

UŽSTATYTOS APLINKOS GYVAVIMO CIKLO MODELIŲ IR SISTEMŲ ANALIZĖ

Ieva UBARTĖ¹, Justas ČERKAUSKAS², Aidas TURŪTA³, Andrej NAUMCIK⁴

¹*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva*

El. paštas: ¹Ieva.Ubarte@vgtu.lt; ²Justas.Cerkauskas@vgtu.lt; ³Aturuta@gmail.com; ⁴Andrej.naumcik@gmail.com

Saistra. Pagrindinis užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo objektas – pastatas. Jį sudaro apie 60 skirtingų medžiagų ir daugiau nei 200 atskirų produktų, turinčių skirtingus gyvavimo ciklus ir naudojimo procesus. Pirmame skyriuje pateikiama užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo samprata. Antrame skyriuje – užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo modelių analizė, sudarytas darnios užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo koncepcinis modelis. Trečiame skyriuje apžvelgiamos sukurtos užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo sistemos, analizuojančios priimamų sprendimų investicijų pobūdį ekonominiu ir aplinkosauginiu aspektu. Straipsnio pabaigoje pateikiamos išvados.

Reikšminiai žodžiai: užstatyta aplinka, gyvavimo ciklas, aplinkos kokybė, gyvavimo ciklo sistemos, darni plėtra, užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo modeliai.

Ivadas

Žmogus pastatuose praleidžia 85–90 % savo gyvenimo (Lee *et al.* 1996). Vienuose pastatuose vykdoma gamyba, kituose teikiamos įvairios paslaugos, galiausiai kiekvienas iš mūsų tiesiogiai susijęs su gyvenamosios paskirties pastatais (Kaklauskas *et al.* 2012). Kita vertus, poveikį sveikatai turi ne tik vidinė pastato aplinka, tačiau svarbu atkreipti dėmesį ir į išorinę visą gyvenamosios aplinkos kokybę. Dėl vis didėjančios statybos, gamybos apimtys, netinkamai naudojamų energijos išteklių blogėja oro kokybė, daugėja ligų, spartėja klimato kaita ir pan.

Pagrindinis užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo objektas – pastatas, kurį sudaro apie 60 skirtingų medžiagų ir daugiau nei 200 atskirų produktų, kurių kiekvienas turi skirtingą gyvavimo ciklą ir naudojimo procesus (Kohler, Moffatt 2003). Užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo analizė apima visus užstatytos aplinkos etapus nuo medžiagų gavybos, gamybos, iki pastato ir užstatytos aplinkos priežiūros, medžiagų utilizavimo ir perdirbimo. Svarbiausias šios analizės aspektas – aplinkosauginis užstatytos aplinkos vertinimas, atsižvelgiant į analizuojamo objekto medžiagų gyvavimo trukmę, šalinimo būdus bei investicijų poreikį, kuriant sveikesnę ir saugesnę aplinką gyventojui bei mažinant klimato kaitos pokyčius (Kotaji *et al.* 2003). Atsižvelgiant į ateities poreikius, labai svarbu priimti teisingus užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo plėtros ir atnaujinimo sprendimus. Šiam tikslui gali būti taikomi užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo modeliai ir sukurtos sistemos,

analizuojančios priimamų sprendimų investicijų pobūdį pagal ekonominį ir aplinkosauginį aspektą.

Užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo samprata

Užstatytos aplinkos samprata. Lietuvoje nėra aiškaus termino *Built Environment* vertimo. Dažnai šis terminas verčiamas kaip „apstatyta“ ar „užstatyta“ aplinka, tačiau semantiniu požiūriu šios sąvokos yra netaisyklingos ir netaikytinos. Kiti autoriai vadina šią aplinką urbanizuota aplinka. Urbanizuotos aplinkos sąvoka taip pat nėra griežtai apibrėžta ir nuolat kinta. Urbanizuota aplinka įsivaizduojama kaip integruota fizinė, socialinė, kultūrinė erdvė, jungianti santykinai kompaktiškai gyvenančių žmonių grupę (Tupėnaitė 2010).

Užsienio literatūroje pateikiami tokie užstatytos (angl. *Built Environment*) aplinkos apibrėžimai:

- Visi statiniai, esantys atskiri nuo natūralios aplinkos, kuriuos pastatė žmogus (The British English definition 2015).
- Dirbtina arba žmogaus sukurta aplinka, turinti tam tikrą paskirtį, pvz., skirta įvairiai žmogaus veiklai atlikti – nuo didelio masto pilietinės veiklos iki asmeninės veiklos (Biology-Online.org 2015).
- Žmogaus sukurta ar modifikuota užstatyta aplinka, apimanti vietas ir erdves, įskaitant pastatus, parkus ir transporto sistemas. Pastaraisiais metais

pagal visuomenės sveikatos tyrimus į užstatytos aplinkos apibrėžimą įtraukiamas ir ekologiškumas, sveikas gyvenimo būdas, bendruomeniškumas (Ieltsinternational.com).

- Žmogaus užstatytos fizinės aplinkos charakteristikos (Provincial Health Services Authority 2014).

Išsamų užstatytos aplinkos apibrėžimą pateikia Bartuska *et al.* (2007). Autoriai siūlo gyvenamąją aplinką apibrėžti remiantis keturiomis tarpusavyje susijusiomis charakteristikomis:

- Ji yra visa apimanti; ji suteikia erdvę visai žmonijos veiklai. Tiksliau tariant, tai yra viskas, ką žmogus sukūrė, pakeitė ar pastatė, įrengė arba prižiūri.
- Tai aplinka, sukurta vadovaujantis žmogaus protu ir atsižvelgiant į jo tikslus, skirta tenkinti žmonių poreikiams, norams ir vertybėms.
- Didžioji dalis šios aplinkos skirta padėti žmonėms, jiems ginti nuo aplinkos grėsmių, taip pat sukurti žmonėms komfortą ir gerovę.

