



PASTATŲ ATNAUJINIMO DARNAUS VERTINIMO KRITERIJŲ ĮTAKOS ANALIZĖ

Rūta MIKUČIONIENĖ¹, Artur ROGOŽA², Vytautas MARTINAITIS³

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹ruta.mikucioniene@vgtu.lt; ²artur.rogoza@vgtu.lt; ³vytautas.martinaitis@vgtu.lt

Santrauka. Remiantis darnaus vystymosi koncepcija sudarytas bendrasis darnumo kriterijus pastatų atnaujinimo priemonėms vertinti. Bendrąjį darnumo kriterijų sudaro penki kriterijai: energinis efektyvumas, poveikis aplinkai, ekonominis racionalumas, komfortas ir gyvavimo ciklo trukmė. Daugiakriterė analizė atlikta kriterijų reikšmes normalizuojant SAW (angl. *Simple Additive Weighting*) metodu. Atskirų kriterijų, sudarančių bendrąjį darnumo kriterijų, įtakos analizė atlikta penkiais scenarijais, kurių kiekviename BDK sudarė tik keturi kriterijai. Atlikta analizė parodė, kad visi penki bazinio varianto kriterijai yra vienodai svarbūs norint priemonės įvertinti visapusiškai ir objektyviai.

Reikšminiai žodžiai: pastatas, atnaujinimas, darnumo kriterijus, gyvavimo ciklo analizė, daugiakriterė analizė, sprendimų priėmimas.

Įvadas

Siekiant efektyvaus energijos vartojimo pastatuose tikslų, ne tik griežtėja naujai statomų pastatų reikalavimai, bet ir esamiems pastatams atnaujinti skiriama vis daugiau dėmesio. Energijos sąnaudų sumažėjimas ir ekonominė nauda – tai tik dalis pastato atnaujinimo privalumų. Kokybiška renovacija prasideda tinkamų energijos taupymo priemonių (toliau – ETP) pasirinkimu. Pasirinkti priemonės – reiškia priimti sprendimą, kuri alternatyva yra geresnė. Tam pirmiausia reikia nusistatyti ETP vertinimo kriterijus.

Šiuo metu itin populiarėjantis vertinimas darnaus vystymosi (toliau – DV) požiūriu naudojamas ir pastatams, ypač jų atnaujinimui, vertinti. Pagrindinės darnaus vystymosi nuostatos buvo suformuluotos pasaulio viršūnių susitikime Rio de Žaneire 1992 m. Darnus vystymasis įteisintas kaip pagrindinė ilgalaikė visuomenės vystymosi ideologija. Šios koncepcijos pagrindą sudaro trys lygiaverčiai komponentai – aplinkosauga, ekonominis ir socialinis vystymasis (LR Vyriausybė 2003).

Kokiais kriterijais įvertinti pastatų atnaujinimą, kaip vertinti pastatų DV principu, bendros mokslininkų nuomonės nėra. Vieni tyrėjai (Brown *et al.* 2013) pastatų atnaujinimą vertina energijos poreikių pokyčiu, gyvavimo ciklo kaina ir aplinkosaugos vertinimu, įvardydami juos kaip darnumo kriterijus. Kitų autorių (GhaffarianHoseini *et al.* 2013) darbuose darnus pastatų vertinimas atliekamas tokiomis kriterijais, kaip ekonominė nauda, energijos sąnaudos,

papildoma nauda (į šį kriterijų įeina ir vidaus patalpų oro kokybė) ir poveikis aplinkai. Šiais kriterijais vadovaujantis siekiama padidinti visuomenės gerovę, tausoti išteklius, didinti naudą ir sumažinti poveikį aplinkai.

Dažnas ETP pasirinkimo kriterijus darnumo požiūriu yra energijos poreikių arba išteklių sumažėjimas, kuris vertinamas įvairiai: sutaupytos energijos poreikis (Brown *et al.* 2013), sutaupytos ir įkūnytos atnaujinimo procese energijos skirtumas (GhaffarianHoseini *et al.* 2013). Šalyse, kuriose vanduo yra labiau taupomas nei energija, vertinamas vandens sąnaudų pokytis.

