



INDUSTRIŲ PASTATŲ IR TERITORIJŲ KONVERSIJA DARNAUS VYSTYMOŠI POŽIŪRIU TAIKANT BIM TECHNOLOGIJAS: SITUACIJOS ANALIZĖ IR PERSPEKTYVOS

Miroslavas PAVLOVSKIS¹, Jurgita ANTUCHEVIČIENĖ², Darius MIGILINSKAS³

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

El. paštas: ¹miroslavas.pavlovskis@stud.vgtu.lt, ²jurgita.antucheviciene@vgtu.lt, ³darius.migilinskas@vgtu.lt

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjama apleistų industrinių pastatų ir teritorijų konversijos samprata, tikslai, problemos, sėkmingos konversijos rezultatų nauda miesto plėtrai kaip kompleksinis procesas darnaus vystymosi požiūriu. Aptariamos priemonės, kurios padėtų priimti efektyvius apleistų pastatų tvarkymo ir naudojimo sprendimus. Straipsnyje yra analizuojamas BIM 5D modelis per visą pastato gyvavimo ciklą. Analizuojama užsienio geroji praktika, kur taikomos šiuolaikinės skaitmeninės technologijos rekonstruojant senus pastatus. Tiriamos statinio informacinio modelio taikymo galimybės per visą pastato gyvavimo laikotarpį. Siūlomos priemonės mažinti išmetamo CO₂ kiekį statybos sektoriuje. Pasiūlytas apleistų objektų konversijos modelis, pagrįstas MCDM ir BIM technologijomis.

Reikšminiai žodžiai: BIM, statinio informacinis modeliavimas, pastato gyvavimo ciklas, konversija, industrinės teritorijos, darnus vystymasis, CO₂ emisija.

Įvadas

Pastaruosiu metu Lietuvoje bei kitose Europos ir pasaulio šalyse matomas statybų veiklos augimas, statoma daug naujos kartos pastatų. Tačiau lieka senesnės statybos, šiuo metu nenaudojamų ir apleistų, fiziškai, funkciškai ir moraliai nusidėvėjusių pastatų perteklius. Didelę dalį tokių objektų sudaro sovietiniais metais statyti industrinės paskirties pastatai pramoniniuose rajonuose arba apleisti ir nenaudojami karinės paskirties, žemės ūkio paskirties statiniai. Nebenaudojamos teritorijos ir statiniai degraduoja ir kelia ekonominių, socialinių bei aplinkosaugos problemų (Antuchevičienė 2005; Zavadskas, Antuchevičienė 2008). Nebenaudojamuose pastatuose dažnai apsigyvena asocialūs asmenys, todėl šios teritorijos tampa pavojingos ir mažina aplinkinių teritorijų patrauklumą, o teršalai iš tokių statinių kenkia visai ekosistemai (Marcinkevičiūtė, Ambrasas 2010).

Šiai problemai spręsti yra reikalingos priemonės, kurios padėtų priimti efektyvius apleistų pastatų tvarkymo ir naudojimo sprendimus. Daugialypiam sprendimų pobūdžiui įvertinti bei racionaliems sprendimams priimti siūloma taikyti daugiakriterių sprendimų priėmimo (MCDM – *Multiple Criteria Decision Making*) metodus (Antuchevičienė *et al.* 2012; Zavadskas, Antuchevičienė 2007).

Taip pat reikalingos informacinės technologijos, kurios padėtų kaupti, analizuoti bei atnaujinti aktualią informaciją ir objektyviai įvertinti pastatų konversijos galimybes ir alternatyvius variantus, didinant našumą, efektyvumą, infrastruktūros vertę, kokybę ir tvarumą, kartu reikalaujant sumažinti eksploatacines išlaidas, aplinkos taršą ir laiko bei medžiagų sąnaudas per visą pastato gyvavimo ciklą (Popov *et al.* 2006; Assiego de Larriva *et al.* 2014).