Išanalizavus užsienio šalių literatūrą, galima suformuluoti tokį užstatytos aplinkos apibrėžimą – tai žmonijos sukurta aplinka (statiniai, pastatai, infrastruktūra, kultūros paveldo objektai, žaliosios zonos), skirta jų poreikiams tenkinti ir sveikoms gyvenimo sąlygoms užtikrinti.

Gyvavimo ciklo samprata. Užstatyta aplinka – pagrindinė energijos suvartojimo aplinka, už kurią yra atsakingas žmogus. Užstatyta aplinka reikalauja didelių ekonominių resursų ir didelio kultūrinio kapitalo. Darni užstatytos aplinkos plėtra yra susijusi su bandymu padidinti šiuos resursus, atsižvelgiant į ekonominius, socialinius, ekologinius ir kultūrinius aspektus (Kohler, Moffatt 2003). Tačiau atsižvelgiant į išteklių srautus ir atsirandančius poveikius, pagrindinis darnios plėtros tikslas – užstatytos aplinkos transformavimas ilginant jos gyvavimo ciklą, atsižvelgiant į aplinkosauginius aspektus.

Gyvavimo ciklo vertinimas užsienio literatūroje apibrėžiamas kaip:

- priemonė sistemškai analizuoti produktų aplinkosauginį veiksmingumą per visą jų gyvavimo ciklą, įskaitant gavybą, gamybą, naudojimą ir utilizavimą, šalinimą ir perdirbimą. Gyvavimo ciklas dažnai siejamas su požiūriu į poveikio aplinkai vertinimą, kuris vadinasi „nuo idėjos iki utilizavimo“ (Cabeza *et al.* 2014);
- metodas, taikomas atlikti kiekybinę produkto ar paslaugos per visą jo gyvavimo ciklą analizę. Tai priemonė, kuri leidžia analizuoti aplinkosauginius aspektus ir pateikti galimo poveikio aplinkai vertinimą. Pagal ISO 14040 apibrėžimą, vertinimas

paprastai apima gamybos, naudojimo ir disponuojamo produkto įvertinimą (Finnegan *et al.* 2013);

- matavimo priemonė, įvertinanti produkto aplinkosauginį poveikį per jo gyvavimo ciklą, nuo gavybos iki perdirbimo. Analizės tyrimo rezultatai – ekologinis profilis, skirtas aplinkosaugos problemoms įvertinti, tokioms kaip klimato kaita, toksiškumas, iškastinio kuro eikvojimas, vandens išteklių eikvojimas. Pastato gyvavimo ciklo analizė padeda nustatyti, kaip buvo paveikta klimato kaita statant ir eksploatuojant pastatą nuo mineralinių medžiagų iškasimo, reikalingo pastatui pastatyti, iki atliekų utilizavimo (Schenck 2005).

Užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo svarba. Pagrindinis užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo objektas – pastatas. Pastatas skiriasi nuo bet kurio kito produkto savo ilgaamžiškumu, išteklių, reikalingų jiems kurti bei naudoti, gausa. Kiekvienam atskiram pastatui gali būti panaudota 60 skirtingų medžiagų ir daugiau nei 2000 atskirų produktų, kurių kiekvienas turi skirtingą gyvavimo ciklą ir naudojimo procesus. Didėjant statybos apimčiai, pastatai kuria sistemingas ir kompleksines struktūras. Todėl scenarijai turi būti sukurti prognozuoti šių būsimų investicijų pobūdį, įskaitant numatomą medžiagų gyvavimo trukmę, šalinimo būdus ir aplinkosauginius aspektus (Kohler, Moffatt 2003; de Meester *et al.* 2009).

Labai svarbu tinkamos ir sveikos gyvenimo sąlygos, nes žmogus pastatuose praleidžia 85–90 % savo gyvenimo (Lee *et al.* 1996). Pastatas lemia žmogaus gyvenimo, darbo, poilsio kokybę ir sveikatą. Netinkamos gyvenimo sąlygos kelia grėsmę tiek fizinei, tiek psichinei žmonių sveikatai. O sąveika tarp būsto ir gyvenamosios aplinkos veiksnių bei sveikatos yra sudėtinga ir kompleksinė (Nesveikas būstas 2014; Kaluarachchi *et al.* 2005). Kita vertus, poveikį sveikatai turi ne tik vidinė pastato aplinka, bet ir išorinė gyvenamosios aplinkos kokybė. Vis didėjanti statybos, gamybos apimtis, netinkamas energijos išteklių naudojimas lemia blogėjančią oro kokybę, didesnę ligų skaičių, spartėjančią klimato kaitą ir pan. Pastatai yra vienas iš pagrindinių taršos šaltinių. Dėl jų taršos į aplinką išskiriama beveik pusė viso sieros dioksido, 25 % azoto oksido, 10 % kietųjų dalelių ir apie 35 % anglies dvideginio emisijų, kurios yra glaudžiai susijusios su klimato kaita (Kaklauskas *et al.* 2012). Dėl šios priežasties labai svarbūs yra energetiškai efektyvūs sprendimai statybos sektoriuje. Taigi, užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo vertinimas turi apimti statinių ir jų aplinkos aplinkosauginį poveikį per visą gyvavimo ciklą, todėl reikia sudaryti racionalaus investavimo scenarijų atsižvelgiant į sveiko ir saugaus gyvenimo sąlygas.

Užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo modelių analizė

Plėtojant Europos Sąjungos darnios urbanistinės aplinkos strategiją, darnios plėtros principai (aplinkosauga, socialinė bei ekonominė plėtra) taikomi visam statybos ciklui – nuo statinio idėjos, projektavimo, statymo, eksploatacijos iki jo sugriovimo ir atliekų tvarkymo; minėti principai apima tris tarpusavyje sąveikaujančias dimensijas (Tamkevičiūtė 2012). Dažnai darni plėtra yra klasifikuojama taikant Brutlando apibrėžimą, kai plėtra atitinka „dabarties poreikius nepakenkiant ateinančių kartų poreikiams“. Brundtland (1987) apibūdina darnios plėtros koncepciją kaip strategiją pasiekti darnumą optimizuojant ryšį tarp globalios visuomenės ir jos natūralios aplinkos atsižvelgiant į visuomenės socialinius, ekonominius ir aplinkosauginius tikslus. Brutland ataskaitoje pateikiami du pagrindiniai aspektai: „poreikių samprata“, kuri ypač svarbi pasaulio neturtingiesiems, ir „ribotas augimas“, siekiant užtikrinti prieigą prie gamtos išteklių ateities kartoms (World Commission on... 1987). Socialinius, ekonominius ir aplinkosauginius aspektus darnios plėtros kontekste taip pat išskyrė Goodland (1995) bei Elkington (1994). Elkington šią koncepciją pavadino „trigubo dugno linijos“ darnios plėtros koncepcija (1 pav.).

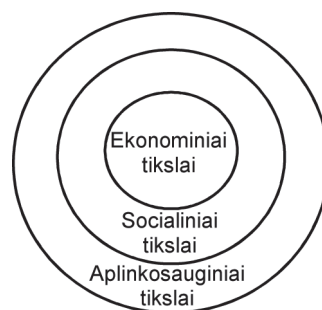
O’Riordan *et al.* (2001) bei Lützkendorf ir Lorenz (2005) sukūrė alternatyvų „Trijų ramsčių“ modelį, kuris yra pagrįstas „Trigubo dugno linijos“ principu. Šiame modelyje darnumas yra vertinamas kaip ekonominės veiklos asimiliacija, socialinė gerovė ir vientisumas aplinkos atžvilgiu. Visuotinai šis modelis vadinamas „Rusų lėlės“ modeliu (2 pav.). Pagal O’Riordan *et al.* (2001), ekonominis kapitalas yra svarbiausias pagrindas kuriant gerovę, kuris skatina plėtrą, tačiau slopina aplinkos ir socialinius veiksnius. Be to, šie trys aspektai reikalauja institucinio pobūdžio reglamentavimo bei priežiūros nekilnojamojo turto darnios plėtros atžvilgiu.

Išanalizavus pagrindinius darnios plėtros modelius, galima būtų išskirti užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo modelius, kurie turi apimti tiek pagrindinius užstatytos aplinkos elementus, tiek darnios plėtros principus.



1 pav. „Trigubo dugno linijos“ darnios plėtros koncepcija (Goodland 1995; Elkington 1994)

Fig. 1. Triple bottom line concept of sustainable development



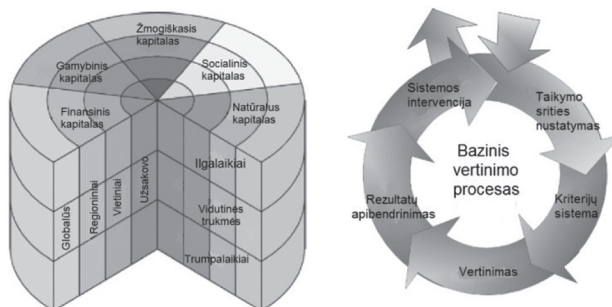
2 pav. „Rusų lėlės“ modelio darnios plėtros koncepcija (O’Riordan *et al.* 2001; Lützkendorf, Lorenz 2005)

Fig. 2. Russian doll model concept of sustainable development (O’Riordan *et al.* 2001; Lützkendorf, Lorenz 2005)

Pearce *et al.* (2012) sukūrė HalSTAR sistemą (angl. *The Halcrow Sustainability Toolkit And Rating system*), kuri paremta holistine metodologija (3 pav.). HalSTAR pagrįstas darnios plėtros vertinimo ir valdymo modeliu, integruotu kartu su bendrinėmis sprendimų paramos sistemomis. Mokslininkai remiasi „Rusų lėlės“ modelio principu, tačiau modelis yra skaidomas į 5 tipų kapitalus: natūralų, finansinį, žmogiškąjį, gamybos ir socialinį. Atliekant gyvavimo ciklo analizę, kiekvienas sprendinys dar klasifikuojamas į poveikio lygį (vietinis, regioninis, globalus) ir intensyvumą (trumpalaikis, ilgalaikis) (Pearce *et al.* 2012).