Norėdami išsiaiškinti, kokie kriterijai yra svarbiausi atliekant darnų pastatų projektų vertinimą, autoriai (Mwasha *et al.* 2011) atliko statybų sektoriaus dalyvių (konstruktorių, architektų, konsultantų, aplinkosaugininkų) apklausą. Tyrimo išvadose suformuluotą darnumo kriterijų derinį sudarė energijos efektyvumas, poveikis aplinkai, prieinamumas, socialinė nauda, medžiagų efektyvumas ir ilgaamžiškumas.

Daugumoje studijų teigiama, kad darnus pastatų atnaujinimas pirmiausia išreiškiamas energijos efektyvumo (toliau – EE) kriterijumi (Užšilaitytė, Martinaitis 2010; Chantrelle *et al.* 2011; Risholt *et al.* 2013; Xu, Chan 2013).

Poveikis aplinkai (toliau – PA) – kriterijus, taip pat dažnai naudojamas pastatų atnaujinimo darnumui vertinti (Užšilaitytė, Martinaitis 2010; Chantrelle *et al.* 2011;

Risholt *et al.* 2013). PA gali būti išreiškiamas kaip poveikis klimato kaitai, ozono sluoksnio suplonėjimas, rūgštėjimo procesas ir kiti į orą patenkantys teršalai (Blom *et al.* 2010). Populiariausias ir dažniausiai mokslininkų naudojamas PA vertinimo kriterijus yra poveikis klimato kaitai, išreiškiamas išskirtų CO₂ dujų ekvivalentais.

Ekonominis kriterijus dažnai naudojamas kaip pagrindinis pastatų atnaujinimo rodiklis (Doukas *et al.* 2009; Nikolaidis *et al.* 2009; Chidiac *et al.* 2011; Petersen, Svendsen 2012). Ekonominis racionalumas (toliau – ER) taip pat yra vienas iš trijų DV koncepcijos komponentų, todėl įtraukiamas ir į darnaus vertinimo kriterijus.

Kompleksinis energijos taupymo priemonių vertinimas reikalauja tenkinti komforto sąlygas. Komforto terminas mokslininkų interpretuojamas įvairiai. Dažniausiai pastatams vertinti naudojamas šiluminio komforto (Chantrelle *et al.* 2011) ar oro kokybės (Juan *et al.* 2010; Frontczak *et al.* 2012; Brown *et al.* 2013) kriterijus.

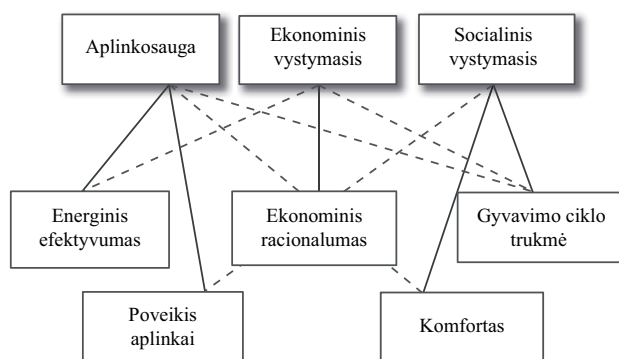
Įtaka pastato gyvavimo ciklo trukmei taip pat turėtų būti vertinama kaip darnumo kriterijus (Risholt *et al.* 2013). Netiesiogiai pastato gyvavimo trukmė, kuri gali būti išreikšta efektyvaus naudojimo trukme, gali būti ir energiniu, aplinkosaugos ar ekonominiu kriterijumi. Vis dėlto, norint apskaičiuoti ETP poveikį pastato gyvavimo trukmei, turėtų būti vertinamas pastato nusidėvėjimas ir ETP poveikis jam atstatyti (Užšilaitytė, Martinaitis 2010).

Darnus vertinimas turėtų būti atliekamas remiantis kriterijų rinkiniu, kuris apima visus tris DV koncepcijos komponentus.

Kiekvienoje studijoje darnumo kriterijai pasirenkami individualiai, priklausomai nuo studijos analizės požiūrio (politinio, ekonominio, aplinkosauginio). Tačiau daugumoje studijų, kuriose buvo reitinguojamos ETP remiantis DV principais, buvo vertinamas energijos efektyvumas, poveikis aplinkai ir ekonominė nauda. Kriterijų išraiška, jų svarba ir įtaka darniam pastatų atnaujinimo vertinimui yra klausimas, į kurį ieško atsakymo sprendimų priėmėjai.