Viena iš naujausių ir efektyviausių tokių priemonių būtų statinio informacinis modeliavimas BIM (angl. *Building Information Modeling*) – tai yra pastato skaitmeninio projektavimo procesas, kurio metu kuriama ir valdoma visa statinio informacija visais jo gyvavimo etapais (Migilinskas, Ustinovichius 2006; Kulahcioglu *et al.* 2012; Volk *et al.* 2014), nuo pirminės projekto koncepcijos iki jo rekonstrukcijos ar nugriovimo. Tačiau šiais laikais BIM technologija įprastai yra taikoma naujiems statiniams įgyvendinti, tačiau dėl sudėtingumo ir grafinių bei erdviųjų duomenų trūkumo esamų pastatų konvertavimas ar rekonstravimas taikant BIM turėtų būti dažnesnis (Penttilä *et al.* 2007; Murphy *et al.* 2013).

Šio straipsnio tyrimų objektas yra nenaudojamų pramoninių pastatų ir teritorijų konversija kaip kompleksinis procesas darnaus vystymosi požiūriu. Straipsnio tikslas –

išanalizuoti užsienio gerąją praktiką taikant šiuolaikines skaitmenines technologijas rekonstruojant senus pastatus, pateikti išvadas ir siūlymus dėl statinio informacinio modelio taikymo.

Apleistų pastatų ekonominės, socialinės bei ekologinės problemos ir konversijos galimybės

Per pastarąjį dvidešimtmetį išsivysčiusios šalys patyrė struktūrinius pokyčius bei ekonominį modernizavimą, kuris vedė į deindustrializaciją. Dėl šių pokyčių liko daug laisvų arba neišnaudotų industrinių pastatų (Juodis 2001; Hamnett 2009; Komisijos komunikatas... 2014). Dauguma šių pastatų yra įsikūrę buvusiose pramoninėse teritorijose, kur yra gera viešoji infrastruktūra ir transporto jungtys. Šie pastatai turi aukštas patalpas, atlaiko dideles apkrovas ir turi lanksčias suplanavimo galimybes, taip pat juos galima konvertuoti į kitas paskirtis (Chan *et al.* 2015).

Lietuvoje, įvykus esminiams politiniams ir ekonominiams pokyčiams, apleistų pramoninių, karinių, žemės ūkio apdirbamosios pramonės teritorijų ir atskirų objektų sutvarkymas yra itin aktualus (Juodis 2001; Antuchevičienė 2005). Šalies savivaldybių turimais duomenimis, Lietuvoje yra daugiau kaip 9 tūkst. nenaudojamų ir apleistų pastatų. Planuojant miesto plėtrą, tvarkybą, dažnai sprendžiamas klausimas dėl pagal paskirtį nebenaudojamų, apleistų teritorijų panaudojimo: griauti funkciškai nebenaudojamus, apleistus statinius ar siekti šiuos objektus išsaugoti, pritaikyti kitai paskirčiai (Matulevičius, Šliogerienė 2011).

Atnaujinant šias teritorijas, bandoma spręsti urbanizacijos vystymosi, ekonomines, socialines bei ekologines problemas (Antuchevičienė 2005; Hamnett 2009; Savickis 2013; Krutilova, Avilova 2014; Lima, Santos 2015):

- naudojant esamus pastatus, mažinama naujos statybos apimtis, tai yra taupomi gamtiniai išteklių, bei apribojamas poveikis aplinkai;
- tvarkant apleistus objektus, gerinamas urbanistinių struktūrų funkcionalumas ir architektūrinė išvaizda;
- saugomas architektūrinis paveldas, istorinius pastatus pritaikant šiuolaikiniams poreikiams;
- sukuriamos naujos darbo vietos ir mažinamas nedarbas vietovėje, tiek pertvarkant objektą, tiek plėtojant jame naują veiklą;
- pagerinama aplinkos kokybė, sumažinus taršą ir atkūrus buvusių pramoninių bei šiuo metu apleistų objektų sudarytą kraštovaizdį.

Daugiausia problemų kelia neeksploatuojami stambūs pramonės objektai didmiesčiuose, tokie kaip „Skaiteks“ gamykla ir taksų parkas Vilniuje ar Frenkelio fabrikas Šiauliuose, kurie kelia socialinių bei aplinkosaugos problemų, mažina aplinkinių teritorijų patrauklumą.