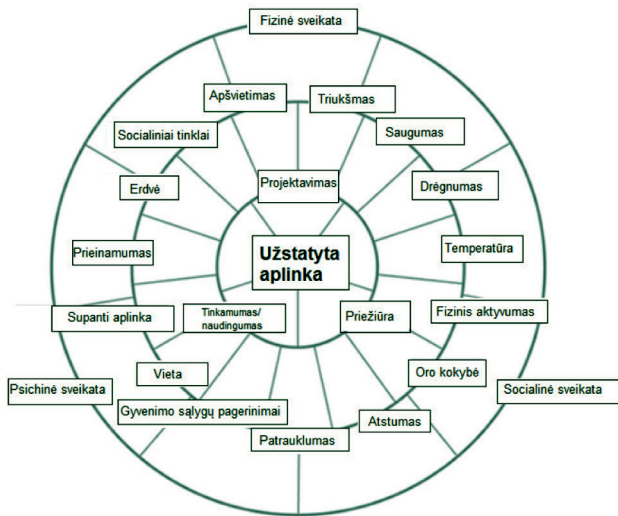
Kitas nagrinėjamas modelis – IPH (4 pav.) (IPH Corporate Plan 2010–2013). Šis modelis sudarytas taip pat remiantis „Rusų lėlės“ modelio principu, tačiau jis yra orientuotas į užstatytą aplinką darnios plėtros ir sveikos visuomenės kūrimo aspektu. Užstatytos aplinkos pagrindą sudaro gyvavimo ciklo etapai (projektavimas, priežiūra ir prieinamumas), kurie toliau detalizuojami sveikos ir saugios aplinkos kūrimo aspektu.

Energetiškai efektyvios užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo modelis taip pat atitinka „Rusų lėlės“ modelio principus (Kaklauskas *et al.* 2013) (5 pav.). Modelyje pateikiamas daugiakriteris energetiškai efektyvios užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo vertinimas. Analizuojami pagrini-



3 pav. HalSTAR sistema (Pearce *et al.* 2012)

Fig. 3. HalSTAR system (Pearce *et al.* 2012)

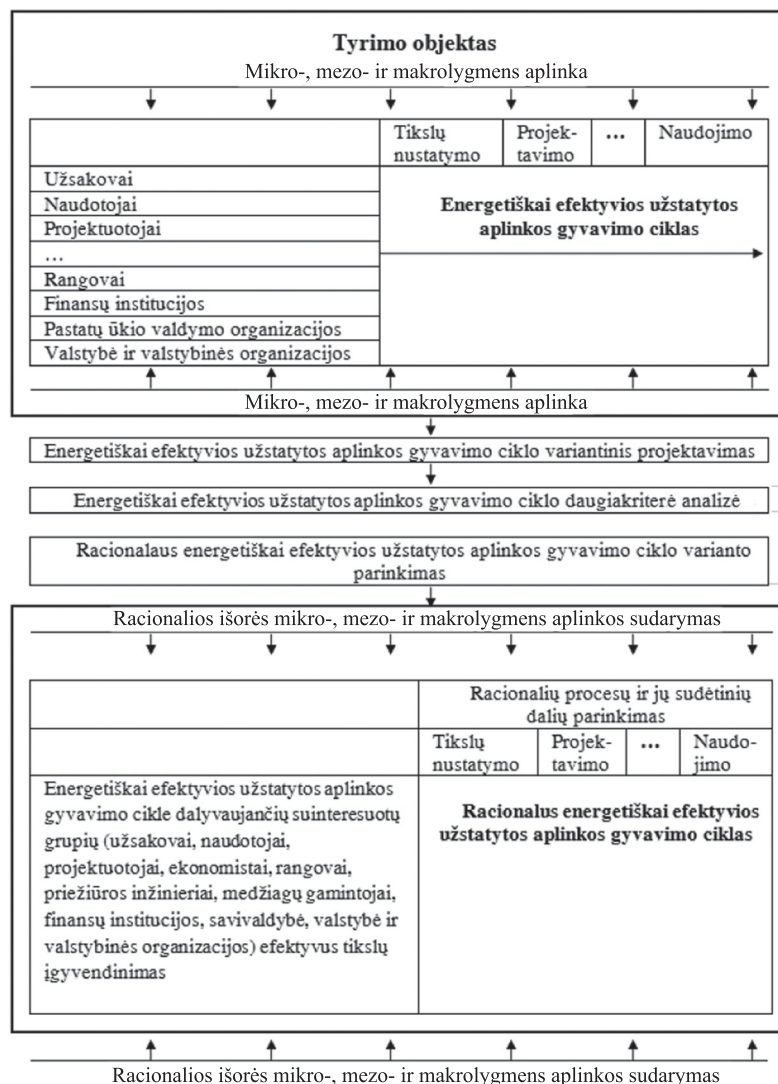


4 pav. IPH modelis (IPH Corporate Plan 2010–2013)
Fig. 4. IPH model (IPH Corporate Plan 2010–2013)

diniai gyvavimo ciklo etapai pagal makro-, mezo- ir mikroaplinkos parametrus, atsižvelgiant į suinteresuotų grupių poreikius. Atliekant variantinį projektavimą, priimami sprendimai orientuoti į energetiškai efektyvų užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo vertinimą.

Darnios užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo modelis turi būti kompleksinis, apimantis pagrindinius užstatytos aplinkos elementus, darnios plėtros principus, atsižvelgiant į sveikos ir saugios aplinkos vartotojui bei suinteresuotoms šalims kūrimą.