Pastatų atnaujinimo darnaus vertinimo koncepcija

Darnaus vertinimo kriterijai turi apimti ir integruoti skirtingas sritis: energetiką, aplinkosaugą, ekonomiką, komfortą ir statybą. *Vertinant pastato energinių savybių darnaus valdymo modelį* buvo pasirinkta penkių kriterijų vertinimo sistema (Mikučionienė *et al.* 2014; Mikučionienė, Martinaitis 2014). Remiantis mokslininkų naudojamais pastatų atnaujinimo vertinimo kriterijais buvo atrinkti penki kriterijai, priklausantys trims darnaus vystymosi koncepcijos komponentams: energinis efektyvumas, poveikis aplinkai, eko-



1 pav. Darnaus vystymosi komponentų išraiška penkiais kriterijais

Fig. 1. The expression of the components of sustainable development using five criteria

nominis racionalumas, komfortas ir pastato gyvavimo ciklo trukmė. Šie penki kriterijai (1 pav.) turi tiesiogines (pavaizduota tiesia linija) ir netiesiogines (pavaizduota punktyrine linija) sąsajas su trimis DV komponentais.

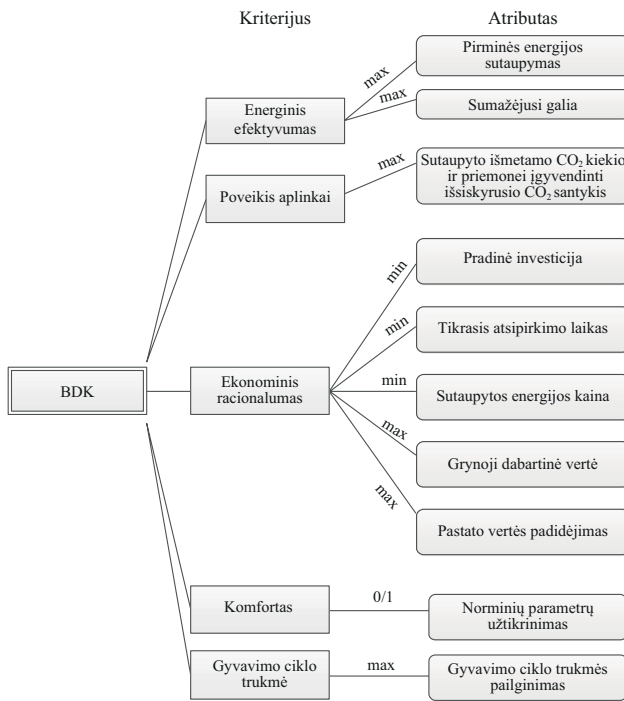
Pateiktoje schemoje matome, kad kriterijus „Gyvavimo ciklo trukmė“ yra darniausias, nes įvertina ir aplinkosaugos, ir ekonominio, ir socialinio vystymosi komponentus. Pastato gyvavimo ciklo trukmė įvertinama pastato gyvavimo ciklo analizės (toliau – GCA) metodu, kai nagrinėjamos trys pastato gyvavimo fazės: sukūrimo, naudojimo ir sunaikinimo / perdirbimo. ETP vertinimas GCA metodu jau buvo nagrinėjamas Rogožos (2013).

Pastato efektyvaus naudojimo ciklo pailginimas sudaro sąlygas naudotis kokybišku pastatu, kuriame užtikrinamos vartotojui reikalingos gyvenimo arba darbo sąlygos, tai skatina socialinį vystymąsi. Kokybiško pastato eksploatacija sumažina pastato naudojimo sąnaudas, taip gaunama ekonominė nauda. Efektyvesnis gamtinių išteklių vartojimas mažina aplinkos taršą, t. y. stiprina aplinkos apsaugą. Tačiau vertinant ETP visapusiškai, matyti, kad vien tik pastato gyvavimo trukmės kriterijaus nepakanka. Atliekant visapusišką reitingavimą turėtų būti atskirai vertinamas energinis efektyvumas, poveikis aplinkai, ekonominis racionalumas ir komfortas.