Galimas tokių pastatų konversijos variantas – tai lofto tipo gyvenamasis būstas. Tai yra labai paplitę buvusiuose industriniuose rajonuose užsienyje. Loftas (angl. *loft* – palėpė, viršutinis prekybinio pastato ar sandėlio aukštas) – būsto tipas, butas; gyventi pritaikytas apleistas fabrikas ar kitas pramoninės paskirties pastatas, buvusios dirbtuvės (Juodis 2011; Antuchevičienė 2005). Nuo 1990 m. lofto tipo būstas paplito dideliu mastu Jungtinėje Karalystėje, JAV, Vokietijoje ir kt. kaip būstas vidutinės klasės gyventojams. Loftai išreiškė novatorišką būdą pelningai perdirbti turtą į naują paskirtį (Hamnett 2009; World Urbanization Prospects 2012; Li *et al.* 2013; Krutilova, Avilova 2014; Chan *et al.* 2015).

Lietuvoje konversija labiausiai yra paplitusi Vilniaus mieste. Pavyzdžiui, Vilniaus mieste buvo išvystyti tokie projektai:

- Loft Town („Kuro aparatūros“ gamykla);
- River Loft (gamykla „Matas“);
- Belmonto loftai;
- Radijo gamyklos loftai;
- Vilniaus vyriausiojo policijos komisariato (VPK) pastatas („Gražtų“ gamykla);
- projektas „Paupys“ (gamykla „Skaiteks“).

Pastatų konversijos svarba darnaus vystymosi požiūriu

Bazinės darnios statybos apibrėžimas suformuluotas 1994 m. JAV vykusios CIB organizuotos konferencijos metu: „Tai sveikos aplinkos statiniuose ir už jų ribų kūrimas ir valdymas, laikantis išteklių efektyvaus naudojimo ir ekologiškumo principų“ (Antuchevičienė 2005; Assiego de Larriva *et al.* 2014).

Urbanizuotų teritorijų plėtros kontekste (urbanizuota aplinka suprantama gana abstrakčiai – tai miesto (miestiška) aplinka) pastatų statybos, naudojimo ir valdymo srityje darnus vystymasis apima visą pastato gyvavimo ciklą nuo planavimo iki utilizavimo etapų (Komisijos komunikatas... 2014).

Vertinant darnaus vystymo (-si) (angl. *sustainable development*) aspektu, naujų pastatų statyba yra ne tik teigiamas veiksnys, tenkinant naujus visuomenės poreikius, bet dažnai sukelia negatyvų poveikį gamtinei ir negamtinei aplinkai. Ši statybos procesų ir produktų poveikį galima sumažinti efektyviau naudojant esamus pastatus ir ribojant naujų objektų statybą (Antuchevičienė 2005). Užsienio valstybėse nekilnojamojo turto konversija jau yra kasdienybė ir yra visuotinai pripažįstama ir skatinama įstatymais. Suderinus tinkamas priemones ir sprendimus, gyvenamųjų, pramoninių, turizmo ir rekreacinių zonos vis dažniau atsiranda

buvusių pramonės objektų vietose, ypač jei pastarosios užima centrinės ir strategiškai patrauklias miesto vietas. Konversija neišvengiama dėl nuolatinės ir intensyvėjančios miestų plėtros bei vis didesnio dėmesio, skiriamo gyvenimo kokybei (Matulevičius, Šliogerienė 2011).

Pramoninių pastatų konversija yra ekonomiškai naudinga palyginti su naujomis statybomis (Hamnett 2009). Statant naują pastatą, bendra statybinių ir montavimo darbų kaina sudaro 70 % visų investicijų, o rekonstruojant apie 30 % (Krutilova, Avilova 2014).

Planuojant šių pastatų racionalų naudojimą, būtina atsižvelgti ne vien tik į ekonominę naudą. Tokie objektai turi būti tvarkomi atsižvelgiant į senų industrinių pastatų archeologinę, architektūrinę ir kultūrinę vertę, kompleksiskai, įvertinant technines ir netechnines sąlygas, tai yra pagal darnios statybos principus, darnaus teritorijų ir visuomenės vystymosi kontekste (Antučevičienė 2005; Hamnett 2009; Antučevičienė *et al.* 2012; Chan *et al.* 2015).