Atlikus modelių apžvalgą, nuspręsta, kad tikslin-
giausia integruoti visus parametrus kuriant užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo modelį. Nors nagrinėti modeliai turi panašių bruožų, tačiau IPH modelis orientuotas į saugios ir sveikos aplinkos kūrimą, HalSTAR vertina priimamo sprendimo poveikio lygį ir intensyvumą, o energetiškai



5 pav. Energetiškai efektyvios užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo modelis (Kaklauskas *et al.* 2013)
Fig. 5. Lifecycle model of energy efficient built environment (Kaklauskas *et al.* 2013)

efektyvios užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo modelis orientuotas į variantinių projektavimą ir racionalaus sprendimo priėmimą. Modeliui integruoti straipsnio autoriai pasirinko Kaklauskas *et al.* sukurtą modelį ir papildė jį poveikio lygio, intensyvumo rodikliais, darnios plėtros, saugios ir sveikos aplinkos kūrimo principais (6 pav.).

Tačiau vien tik modelio sukūrimas ir integracija nėra efektyvi priemonė. Modelio pagrindu turi būti parengta sprendimų paramos sistema. Užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo programų analizė pateikiama kitame skyriuje.

Užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo programų analizė

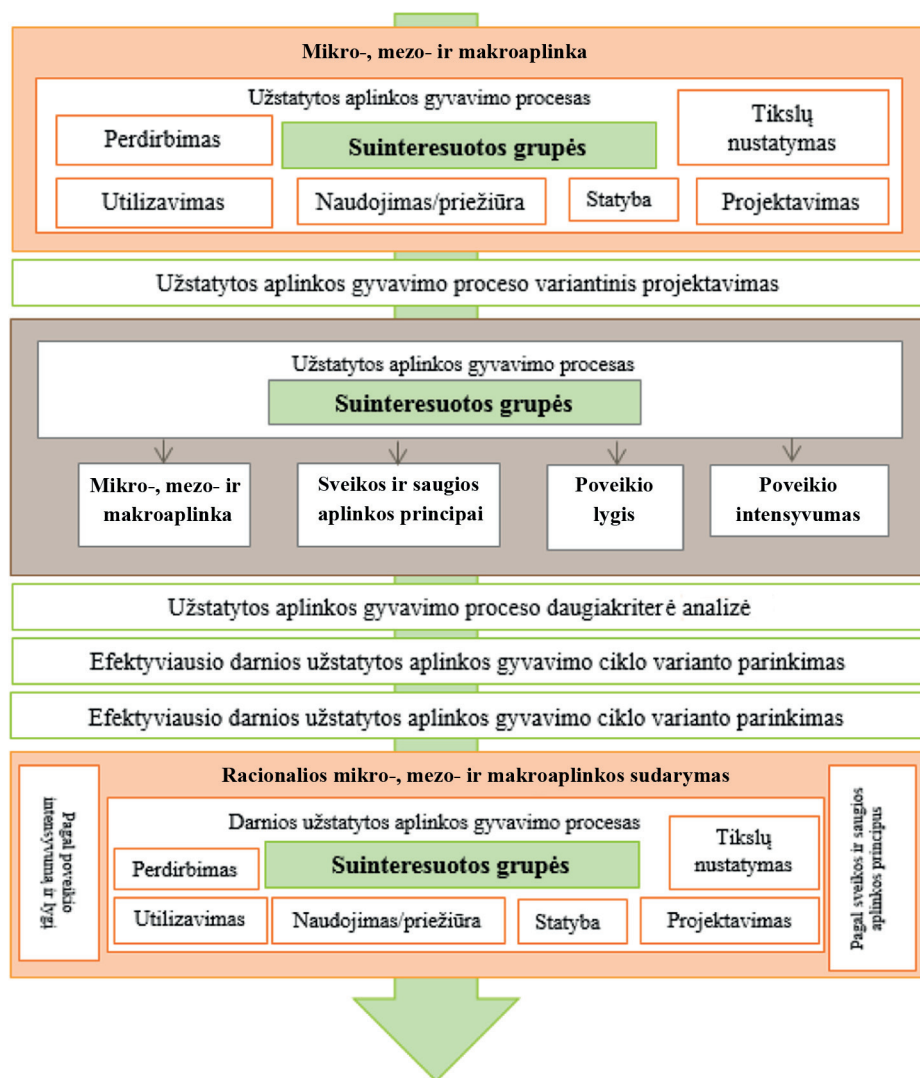
Užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo vertinimas yra tarpautinis daugiakriteris procesas, skirtas aplinkos gyvavimo trukmės įtakai produktams ir paslaugoms apskaičiuoti ir nustatyti.

Remiantis darnaus vystymosi koncepcija sudarytas bendrasis darnumo kriterijus pastatų atnaujinimo priemo-

nėms vertinti. Bendrąjį darnumo kriterijų sudaro penki kriterijai: energinis efektyvumas, poveikis aplinkai, ekonominis racionalumas, komfortas ir gyvavimo ciklo trukmė (Mikučionienė *et al.* 2014).

Pastatai, statiniai kartu su jų aplinka, taip pat inžinerinės komunikacijos yra svarbūs miestų elementai. Nuo jų tiesiogiai priklauso inžinerinio techninio miesto darnos komponento būseną. Be to, statiniai, infrastruktūra netiesiogiai veikia miesto socialinę, ekonominę, gamtinę sritį. Pavyzdžiui, šildant neekonomiškus pastatus labiau teršiama atmosfera; netinkamas patalpų mikroklimatas lemia didesnį gyventojų ar darbuotojų sergamumą; nelankstus patalpų suplanavimas reikalauja didesnių išlaidų keičiant jų paskirtį (Šaparauskas 2004).