Bendrojo darnumo kriterijaus medis

Remiantis penkiais darnumo kriterijais, buvo sudarytas bendrojo darnumo kriterijaus (BDK) medis, kuriame kriterijai aprašomi atributais ir tikslo funkcijomis. BDK paskirtis – atskirų priemonių ir suformuotų paketų vertinimo išraiška pastato energinių savybių darnaus valdymo modelyje. Bendrojo darnumo kriterijaus medis pateiktas 2 pav.

Kiekvieną iš kriterijų aprašo skirtingi atributai, kurie išreiškiami skirtingais matavimo vienetais, todėl, kaip ir at-



2 pav. Bendro darnumo kriterijaus medis su kriterijais, atributais ir atributų optimizavimo funkcijomis

Fig. 2. Diagram of criteria for general sustainability, including criteria, attributes and functions of attribute optimization

liekant bet kokią kitą daugiakriterių vertinimą, normalizuojamos kriterijų ir atributų vertės. Populiariausias ir plačiausiai taikomas daugiakriterio vertinimo atributų normalizavimo metodas yra SAW (angl. *Simple Additive Weighting*) metodas (Abdelhamid 2012; Chen 2012).

Šis metodas grindžiamas analizuojamų alternatyvų verčių palyginimu su geriausiu rezultatu ir nuotolio nuo geriausios vertės įvertinimu. Kai tikslo funkcija – maksimizavimas, tai normalizuota vertė apskaičiuojama pagal formulę:

$$z_i = \frac{x_i}{\max_i x_i}, \quad (1)$$

čia x_i – atributo i reikšmė.

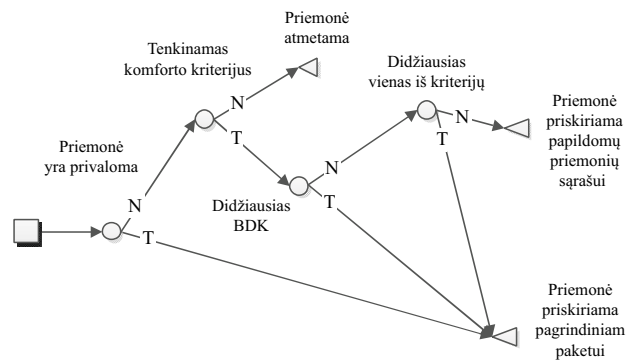
Kai tikslo funkcija – minimizavimas, normalizuota vertė apskaičiuojama pagal formulę:

$$z_i = \frac{\max_i x_i x_i}{x_i}. \quad (2)$$

Bendrasis darnumo kriterijus apskaičiuojamas pagal tiesinę funkciją:

$$BDK_i(z_i, w_i) = \sum(z_i \times w_i), \quad (3)$$

čia w_i – atributo x_i svorio koeficientas.



3 pav. Paskirstymo sprendimų medis, taikomas paketams formuoti

Fig. 3. Distribution decision tree applied for packet formation

Normalizuotos atributų vertės sumuojamos ir nustatoma kiekvieno kriterijaus, sudarančio BDK, vertė. BDK vertė paskirstymo sprendimų medžio metodu naudojama priemonėms skirstyti į pagrindinių ir papildomų priemonių paketus. Paskirstymo sprendimų medžio schema pateikta 3 pav.

Kriterijų svorio koeficientai gali būti vienodi arba kiekvienam kriterijui gali būti suteiktas skirtingas svorio koeficientas.

Svorio koeficientų reitingavimas ir svarbiausių kriterijų nustatymas priklauso nuo politinių, socialinių, psichologinių veiksnių, turinčių įtaką sprendimų priėmimui. Tai yra uždavinys sprendimų priėmėjui. Atlikta jautrumo analizė (Mikučionienė, Martinaitis 2014) parodė, kad atskirų kriterijų reitingavimas didelių pokyčių sprendimų priėmėjui nepateikia, todėl buvo atlikta analizė kriterijų įtakai BDK vertei ir sprendimų priėmimui nustatyti.

Kriterijų įtakos vertinimas. Atvejo analizė

Atlikta kriterijų įtakos bendrajam darnumo kriterijui ir siūlomų ETP formavimui analizė nagrinėjant konkretų objektą.