Pastato gyvavimo ciklo valdymas ir pastato informacinis modeliavimas

Pasaulyje didėja gyventojų skaičius, plečiasi gamybinės ir ūkinės veiklos, statybos mastas. Per atkurtos Lietuvos Nepriklausomybės metus statybos sektorius vystėsi labai dramatiškai. 1990–2001 m. Lietuvoje vyko pramonės griūtis, kūrėsi bei restruktūrizavosi naujos statybos įmonės ir lėtai vystėsi rinkos ekonomika (Juodis 2001). 2002–2013 m. Lietuvos statybos sektorius sukūrė nuo 6 iki 10 % BVP bei įdarbino nuo 7 iki 12 % visų šalies dirbančių asmenų.

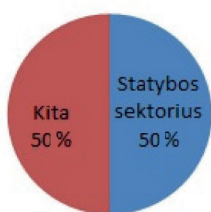
Statybos ir eksploatacijos metu statybos gamybos procesuose ir pastatuose sunaudojama apie 50 % visos energijos, o pastatuose ir inžinerinėje infrastruktūroje sunaudojama apie 50 % visų šalies materialinių investicijų.

Analizuojant VP1-3.1-ŠMM-05-K-02-006 galimybių studijos duomenis 2008–2013 m. tik statybos paslaugų viešieji pirkimai kiekvienais metais sudarė nuo 41 iki 84 %, t. y. apie 3,4–5,5 milijardų Lt. Europos statybų industrijos federacijos vertinimu, viena statybų sektoriaus darbo vieta tiesiogiai ar netiesiogiai dar yra susijusi su ~2–3 kitų sektorių (transporto, energetikos, tekstilės, IRT, maitinimo ir t. t.) darbo vietomis (Gudavičius *et al.* 2014).

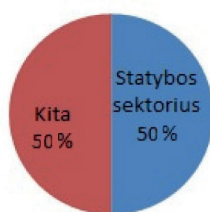
Europos Sąjungoje pastatų statybai ir eksploatavimui sunaudojama apie 50 % visų vietinių iškasenų, 50 % visos suvartojamos energijos, apie 25 % viso suvartojamo vandens ir 55 proc. medienos. Statybos pramonė taip pat išskiria didelį procentą anglies dvideginio CO₂ dujų (38 % viso išmetamo anglies dvideginio), kurios yra pagrindinės pasaulinio atšilimo kaltininkės, sukuriančios daug technogeninės kilmės teršalų.

Šiame sektoriuje susidaro trečdalis visų atliekų, be to, įvairiuose pastatų gyvavimo ciklo etapuose, pavyzdžiui, gaminant statybos produktus, statant pastatus, juos naudojant, renovuojant ir tvarkant statybines atliekas (žiūrėti 1 pav.), daromas neigiamas poveikis aplinkai (Kulahcioglu *et al.* 2012; Savickis 2013; Komisijos komunikatas... 2014; Resource efficiency... 2014). Tinkamas statybinių medžiagų, konstrukcinių, projektinių ir logistinių sprendimų parinkimas yra vienas iš esminių darnios statybos elementų.

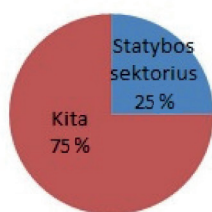
Naudingų iškasenų sunaudojimas



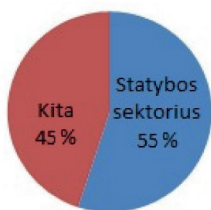
Energijos suvartojimas



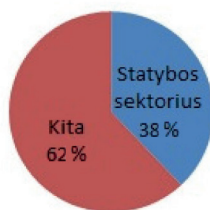
Vandens suvartojimas



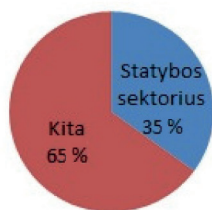
Medienos suvartojimas



Anglies dvideginio CO₂ emisija



Statybinės atliekos



1 pav. Pagrindinių išteklių suvartojimas ir emisija (Kulahcioglu *et al.* 2012; Savickis 2013; Komisijos komunikatas... 2014; Resource efficiency... 2014)

