūr. disertacijoje). Šios matricos pabaigoje pateikiamos trys reikšmės, apibūdinančios kriterijus:

a_0 – mažiausia j kriterijaus vertė;

a_m – didžiausia j kriterijaus vertė;

a_d – vidurkis tarp a_0 ir a_m verčių.

3 lentelė. Vidiniai įtakos veiksniai

Alternatyvų aprašymas		x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
		Optimizavimo kryptis				
		min	min	min	min	min
A_1	Vienbutis gyvenamasis namas su šildymo akmens anglimis sistema	1,6	31,5	51,4	7969,0	308,0
A_2	Vienbutis gyvenamasis namas su šildymo gamtinėmis dujomis sistema	2,1	41,3	67,4	7054,0	308,0
A_3	Vienbutis gyvenamasis namas su šildymo biologine mase sistema	1,8	35,4	57,8	8843,0	308,0
A_4	Vienbutis gyvenamasis namas su mišria šildymo sistema (biologinė masė + dujos)	2,3	45,3	73,8	7317,0	308,0
A_5	Lofto tipo apartamentai su šildymo akmens anglimis sistema	1,5	27,1	41,7	5903,0	362,5
A_6	Lofto tipo apartamentai su šildymo gamtinėmis dujomis sistema	1,9	35,5	54,5	5149,0	362,5
A_7	Lofto tipo apartamentai su šildymo biologine mase sistema	1,7	30,5	46,9	6408,0	362,5
A_8	Lofto tipo apartamentai su mišria šildymo sistema (biologinė masė + dujos)	2,2	39,1	60,0	5586,0	362,5

3 lentelės tęsinys

Alternatyvų aprašymas	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
	Optimizavimo kryptis				
	$\min$	$\min$	$\min$	$\min$	$\min$
a_0	1,5	27,1	41,7	5149,0	308,0
a_d	1,9	36,2	57,7	6996,0	335,3
a_m	2,3	45,3	73,8	8843,0	362,5

5 lentelėje pateikiama galutinė sprendimų priėmimo matrica, iš kurios matyti galutiniai rezultatai. Šis sprendimo modelis taiko neapibrėžtą lošimų teoriją sprendimams priimti renkantis būstą gyventi. Remiantis lošimų teorijos metodo pagrindais, matrica padalijama į dvi pagrindines sprendimų priėmimo matricas su vidiniais ir išoriniais veiksniais. Kitas žingsnis – galutinė lošimų teorijos sprendimų priėmimo matrica. Skaičiavimo procesas vyksta ilgai, jų vertės transformuojamos su dideliais algoritmais, todėl rezultatai, o, tiksliau, jų vertės, yra netikslios. Bet tai neturi įtakos galutiniam sprendimo priėmimui.

5 lentelė. Neapibrėžtos lošimų teorijos sprendimų priėmimo matrica

	μ_i	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Rezultatas
A_1	0,250	0,250	0,250	0,000	0,250	0,250	0,000
A_2	0,627	0,468	0,627	0,004	0,085	0,459	0,004
...	...	...	...	...	...	...	...
A_7	0,316	0,000	0,035	0,316	0,000	0,194	0,000
A_8	0,664	0,000	0,158	0,664	0,026	0,005	0,000
Geriausia alternatyva A_2 – vienbutis gyvenamasis namas su šildymo dujomis sistema							0,004

Šio atvejo analizė parodė tik vieną tvarią alternatyvą – geriausia alternatyva yra A_2 (vienbutis gyvenamasis namas su gamtinių dujų šildymo sistema). Neapibrėžtų lošimų skaičiavimų metodika yra siejama su Lošimų teorijos metodo principais. Tai atsispindi ir rezultatuose – matyti, kad geriausia alternatyva turi daug artimų kriterijų verčių, lyginant su vidutine a_d reikšme.