Pasaulyje sukurta daug įvairių sistemų, kurios įvertina pastatų ir jų infrastruktūros sunaudojamų išteklių kiekį, poveikį aplinkai ir kt. per visą gyvavimo ciklą: projektuojant, statant bei eksploatuojant. Ypač svarbu, kad programa



6 pav. Integruotas darnios užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo koncepcinis modelis

Fig. 6. Integrated sustainable built environment lifecycle concept model

Lentelė. Sistemų analizė (Šaparauskas 2004)

Table. Systems analysis (Šaparauskas 2004)

Vertinami rodikliai	LCA-Tool	Eco-Quantum	EcoEffect	LISA	ATHENA	BEES	MCDM-23
	Resursų naudojimas						
Suvargota energija		+	+	+	+	+	
Pastato eksploataavimo energija	+	+	+		+		+
Žemė		+					+
Vanduo				+			+
Medžiagos	+	+	+	+	+	+	+
	Poveikis aplinkai						
Dujų emisija	+	+	+	+	+	+	+
Kietosios atliekos	+	+	+		+	+	
Skystosios atliekos		+		+	+		
Kiti taršos šaltiniai						4	
	Vidaus mikroklimatas						
Oro kokybė			+			+	+
Terminė kokybė							+
Vizualinė kokybė			+				+
Triukšmas ir akustika			+				+
Sistemų valdomumas							
	Ilgaamžiškumas						
Pritaikomumas							+
Eksploatacinių savybių palaikymas							+
	Procesai						
Pastato projektavimas ir statyba							+
Pastato eksploataavimas							+
	Kiti veiksniai						
Kiti veiksniai							
Įtaka artimiausiai aplinkai							

skaičiuotų poveikį aplinkai (Šaparauskas 2004). Toliau pateikiama trumpa pastatų poveikio aplinkai egzistuojančių sistemų analizė (1 lentelė):

1. LCA-Tool skirta pastatų konstrukcijų įtakai aplinkai skaičiuoti ir techninėms pastato sistemoms vertinti. Ekologinis dizainas apima gyvavimo ciklo skaičiavimus įvairiais lygmenimis. Konceptiniame etape gali būti įvertintas energijos naudojimas ir pastato įtaka aplinkai esant įvairioms pastato formoms, orientacijai pasaulio šalių atžvilgiu ir kt. Kitame etape lyginamos skirtingos techninės sistemos, taikant detalų modeliavimą ir gyvavimo ciklo analizę. Esant detaliam projektavimui, galima palyginti suprojektuotų sistemų, įrangos ir net medžiagų įtaką aplinkai, naudojantis gamintojų duomenimis. Programos privalumas yra tas, kad visi skaičiavimo etapai yra integruoti, t. y. vieno programos modulio rezultatai tampa kito modulio pirminiais duomenimis (Šaparauskas 2004).
2. MCDM-23 (JAV) sukurta JAV Nacionalinės alternatyviosios energetikos laboratorijos. Ši sistema

automatizuotai atlieka daugiakriterę analizę. Rezultatai pateikiami lentelėje ir su ja susijusia žvaigždine diagrama, kuri rodo, kaip du ar daugiau projektų eskizų išsidėstę pagal pagrindinius šešis kriterijus: gyvavimo ciklo kainą, išteklių naudojimą, poveikį aplinkai, funkcionalumą, architektūrinę kokybę ir vidaus (mikroklimato) kokybę. Ji yra atvirojo kodo ir galima prisitaikyti pagal savo poreikius (Šaparauskas 2004).

3. BEES (*Building for Environmental and Economic Sustainability*, JAV) kompiuterinė programa padeda vartotojui pasirinkti statybines medžiagas ir gaminius biuro bei gyvenamiesiems pastatams, kad šie atitiktų ekologinius ir ekonominius kriterijus. Gali būti palyginta daugybė alternatyvių pastato konstrukcijos medžiagų, atsižvelgiant į kiekvieną ekologinį ir ekonominį kriterijų atskirai ar jų kombinaciją. Ekonominės charakteristikos yra sukuriamos vadovaujantis gyvavimo ciklo kainos nustatymo metodu. Bendra ekologinė ir ekonominė charakteristika sukuriamas

remiantis daugiakriterine analize (Šaparauskas 2004; Programų aprašymai 2015).

4. Pastatų įtakos aplinkai vertinimo metodas *EcoEffect* (Švedija) skirtas projektuojamiems daugiabučiams gyvenamiesiems pastatams įvertinti. Vertinimo rezultatai pateikiami keturiais aplinkos aspektais: energijos ir medžiagų naudojimas, kuris lemia poveikį išorės aplinkai; vidaus ir išorės mikroklimatas, kuris lemia vidaus mikroklimato pokyčius. Poveikiai išorės aplinkai skaičiuojami naudojant LCA (gyvavimo ciklo analizę). Vidaus mikroklimato pokyčiai nustatomi kriterijų sistema (Šaparauskas 2004).
5. *Eco-Quantum* (Nyderlandai) sudaro dvi *Eco-Quantum* versijos. *Eco-Quantum Research* skirta biuro pastatams modeliuoti, *Eco-Quantum Domestic* – gyvenamiesiems pastatams. Modeliuojant nustatomi tokie sprendimai, kurie yra priimtinausi aplinkai. *Eco-Quantum* yra kompiuterinė programa, taikanti gyvavimo ciklo analizės metodą poveikiui aplinkai nustatyti per visą pastato gyvavimo periodą, kurį sudaro žaliavų iškasimas, statybinių medžiagų gamyba, pastatų statyba, naudojimas, griovimas ar pakartotinis naudojimas. Programa išbandyta architektų, statybos pramonės įmonių, municipalitetų ir kitų organizacijų (Šaparauskas 2004).
6. Programinė įranga ATHENA (Kanada) padeda architektams, inžinieriams ir mokslininkams atlikti projektuojamų, esamų, rekonstruojamų pastatų gyvavimo ciklo analizę poveikio aplinkai požiūriu. Galima vertinti pramoninius, municipalinius, biuro, vienbučius ir daugiabučius gyvenamuosius namus. Prireikus pastatus galima suskirstyti į nuosavus ir nuomojamus. Rezultatai pateikiami lentelių ir grafikų pavidalu. Programa galima palyginti ir projektinius sprendinius, ir paskiras medžiagas (Šaparauskas 2004; Pastatų gyvavimo... 2015).
7. Gyvavimo ciklo analizės metodą taikanti sprendimų priėmimo paramos programa LISA (Australija) buvo sukurta, kad architektams ir kitiems statybos pramonės specialistams būtų lengviau priimti ekologiškesnius projektinius sprendinius. Programa pateikia skaičiavimus grafikais ir lentelėmis, apibūdinančiais įtaką aplinkai. Tai energijos suvartojimas, dujų emisija, vandens tarša ir kt. Programa galima naudotis specialiai nepasirengus (Šaparauskas 2004).
8. ENVEST vertina pastato įtaką jo gyvavimo ciklo metu nuo pat ankstyvojo jo projektavimo etapo. Programa gali vertinti medžiagų sunaudojimą statant biuro pastatus ir energijos bei kitų išteklių sunaudojimą egzistavimo laikotarpiu. ENVEST taip pat leidžia