Analizuojamas objektas yra 12 aukštų administracinis pastatas, pastatytas Vilniaus mieste 2004 m., turintis pastato automatizuoto valdymo sistemą. Pastato šildomas plotas – 7194,36 m². Pastate yra nuomojami biurai, o vidutinis pastato užimtumas – 95 %. Vidutinė patalpų temperatūra šildymo sezono metu – 18 °C. Pastatui šiluma tiekama iš miesto šilumos tinklų. Nors pastate įrengta pastato automatizuoto valdymo sistema, tačiau nėra galimybių kaupti duomenis. Pastato šiluminės charakteristikos pateiktos 1 lentelėje. Karšto vandens pastate suvartojama labai mažai. Jis ruošiamas elektriniuose tūriniuose šildytuvuose, todėl sąnaudų analizėje atskirai neišskiriamas.

1 lentelė. Analizuojamo pastato šiluminės charakteristikos
Table 1. The characteristics of energy performance of the analyzed building

Išorė atitvara	H, W/K
Išorinės sienos	1489
Langai	3357
Lauko durys	273
Sukamosios durys	86
Stogas	821
Pirmojo aukšto grindys	242
Nuostoliai dėl infiltracijos, natūralaus ir mechaninio vėdinimo	3131
Savitieji nuostoliai	9398
Pritėkiai nuo žmonių	300
Pritėkiai nuo elektros prietaisų	1200
Pritėkiai nuo saulės	1688
Savitieji nuostoliai su pritėkiais	7166

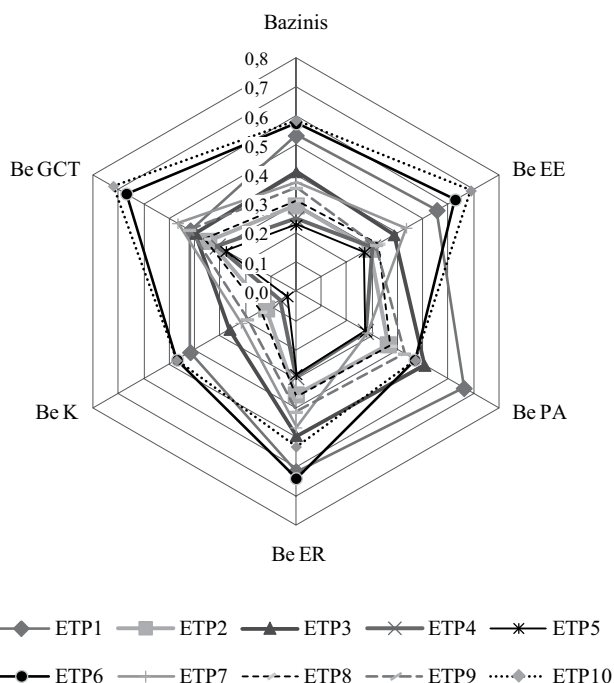
Baziniu atveju buvo įvertinta analizuojamo objekto kiekvienos siūlomos ETP BDK reikšmė (pagal 2 pav.). Kiti analizės scenarijai buvo formuojami remiantis ta pačia metodika, bet BDK sudarė tik keturi kriterijai. Taip suformuoti penki scenarijai:

- *Be EE* – BDK vertė, kurioje nevertinamas energinio efektyvumo kriterijus;
- *Be PA* – BDK vertė, kurioje nevertinamas poveikio aplinkai kriterijus;
- *Be ER* – BDK vertė, kurioje nevertinamas ekonominio racionalumo kriterijus;
- *Be K* – BDK vertė, kurioje nevertinamas komforto kriterijus;
- *Be GCT* – BDK vertė, kurioje nevertinamas gyvavimo ciklo kriterijus.