Fig. 1. Consumption of the main resources and emissions (Kulahcioglu *et al.* 2012; Savickis 2013; Komisijos komunikatas... 2014; Resource efficiency... 2014)

Norint poveikį aplinkai mažinti efektyviai, turi būti atsižvelgiama į visą pastato gyvavimo ciklą. Antraip tam tikras poveikis gali likti nepastebėtas arba gali iškilti papildomų problemų kituose gyvavimo ciklo etapuose. Pavyzdžiui, pastato naudojimo etape taikant tam tikrus energijos vartojimo efektyvumo didinimo sprendimus, vėliau gali būti sunkiau arba brangiau perdirbti jo medžiagas (Li *et al.* 2013; Zhang, Wang 2015).

Vienas iš galimų Pastato gyvavimo ciklo valdymo (angl. *Building Lifecycle Management*) apibrėžimų yra paremtas pramoninių produktų PLM (angl. *Product/project Lifecycle Management*) samprata – produkto/projekto gyvavimo ciklo valdymo pritaikymu. Tai yra valdymo procesas, apimantis konceptualios idėjos kūrimą, projektavimą ir gamybą, priežiūrą (administravimą ar ūkio valdymą) bei galimą galutinį perdirbimą projekto pabaigoje (rekonstrukciją, griovimą ar utilizavimą) (Migilinskas, Ustinovichius 2006).

Statinio informacinis modeliavimas (BIM) (angl. *Building Information Modeling*) – pastato informacinio modelio kūrimo ir valdymo procesas per visą jo gyvavimo laikotarpį. Dažniausiai vykdomas naudojant objektiškai orientuotą modeliavimo programinę įrangą, taip siekiant padidinti pastato projektavimo ir statybos efektyvumą. Proceso metu gaunamas statinio informacinis modelis su visa pastato geometrijos, erdvinių ryšių ir mazgų atvaizdavimu, pastato elementų kiekiu ir savybių informacija, kurią galėtų naudoti ir projektuotojai, ir statytojai, ir ūkio valdytojai, o esant reikalui papildyti ar redaguoti (Popov *et al.* 2006).

BIM technologijos ne tik plačiai taikomos užsienyje, bet ir Lietuvoje. BIM įdiegimas reikalauja tam tikrų išlaidų, o naudos yra sudėtingai išmatuojamos. Tam reikia ypač detalios esamos situacijos analizės, matuoti šiuo atveju reikia ne projektą, bet atskirus jo etapus (Migilinskas *et al.* 2013).

Pastato gyvavimo ciklas gali būti skirstomas į etapus. Etapai gali būti įvairūs ir skirtis priklausomai nuo nagrinėjamo modelio. Paprastai pastato gyvavimo ciklas susideda iš šių etapų: koncepcijos, projektavimo, statybinių medžiagų gamybos, pastato statybos darbų, pastato eksploataavimo, griovimo ar rekonstrukcijos, statybos ir griovimo atliekų utilizavimo (Juodis 2001; Ustinovičius *et al.* 2005; Li *et al.* 2013).

Straipsnyje pasiūlytas apleistų objektų konversijos modelis, kurį taikant galima nustatyti, kurie metodai ar technologijos yra tinkamiausi konkrečiam pastato gyvavimo ciklo etapui (2 pav.), drauge taikant MCDM metodus ir BIM technologijas. Siūlomo modelio etapai detalizuojami tolesniuose poskyriuose.

Kiekvieno naujo ar renovuojamo komercinio, viešojo ar privačiojo gyvenamojo pastato statybos prasideda

nuo projektavimo darbų, tai svarbus ir atsakingas etapas. Statinių projektavimo procesas turi didelę įtaką galutinio rezultato kokybei. Be abejo, visko numatyti neįmanoma, todėl atliekant darbus galimi projektiniai pakeitimai.