virtotojui gauti informacijos apie tai, kokie pastato elementai daro didžiausią įtaką aplinkai (Šaparauskas 2004; Programų aprašymai 2015).

Atlikta įvertinimo sistemų analizė rodo, jog pastatai gali būti įvertinti pagal daugelį rodiklių: išteklių naudojimą, poveikį aplinkai, vidaus mikroklimatą, eksploatacines savybes ir kt.

Išvados

1. Užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo vertinimas turi apimti statinių ir jų aplinkos aplinkosauginį poveikį per visą gyvavimo ciklą, sudarant racionalaus investavimo scenarijų atsižvelgiant į sveiko ir saugaus gyvenimo sąlygas.
2. Kuriant užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo modelį tiksliausia remtis „Rusų lėlės“ modelio darnios plėtros koncepcija.
3. Užstatytos aplinkos gyvavimo ciklo modelis turi būti integruotas, apimantis užstatytos aplinkos visus gyvavimo ciklo etapus, darnios plėtros principus, sveiko ir saugaus gyvenimo sąlygas, įvertinant priimtų sprendimų poveikio lygį, intensyvumą bei reikalingas investicijas.
4. Iširta, jog daugelis miesto analizės ir darnaus vystymosi planavimo automatizavimo priemonių nepadedą spręsti problemų kompleksiskai; jų duomenų bazės susijusios su konkrečia šalimi; jos reikalauja specialių žinių ir įgūdžių; yra sunkiai prieinamos daugeliui vartotojų.
5. Apskaičiuojant užstatytos aplinkos gyvavimo ciklą etapais, geriausiai naudoti MCDM-23 programinę įrangą.

Literatūra

- Bartuska, T. J.; Young, G. L.; McClure, W. R. (Eds.). 2007. *The built environment: a collaborative inquiry into design and planning*. 2nd ed. Wiley, John & Sons.
- Biology-Online.org. 2015 [interaktyvus], [žiūrėta 2015 m. vasario 11 d.]. Prieiga per internetą: http://www.biology-online.org/dictionary/Built_environment
- Brundtland, H. 1987. *Our common future, chairman's foreword*. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future, 5–9.
- Cabeza, L. F.; Rincón, L.; Vilariño, V.; Pérez, G.; Castell, A. 2014. Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 394–416. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.037>
- De Meester, B.; Dewulf, J.; Verbeke, S.; Janssens, A.; Langenhove, Van, H. 2009. Exergetic life-cycle assessment (ELCA) for resource consumption evaluation in the built environment, *Building and Environment* 44(1): 11–17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.01.004>