Bendrosios išvados

Išnagrinėjus mokslinę literatūrą tvarios plėtros ir sprendimų priėmimo metodų tematika, išplėtojus ir pritaikius neapibrėžtąją lošimų teoriją, formuluojamos šios išvados:

1. Remiantis literatūros analize, galima teigti, kad būsto tvarumas yra aktuali tyrimų tematika ir kad užtikrinant šį tvarumą, didelės įtakos turi planavimo metu priimami sprendimai. Jie turi atspindėti ekonominius, socialinius ir aplinkosauginius būsto projektavimo ir eksploatavimo aspektus.
2. Būsto tvarumą galima apibrėžti kiekybinių ir kokybinių rodiklių deriniais. Jie bus naudingi priimant tvarumą užtikrinančius sprendimus. Tačiau formuluojant sprendimo priėmimo uždavinius, tikslios rodiklių reikšmės dažnai nebūna žinomos, t. y. joms būdingas neapibrėžtumas. Matematiškai šie uždaviniai gali būti užrašomi daugiakriterinio vertinimo problemos pavidalu. Visi arba kai kurie šios problemos sprendimų priėmimo matricos komponentai gali būti neapibrėžti dydžiai.
3. Sprendimų priėmimo matrica, išreikianti alternatyvius būsto tvarumą nusakančius sprendimus, gali būti formuojama taikant pilkuosius skaičius. Jie yra paprastas ir praktiškai patogus būdas kiekybiškai nusakyti neapibrėžtumus.
4. Tvaraus būsto užtikrinimo uždavinį galima spręsti ir formuluojant fiksuotą, deterministinę sprendimų priėmimo matricą. Tačiau spręsti daugiakriterinės analizės uždavinį tikslinga būtų taikant neapibrėžtus daugiakriterinius sprendimų priėmimo metodus.
5. Tvaraus būsto statybos alternatyvos gali būti parenkamos lyginant skirtingas pagrindines pastatų statybos medžiagas, skirtingus architektūrinius sprendimus bei energetinio aprūpinimo būdus. Remiantis šiuo lyginimu galima parinkti tipinius, praktiniu požiūriu reikšmingus daugiakriterinės analizės rodiklių derinius. Jie leis priimti efektyvius sprendimus, susijusius su būsto tvarumu.
6. SAW-G ir *Fuzzy Games* metodai buvo pritaikyti nagrinėtiems uždaviniams spręsti. Pagal uždavinio sprendimo SAW-G metodu rezultatus nustatyta, kad geriausia alternatyva tarp nagrinėtų yra medinis namas. Skirtumas tarp nustatytų naudingumo funkcijos reikšmių yra panašus, tiek lyginant medinį namą su karkasiniu namu, tiek lyginant su mūriniu namu. Mūrinio namo naudingumo funkcijos reikšmė buvo blogiausia. Svarbu pažymėti, kad respondentai, dalyvavę šio projekto apklausoje, yra pastatų savininkai.

7. *Fuzzy Games* metodu buvo lyginamas tradicinis vienbutis gyvenamasis namas ir lofto tipo apartamentai su skirtingomis šildymo sistemomis (akmens anglies, gamtinių dujų, biologine sistema ir biologinė su dujomis). Skaičiavimai parodė, kad renkantis iš minėtų alternatyvų yra vienintelis geriausias sprendimas, t. y. vienbutis gyvenamasis namas su šildymo gamtinėmis dujomis sistema.
8. Disertacijoje pateiktais metodais galima spręsti būsto tvarumo problemą kai reikia atsižvelgti į daugelį šios problemos aspektų. Jos išreiškiantys rodikliai gali būti priklausomi ir vienas kitam prieštaraujantys, todėl naudojant daugiakriterinės metodus galima gana išsamiai įvertinti informaciją, išreiškiamą dideliu rodiklių skaičiumi.