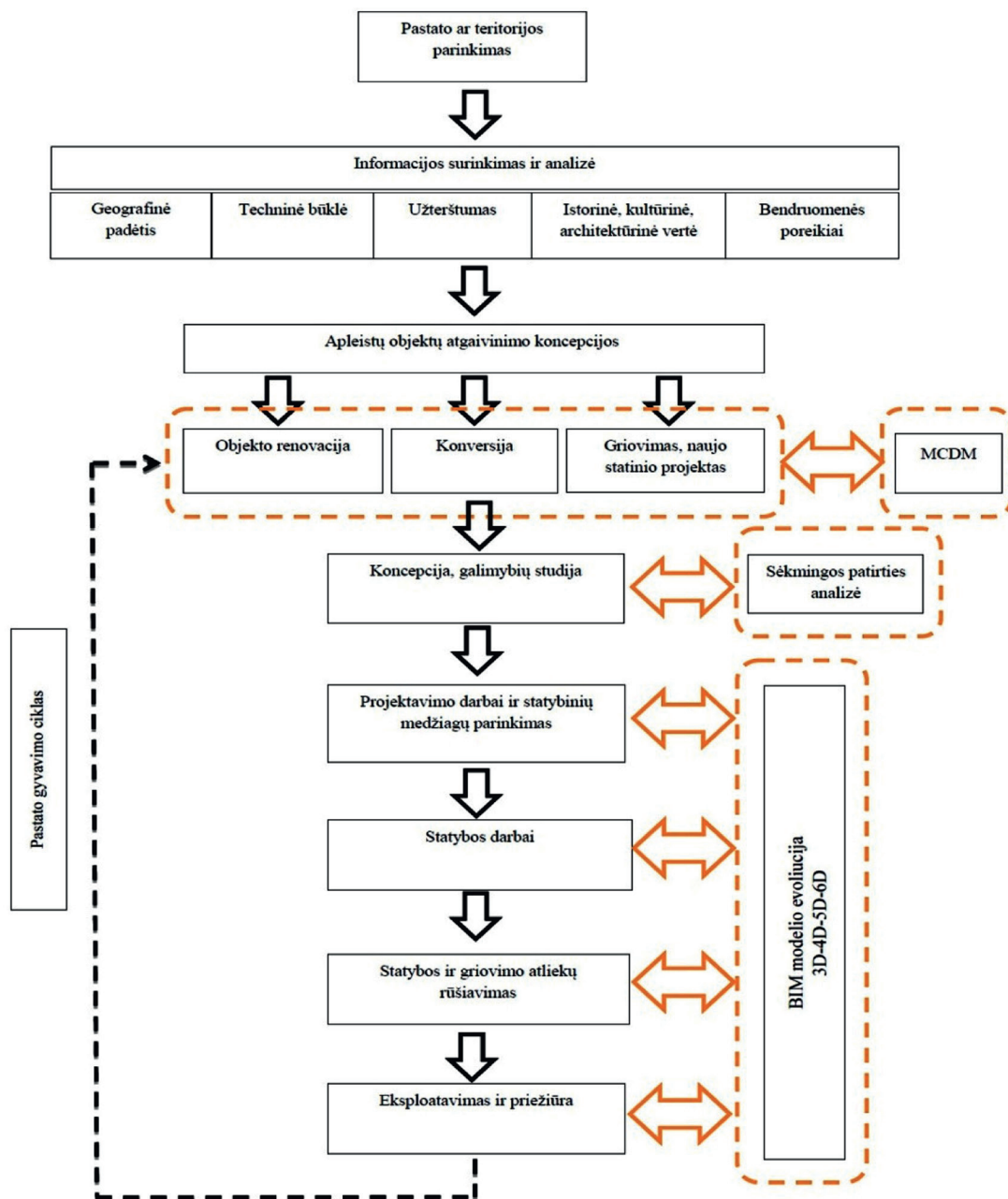
Projektavimo darbai ir statybinių medžiagų parinkimas

Neapibrėžtumų ir rizikos lygis yra didžiausias statybos projekto pradžioje, o jų įtaka mažėja iki priimtino lygio detalizuojant informaciją projekto įgyvendinimo metu, t. y. tikslinant duomenis per visą statybos projekto gyvavimo laiką. Galima teigti, kad technologiniams ir ekonominiams statybos uždaviniams spręsti reikalingos kokybiškos ir patikimos priemonės (metodikos), padedančios valdyti statybos projekto informacijos srautus bei mažinti neapibrėžtumų ir rizikos įtaką.