- Elkington, J. 1994. Towards the sustainable corporation: win-win-win business strategies for sustainable development, *California Management Review* 36(2): 90–100. <http://dx.doi.org/10.2307/41165746>
- Finnegan, S.; Ashall, M.; Brady, L.; Brennan, M.; Dunne, D.; Gammon, J.; King, F.; Turley, M. 2013. Life Cycle Assessment (LCA) and its role in improving decision making for sustainable development, *Engineering Education for Sustainable Development*, Cambridge, UK, 2–8 [interaktyvus], [žiūrėta 2015 m. vasario 11 d.]. Prieiga per internetą: <http://www-eesd13.eng.cam.ac.uk/proceedings/papers/118-life-cycle-assessment-and-its-role-in.pdf>
- Goodland, R. 1995. The concept of environmental sustainability, *Annual Review of Ecology and Systematics* 26: 1–24. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.es.26.110195.000245>
- IPH Corporate Plan 2010–2013 [interaktyvus], [žiūrėta 2015 m. kovo 6 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.publichealth.ie/healthinequalities/healthylivingenvironments>
- Ieltsinternational.com [interaktyvus], [žiūrėta 2015 m. kovo 6 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.ieltsinternational.com/>
- Kaklauskas, A.; Banaitienė, N.; Tupėnaitė, L.; Rimkuvienė, S.; Trinkūnas, V. 2012. *Gyvenamosios aplinkos atnaujinimas*: mokomoji knyga. Vilnius: Technika, p. 216. <http://dx.doi.org/10.3846/1414-S>
- Kaklauskas, A.; Zavadskas, E. K.; Lapinskiene, V.; Sliogeriene, J.; Gudauskas, R.; Raistenskis, J.; Cerkauskienė, R.; Jackute, I.; Kumzaite, S. 2013. Multiple-criteria analysis of life cycle of energy-efficient built environment, in *Nearly Zero Energy Building Refurbishment*. Springer, 299–324.
- Kaluarachchi, Y.; Ariba, K. J.; Fiap, J. P.; Jentsch, M.; Bahaj, A. S.; Clements-Croome, D.; Gann, D. 2005. Building facades: sustainability, maintenance and refurbishment, in *Engineering Sustainability, Proceedings of the Institution of Civil Engineers* 158: 89–95.
- Kohler, N.; Moffatt, S. 2003. *Life-cycle analysis of the built environment*. UNEP Industry and Environment, 17–21.
- Kotaji, S.; Schuurmans, A.; Edward, S. 2003. Life-cycle assessment in building and construction a state-of-the-art report. ISBN 1-880611-59-7. Pensacola: SEATC press.
- Lee, T. G.; De Biasio, D.; Santini, A. 1996. *Health and the built environment: indoor air quality*. Vital Signs Curriculum Materials Project, Health and the Built Environment, The University of Calgary, p. 58.
- Lützkendorf, T.; Lorenz, D. 2005. Sustainable property investment: valuing sustainable buildings through property performance assessment, *Building Research & Information* 33(3): 212–234. <http://dx.doi.org/10.1080/09613210500070359>
- Mikučionienė, R.; Rogoža, A.; Martinatis, V. 2014. Pastatų atnaujinimo darnaus vertinimo kriterijų įtakos analizė, *Mokslas – Lietuvos ateitis*, ISSN 2029-2341, eISSN 2029-2252.
- Nesveikas būstas. 2014 [interaktyvus], [žiūrėta 2014 m. vasario 10 d.]. Prieiga per internetą: http://www.smlpc.lt/media/file/Skyriu_info/Aplinkos_sveikata/Bustas/Nesveikas_bustas.pdf
- O’Riordan, T.; Cameron, J.; Jordan, A. 2001. *Reinterpreting the precautionary principle*. London: Cameron May.
- Pastatų gyvavimo ciklo vertinimo programos. 2015 [interaktyvus], [žiūrėta 2015 m. kovo 1 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.buildingecology.com/sustainability/life-cycle-assessment/life-cycle-assessment-software>
- Pearce, O. J. D.; Murry, N. J. A.; Broyd, T. W. 2012. Halstar: systems engineering for sustainable development, *Engineering Sustainability* 165(ES2): 129–140 [interaktyvus], [žiūrėta 2015 m. kovo 6 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.icevirtuallibrary.com/content/article/10.1680/ensu.9.00064>
- Programų aprašymai. 2015 [interaktyvus], [žiūrėta 2015 m. kovo 10 d.]. Prieiga per internetą: http://www.canadianarchitect.com/asf/perspectives_sustainability/programs_evaluations/programs_evaluationtools_tools.htm
- Provincial Health Services Authority. 2014. *Healthy built environment linkages a toolkit for design, planning, health* [interaktyvus], [žiūrėta 2015 m. vasario 11 d.]. Prieiga per internetą: http://www.phsa.ca/Documents/linkagestoolkitrevisedoct16_2014_full.pdf
- Šaparauskas, J. 2004. *Darnaus miesto vystymo(-si) daugiatiškė selekcionavacija*: daktaro disertacija. Technologijos mokslai, statybos inžinerija. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius: Technika. 143 p.
- Schenck, R. 2005. Life cycle assessment and sustainability: why LCA? [interaktyvus], [žiūrėta 2015 m. vasario 11 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.lafarge-na.com/BD&C%20White%20Paper%2005.pdf>
- Tamkevičiūtė, M. 2012. *Darnios statybos plėtros galimybės Lietuvoje*: magistro darbas [interaktyvus], [žiūrėta 2015 m. kovo 6 d.]. Prieiga per internetą: http://vddb.library.lt/fedora/get/LT-eLABa-0001:E.02~2012~D_20120703_140437-36086/DS.005.0.01.ETD
- The British English definition. 2015 [interaktyvus], [žiūrėta 2015 m. vasario 11 d.]. Prieiga per internetą: <http://dictionary.cambridge.org/dictionary/business-english/built-environment?q=Built+Environment>
- Tupėnaitė, L. 2010. *Multiple criteria assessment of the built and human environment renovation projects*: Doctoral Dissertation. Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania.
- World Commission on Environment and Development. 1987. The Brundtland Report, our common future [interaktyvus], [žiūrėta 2015 m. kovo 6 d.]. Prieiga per internetą: <http://habitat.igc.org/open-gates/wced-ocf.htm>

MODELS AND SYSTEMS ANALYSIS OF BUILT ENVIRONMENT LIFE CYCLE

I. Ubartė, J. Čerkauskas, A. Turūta, A. Naumcik

Summary

The main built environment lifecycle object is building. It consists of 60 different materials and more than 200 different products, with different life cycles and operating processes. The first section of this article contains the built environment life-cycle approach. The second section contains the built environment life cycle models analysis, sustainable built environment lifecycle conceptual model is composed. The third section gives an overview of the built environment life cycle system created by analyzing the nature of the investment decisions made in economic and environmental terms. The article ends with the conclusions.

Keywords: built environment, life cycle, environmental quality, life cycle programs, sustainable development, the built environment lifecycle models.