2 lentelė. Priemonių priskyrimo pagrindiniam paketui pagal paskirstymo sprendimų medį, esant skirtingai BDK sudėčiai, rezultatas
Table 2. The results of attributing energy efficiency measures according to the decision tree of distribution under different composition of the criterion for general distribution

Priemonės kodas	Priemonė	Bazinis	Be EE	Be PA	Be ER	Be K	Be GCT
ETP1	Sienų šiltinimas iki A+ klasės reikalavimų	Kr	Kr	BDK	Kr	Kr	
ETP2	Stogo šiltinimas iki A+ klasės reikalavimų						
ETP3	Trisluoksnių langų keitimas	Kr		Kr	Kr	Kr	Kr
ETP4	Tambūro įrengimas						
ETP5	Grindų ant grunto perdangos šiltinimas						
ETP6	Šilumos punkto modernizavimas	Kr	Kr		BDK	Kr	Kr
ETP7	Ventiliatorinių konvektorių reguliavimas / energiją taupanti elgsena	P	P	P	P	P	P
ETP8	Vėdinimo sistemų rekuperatorių keitimas						
ETP9	Apšvietimo lempučių pakeitimas	Kr		Kr	Kr	Kr	Kr
ETP10	Elektros prietaisų energijos vartojimą taupanti elgsena	P	P	P	P	P	P

Šių scenarijų rezultatai su BDK vertėmis pateikti 4 pav. 2 lentelėje pateiktas priemonių, patekusių į pagrindinį paketą paskirstymo sprendimų medžio (3 pav.) principu, sąrašas. Šioje lentelėje reikšmė „P“ suteikiama, kai priemonė yra privaloma (ETP7 ir ETP10 atveju), reikšmė BDK – kai BDK reikšmė yra didžiausia, o žymuo Kr reiškia, kad vienas iš priemonės kriterijų turi maksimalią reikšmę.



4 pav. Skirtingos sudėties bendro darnumo kriterijaus reikšmės atskiroms priemonėms

Fig. 4. The values of the general sustainability criterion of a different structure considering individual measures

Energinio efektyvumo nevertinimas ETP reitingą pakeitė nedaug (iki 15 %), nes sutaupyta energija netiesiogiai įvertinama poveikio aplinkai kriterijumi, vertinant sumažėjusią taršą, ir ekonominio racionalumo kriterijumi, skaičiuojant taupomas lėšas. ETP reitingo pirmasis trejetukas nepasikeitė, tačiau priemonės, padedančios sutaupyti daugiau, įgavo mažesnes BDK vertes.

Nevertinant poveikio aplinkai kriterijaus BDK vertės keitėsi iki 30 %, palyginti su baziniu variantu. Didžiausios vertės buvo tų priemonių, kurioms įdiegti reikia išteklių, kurių gavybos / gamybos metu išskiriamas didelis teršalų kiekis (pvz., sienų šiltinimas, langų keitimas ir kt.).

Nevertinant ekonominio racionalumo kriterijaus BDK vertės keitėsi iki 20 %, palyginti su baziniu variantu. Sumažėjo ekonomiškai patrauklių priemonių BDK vertės (elektros prietaisų energijos vartojimą taupanti elgsena), o didžiausia BDK (0,640) vertė suteikta mažesnę ekonominę naudą priemonei.

Komforto nevertinimas sumažino visų priemonių BDK reikšmę vienoda dalimi (vieno kriterijaus svoriu – 0,2), todėl priemonių reitingas nepakito ir informacija sprendimų priėmėjui liko tokia pati.

Nevertinant gyvavimo ciklo trukmės BDK vertės keitėsi iki 28 %, palyginti su baziniu variantu. Šiame scenarijuje pastato efektyvaus naudojimo trukmę ilginančių priemonių BDK vertės (sienų šiltinimas ir langų keitimas) sumažėjo skirtingai (28 % ir 3 % atitinkamai), bet priemonių reitingą labai pakeitė: geriausių priemonių trejetuką sudarė pastato trukmei įtakos mažiausiai darančios priemonės (elektros prietaisų energijos vartojimą taupanti elgsena, šilumos punkto modernizavimas, ventiliatorinių konvektorių reguliavimas).

Remiantis atlikta skirtingos BDK sudėties atvejo analize, galima daryti išvadą, kad vienintelis kriterijus, kuris neturėjo įtakos priemonių reitingavimui, buvo komforto kriterijus, nes visos siūlytos priemonės užtikrino komforto reikalavimus. Vis dėlto šis kriterijus būtinas vertinant DV, nes ne visais atvejais diegiamos priemonės gali atitikti komforto sąlygas. Visų kitų kriterijų nevertinimas reitingavo priemonės, kurios baziniame variante turėjo mažesnes tų kriterijų reikšmes.