Trumpos žinios apie autorę

Milena Medineckienė gimė 1985 m. liepos 27 d. Vilniuje. 1991–2003 m. mokėsi Vilniaus Lukiškių vidurinėje mokykloje. 1991–2001 lankė Balio Dvariono muzikos mokyklą, fortepijono specialybę. 2003–2007 m. studijavo Vilniaus Gedimino technikos universitete, įgijo statybos inžinieriaus bakalauro laipsnį. Nuo 2007 m. spalio mėn. dirbo UAB „Konstruktoriai LT“ inžiniere konstruktore, nuo 2008 m. vasario – įmonėje „Hrono Statyba“ inžiniere sąmatininke, 2009 m. – įmonėje „KAYI Europa“ ir UAB „AVONA“ inžiniere sąmatininke. 2009 m. Vilniaus Gedimino technikos universitete įgijo statybos inžinieriaus magistro laipsnį. 2009–2014 m. – VGTU doktorantė. 2010 m. stažavosi Budapešto technologijos ir ekonomikos universitete (BME) Vengrijoje ir Karališkajame technikos institute (KTH) Švedijoje, Stokholme. Nuo 2011 m. – KTH doktorantė.

Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašas

Mokslinės informacijos instituto duomenų bazės „ISI Web of Science“ leidiniuose, turinčiuose citavimo rodiklį

Medineckiene, M.; Turskis, Z.; Zavadskas, E. K. 2010a. Sustainable construction taking into account the building impact on the environment, *Journal of environmental engineering and landscape management* 18(2): 118–127. ISSN 1648-6897. (Web of Science)

Medineckienė, M.; Zavadskas, E. K.; Turskis, Z. 2011a. Dwelling selection by applying fuzzy game theory, *Archives of civil and mechanical engineering* 11(3): 681–697. ISSN 1644-9665. (Web of Science)

Kituose recenzuojamuose mokslo leidiniuose

Medineckiene, M.; Turskis, Z.; Zavadskas, E. K. 2011b. Life-cycle analysis of a sustainable building, applying multi-criteria decision making method, *8th International Conference "Environmental Engineering"*, May 19–20, Vilnius, Lithuania. CD. Vilnius: Technika, 957–961. ISBN 9789955288312.

Medineckiene, M.; Kracka, M. 2011. Išorinių pastato atitvarų vertinimas taikant daugiakriterinius metodus, *Mokslas – Lietuvos ateitis = Science – future of Lithuania: Statyba, transportas, aviacinės technologijos = Civil and transport engineering, aviation technologies* 3(2): 30–34. ISSN 2029-2341

Medineckienė, M.; Turskis, Z.; Zavadskas, E. K.; Tamošaitienė, J. 2010b. Multi-criteria selection of the one flat dwelling house, taking into account the construction impact on environment, in *10th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques: selected papers. May 19–21*. Vilnius: Technika, 455–460. ISBN 9789955285939.

Peldschus, F.; Zavadskas, E. K.; Tamošaitienė, J.; Turskis, Z.; Medineckienė, M. 2010. Selection of construction organisation model taking into account total consumption of energy in construction process, in *10th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques: selected papers. May 19–21*. Vilnius: Technika, 493–497. ISBN 9789955285939.

FUZZY MULTI-CRITERIA ASSESSMENT OF DWELLING'S SUSTAINABILITY

Problem formulation

While analysing challenges for the building's sustainability assurance, often various decision making problems are encountered. They should be solved at the same time taking into account environmental, financial, architectural, operational convenience, energy efficiency criteria that characterise the building. The values of these criteria usually are uncertain or fuzzy; it is difficult to determine them precisely in advance for the formulation of decision making tasks. Solving such tasks requires special multi-criteria evaluation methods. They should allow making decisions when the building sustainability criteria are not fixed values. In addition, the quantitative description of building's sustainability requires typical combination of criteria which reflect most of practical situations.

Relevance of the study

Decision making in the field of construction is one of the most important tasks and is a popular field of investigation among civil engineering researchers. This task is closely related to the global warming problem around the world. The construction sector produces and emits large quantities of CO₂ and in one or another way contributes to this global process. The results of this study are practically applicable, required and useful for all the participants of the construction and building's maintenance: both the residence and the construction contractors.