Taip pat atlikta analizė parodė, kad, esant skirtingiems scenarijams, pagrindinio paketo priemonių skaičius liko toks pat arba sumažėjo, todėl formuojamų paketų nesumažėjo ir sprendimų priėmimo nepalengvino.

Didžiausios BDK skaitinės vertės, esant skirtingiems scenarijams, kito nedaug – didžiausia bazinio varianto BDK reikšmė buvo 0,585, o labiausiai nutolusios didžiausios kitų scenarijų reikšmės buvo: BDK = 0,721 (be GCT) ir BDK = 0,471 (be K). Taigi reikšmių skirtumai neviršijo 25 %.

Atlikta analizė parodė, kad visi bazinio varianto kriterijai yra vienodai svarbūs norint priemonės įvertinti visapusiškai ir objektyviai.

Išvados

1. Darnumo kriterijai pasirenkami įvairiai, atsižvelgiant į analizės požiūrį (politinį, ekonominį, aplinkosauginį). Pasirinktų kriterijų išraiška ir jų svarba lemia sprendimų priėmimą ir energijos taupymo priemonių pasirinkimą.
2. Gyvavimo ciklo analizė – metodas, tiesiogiai ir netiesiogiai apimantis visus darnaus vystymosi koncepcijos principus, tačiau priemonių vertinimas vien šiuo metodu neatspindi DV koncepcijos, taip kaip vertinimas daugiakriteriu metodu, kuriame, be ekonominio, energinio ir ekologinio aspektų, atskirai vertinamas ir komfortas, ir ekonominė nauda.
3. Atlikta atvejo analizė parodė, kad, esant mažesniais kriterijų skaičiui, geriausių priemonių bendrojo darnumo kriterijaus reikšmės nuo bazinio varianto svyravo iki 25 %. Didesnę įtaką BDK pakeista sudėtis turėjo priemonėms, kurios nepatenka į pagrindinį paketą, nes jos labiau priklauso nuo vieno iš kriterijų.
4. Atlikta kriterijų įtakos analizė parodė, kad, esant skirtingos sudėties bendrajam darnumo kriterijui, pagrindinio paketo priemonių liko tiek pat arba sumažėjo, todėl formuojamų paketų liko tiek pat arba padaugėjo, ir sprendimų priėmimo tai nepalengvino. Todėl baziniu variantu pasirinktas iš penkių kriterijų sudarytas bendrasis darnumo kriterijus yra patogus sprendimų priėmėjui.
5. Atlikta atvejo analizė parodė, kad kaip bazinis variantas pasirinkti penki kriterijai (energinis efektyvumas, poveikis aplinkai, ekonominis racionalumas, komfortas ir gyvavimo ciklo trukmė) yra vienodai svarbūs norint priemonės įvertinti visapusiškai, objektyviai, remiantis darnaus vystymosi koncepcijos principu.

Literatūra

- Abdelhamid, R. 2012. A decision support system for performance evaluation, *IJCA Special Issue on Computational Intelligence & Information Security CIIS 2012*: 1–8.
- Blom, I.; Itard, L.; Meijer, A. 2010. LCA-based environmental assessment of the use and maintenance of heating and ventilation systems in Dutch dwellings, *Building and Environment* 45: 2362–2372.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.04.012>
- Brown, N. W. O.; Malmqvist, T.; Bai, W.; Molinari, M. 2013. Sustainability assessment of renovation packages for increased energy efficiency for multi-family buildings in Sweden, *Building and Environment* 61: 140–148.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.11.019>