The research object

Research objects – construction tasks with fuzzy criteria values. The alternatives of sustainable housing are analysed. Practical problems such as dwelling construction choice between traditional brick house and wood frame house are being solved. The second part of the dissertation by applying different heating systems – the residential single-family housing and loft type apartment are analysed. The problems are solved by joining grey numbers and fuzzy theory with multi-criteria decision making methods into one model.

The objective of the work

The main objective of this work is creation of the fuzzy multiple criteria decision making model by applying grey numbers and game theory methods, which is appropriate to reason the construction engineering decisions. With this model the choice between targeted discrete alternatives and evaluated results in general is justified and general and main conclusions are presented.

Work tasks

For the purposes of the implementation of the thesis the following tasks were set:

1. Define and analyse the concept of sustainability, its importance and relevance in civil engineering.
2. Make conclusions about the importance of the research and problems based on the studies carried out by the scientists worldwide and suggest solutions.
3. Suggest and discuss methodology for the solution of the problems with fuzzy criteria. Suggest decision-making model to solve sustainable construction problems.
4. Model alternatives for sustainable constructions which reflect typical characteristics of the building.

5. Collect initial data (compose decision-making matrices) to solve practical problems.
6. Apply the suggested model in practice. Analyse the problems, investigated in the work and demonstrate the developed model.
7. Provide final conclusions about the research made based on calculations.

Research methodology

The research methodology is presented as combination of quantitative and qualitative research methods. Qualitative and quantitative methods were applied to data collection and case analysis. The decisions were made by applying multiple criteria decision making methods: Method of Simple Additive Weighting with Grey relations (SAW-G), Game Theory, Fuzzy Sets, Fuzzy Game Theory. The weights of criteria (for qualitative and quantitative research) Analytic Hierarchy Process (AHP) method is used, based on Saaty scale, where the importance of the criteria are compared pair-wise in tables.

Scientific novelty

1. The presented model allows applying discrete multiple criteria decision-making methods with fuzzy criteria values. This is novelty for the solution of construction engineering problems and it can be applied to support the decisions.
2. The main methodology for the problem solution is based on fuzzy set theory and grey numbers. The problem is solved with the help of fuzzy game theory and it is new method to support decisions, particularly those of civil engineering.

Practical value

The suggested model can be used in construction projects planning, evaluation, implementation and operational stages. The results of this research can be applied as a mean which is useful for all the participants interested in building's lifecycle process as they are involved in decision making and are affected by the decisions, made during all building's planning process and its life-cycle.

The defended statements

1. The solutions developed during the building's design and operational stage should reflect the essential aims of the sustainable building, as they describe the social, environmental and economical criteria.

2. The values which describe the building usually are unknown or vague, that is they can be characterized as uncertain or fuzzy. In order to solve such type of fuzzy problems the fuzzy multi-criteria decision making methods should be applied.
3. In order to solve the problems with varying criteria and with defined intervals it is convenient and practical to apply multi-criteria method with grey numbers.
4. The Fuzzy Multi-criteria decision making method can also be applied to solve deterministic problems with fixed criteria values.

Dissertation structure

Dissertation consists of Introduction, 3 chapters and Conclusions. Chapter 1 presents a literature review about the investigations, where the decision making in civil engineering is linked with the sustainability and with the reference to the provided information, the conclusions are developed.

Chapter 2 presents the decision model of multi-criteria tasks and describes the sets of criteria. Here the multi-criteria methodology, which will be applied later in the case study's calculations, is examined: SAW-G, Game Theory, Fuzzy Sets, Fuzzy Games.

Chapter 3 investigates the case studies, adopting the referred methodology for the decision making in presented tasks. At the end of each case study the results and conclusions are presented. The general conclusions are presented at the end after all chapters.

The scope of the work is 103 pages. In the text were mentioned 37 numerated formulas, 10 pictures and 21 tables. For this work were used 208 references.

General conclusions

After analysis of scientific literature, development and application of fuzzy game theory in practice the following conclusions are formulated:

1. According to the literature analysis it can be stated that dwelling sustainability is relevant research topic. In order to ensure this sustainability, the decisions which are made during the planning phase are very important. They must reflect the economic, social and environmental aspects for housing design and maintenance.
2. The sustainability of the housing might be described by combinations of the quantitative and qualitative criteria. They will be useful when making decision for sustainability assurance. But while formulating decision making tasks usually the precise values of the criteria are vague, i.e. uncertain. Mathematically these problems can be written in

- the form of the problem of multi-criteria evaluation. All or some components of this decision making matrix might be fuzzy values.
3. The decision making matrix which describes the alternative solutions describing housing sustainability might be created by applying grey numbers. They suggest simple and practically convenient method to define the uncertainties quantitatively.
 4. The assurance of the sustainable dwelling problem also can be solved by composing the fixed, deterministic decision making matrix. However, in order to solve multi-criteria analysis problem it is more purposeful to apply multi-criteria decision making methods.
 5. The alternative of sustainable housing construction might be selected by comparing different main materials for building construction, different architectural solutions and energy supply systems. Such comparison allows choosing typical, significant criteria combinations of multi-criteria analysis. They will ensure the efficiency of solutions associated with housing sustainability.
 6. SAW-G and Fuzzy Games methods were applied to solve the researched problems. The results of the problem solving, using SAW-G method, allow determining that the best alternative among the analysed data is the wooden house. The difference between the determined utility function values is similar when comparing wooden house both with the frame house and brick house. The value of the utility function for the brick house was the worst. But it is important to note that the respondents, who participated in this survey, are the owners or the real buildings.
 7. By using Fuzzy Games method the traditional one flat house was compared with loft type apartments with different heating systems (coal, natural gas, biological system and biological with gas). The calculations showed that while choosing among the mentioned alternatives the only best relevant solution was one flat dwelling with heating system of natural gas.
 8. The methods provided in the dissertation can be used to solve housing sustainability problem when there is a need to consider multiple aspects of this problem. The criteria which describe them might be dependent and conflicting with each other. Thus the application of multi-criteria analysis will allow comprehensive reflection and evaluation of information which is expressed using large number of the criteria.

About the author

Milena Medineckiene was born in Vilnius, on 27 of July 1985. 1991.09–2003.06 studied in Vilnius Lukiskiu secondary school. 1991–2001 attended Balys' Dvarionas' music school, specialisation fortepiano. 2003.09–2007.06 studied in Vilnius Gediminas Technical University, gained bachelor degree in Civil Engineering. From 2007.10 worked at JSC "Konstruktoriai LT" as an engineer – designer; from 2008.02 – in JSC "Hrono Statyba" engineer – estimator. 2009.04–2009.10 – in JSC "KAYI Europa" and JSC "AVONA" as an engineer-estimator. In 2009.06 in Vilnius Gediminas Technical University gained Master degree in Civil Engineering. 2009–2014 m. – VGTU PhD student. In 2010 – internships in Budapest Technological and Economical University (BME) and in Royal Institute of Technology (KTH) in Sweden, Stockholm. Form 2011 is a PhD student in KTH.

Milena MEDINECKIENĖ

NEAPIBRĖŽTAS DAUGIAKRITERINIS BŪSTŲ TVARUMO VERTINIMAS

Daktaro disertacijos santrauka

Technologijos mokslai, Statybos inžinerija (02T)

Milena MEDINECKIENĖ

FUZZY MULTI-CRITERIA ASSESSMENT OF DWELLING'S SUSTAINABILITY

Summary of Doctoral Dissertation

Technological Sciences, Civil Engineering (02T)

2014 04 11. 1,5 sp. l. Tiražas 70 egz.
Vilniaus Gedimino technikos universiteto
leidykla „Technika“,
Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius,
<http://leidykla.vgtu.lt>
Spausdino UAB „BMK Leidykla“
J. Jasinskio g. 16, 01112 Vilnius