- Chantrelle, F. P.; Lahmidi, H.; Keilholz, W.; El Mankibi, M.; Michel, P. 2011. Development of a multicriteria tool for optimizing the renovation of buildings, *Applied Energy* 88: 1386–1394. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.10.002>
- Chen, T.-Y. 2012. Comparative analysis of SAW and TOPSIS based on interval-valued fuzzy sets: discussions on score functions and weight constraints, *Expert Systems with Applications* 39: 1848–1861. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2011.08.065>
- Chidiac, S. E.; Catania, E. J. C.; Morofsky, E.; Foo, S. 2011. A screening methodology for implementing cost effective energy retrofit measures in Canadian office buildings, *Energy and Buildings* 43: 614–620. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.11.002>
- Doukas, H.; Nychtis, C.; Psarras, J. 2009. Assessing energy-saving measures in buildings through an intelligent decision support model, *Building and Environment* 44: 290–298. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.03.006>
- Frontczak, M.; Andersen, R. V.; Wargocki, P. 2012. Questionnaire survey on factors influencing comfort with indoor environmental quality in Danish housing, *Building and Environment* 50: 56–64. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.10.012>
- GhaffarianHoseini, A.; Dahlan, N. D.; Berardi, U.; Ghaffarian-Hoseini, A.; Makaremi, N.; Ghaffarian-Hoseini, M. 2013. Sustainable energy performances of green buildings: a review of current theories, implementations and challenges, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 25: 1–17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.010>
- Juan, Y.-K.; Gao, P.; Wang, J. 2010. A hybrid decision support system for sustainable office building renovation and energy performance improvement, *Energy and Buildings* 42: 290–297. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.09.006>
- LR Vyriausybė. 2003. *Nacionalinė darnaus vystymosi strategija*. 75 p.
- Mikučionienė, R.; Martinaitis, V.; Keras, E. 2014. Evaluation of energy efficiency measures sustainability by decision tree method, *Energy and Buildings* 76: 64–71. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.048>
- Mikučionienė, R.; Martinaitis, V. 2014. The model of sustainable management of building energy performance characteristics, in *The 9th International Conference "Environmental Engineering"*, 22–23 May 2014, Vilnius, Lithuania.
- Mwasha, A.; Williams, R. G.; Iwaro, J. 2011. Modeling the performance of residential building envelope: the role of sustainable energy performance indicators, *Energy and Buildings* 43: 2108–2117. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.04.013>
- Nikolaidis, Y.; Pilavachi, P. A.; Chletsis, A. 2009. Economic evaluation of energy saving measures in a common type of Greek building, *Applied Energy* 86: 2550–2559. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.04.029>
- Petersen, S.; Svendsen, S. 2012. Method for component-based economical optimisation for use in design of new low-energy buildings, *Renewable Energy* 38: 173–180. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2011.07.019>
- Risholt, C. B.; Time, B.; Hestnes, A. G. 2013. Sustainability assessment of nearly zero energy renovation of dwellings – based on energy, economy and home quality indicators, *Energy and Buildings* 60: 217–224. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.12.017>
- Rogoža, A. 2013. Alternatyviųjų daugiabučio namo aprūpinimo energija sistemų gyvavimo ciklo daugiakriterė analizė, *Mokslas – Lietuvos ateitis* 5: 423–428. <http://dx.doi.org/10.3846/mla.2013.66>
- Užšilaitytė, L.; Martinaitis, V. 2010. Pastato renovacijos periodiškumo įtaka jo gyvavimo ciklo energijos sąnaudoms, *Energetika* 56(2): 146–153.
- Xu, P.; Chan, E. H. W. 2013. ANP model for sustainable Building Energy Efficiency Retrofit (BEER) using Energy Performance Contracting (EPC) for hotel buildings in China, *Habitat International* 37: 104–112. <http://dx.doi.org/10.1016/j.habitatint.2011.12.004>

THE ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF SUSTAINABILITY CRITERIA ON THE EVALUATION OF BUILDING RENOVATION

R. Mikučionienė, A. Rogoža, V. Martinaitis

Abstract

The criterion for general sustainability is formed on the basis of a concept of sustainable development regarding the evaluation of energy efficiency measures for building refurbishment. The criterion for general sustainability consists of five criteria: energy efficiency, environmental impact, economical rationality, comfort and life cycle duration. Multi-criteria analysis has been performed normalizing the values of the criteria applying the SAW (Simple Additive Weighting) method. The analysis of the influence of separate criteria forming the criterion for general sustainability has been performed presenting five scenarios in each of which four criteria have formed general sustainability criteria. The results of the conducted analysis have showed that all five criteria set in the basic scenario are equally important when targeted at evaluating energy efficiency measures in a versatile and objective manner.

Keywords: building, refurbishment, criteria of sustainability, life cycle assessment, multi-criteria analysis, decision making.