Projektavimas taikant BIM technologijas – tai procesas, kurio metu interaktyvios priegijos režimu kuriamas integruotas trimatis pastato modelis, susidedantis iš tūrinių, parametrinių objektų – pastato elementų, turinčių visą būtiną ir tinkamą būdu organizuotą, valdyti prieinamą informaciją. Toks grafinis informacinis pastato modelis yra bendras rengimo objektas visiems projekto dalyviams: architektams, konstruktoriams, gretutinių dalių inžinieriams projektuotojams, taip pat yra projekto grafinės ir aprašomosios informacijos suderinta duomenų bazė, bendras informacijos šaltinis visoms projekto dalims ir etapams. Nagrinėjant statybos automatizuoto projektavimo bei informacijos valdymo priemonių taikymo galimybes nustatyta, kad norint išvengti objekto statybos vėlavimų ir dėl to kylančių neapibrėžtų problemų, būtinas abipusis informacijos pateikimas laiku tarp visų atsakingų ir kompetentingų statybos dalyvių, kaupiant duomenis ir dirbant bendroje erdvėje, naudojantis bendros automatizuoto projektavimo sistemos priemonėmis (Migilinskas *et al.* 2013).

Įsigilinus į BIM modelio sistemą, galima būtų išskirti tokias pagrindines naudas projektuotojui:

- Aiškesni projektavimo reikalavimai.
- Didesnis standartinių detalių panaudojimas.
- Geriau patenkinami klientų reikalavimai ir taisyklės.
- Vyksta sklandesnis bendradarbiavimas su klientais, rangovais, gamintojais.
- Mažiau projektavimo klaidų ir greičiau aptinkami susikirtimai (angl. *Clash detection*).
- Tiksliau nustatomi konstrukcijų ir medžiagų kiekiai.
- Nepageidaujamų atliekų sumažinimas ir energijos taupymas.
- Taupomas popierius (žymiai sumažėja brėžinių spausdinimas).



2 pav. Apleistų objektų konversijos modelis

Fig. 2. The conversion model of abandoned buildings

- Greitesnis ir tikslesnis idėjų realizavimas.
- Paprastesnis ir greitesnis pastato energinio naudingumo klasės nustatymas.
- Galimybė atlikti sklypo variantų studiją – šešėlių, vėjų ir kitų gamtinės įtakos veiksnių simuliaciją.

Projektuojant statinį svarbu nuspręsti, kokios medžiagos ir konstrukcijos bus naudojamos. Nuo to priklausys ne tik objekto sąmatinė vertė, bet ir poveikis aplinkai per visą pastatų gyvavimo ciklą (Huang *et al.* 2002).

Išteklių naudojimą daugiausia lemia projektavimo sprendimai ir statybinių medžiagų pasirinkimas. Projektuotojams ir architektams, kurie nori kurti darnius

pastatus, iškyla šie klausimai: kaip perdirbtas medžiagas galima būtų panaudoti statybos metu? Kiek energijos būtų suvartojama mano pastato statybai? Koks yra CO₂ pėdsakas? Ar poveikis aplinkai įvertinamas per visą gyvavimo ciklą ir ką jis parodo? Kokios ekologinės pasekmės laukia įgyvendinus tokį sprendimą?

Kiekvienas pastatas yra unikalus ir reikalauja atskiros analizės, kad galėtume įvertinti, koks poveikis aplinkai bus išvysčius (įgyvendinus) projektą, taip pat nustatyti optimizavimo galimybes. Pastato poveikis aplinkai priklauso nuo statybai sunaudotų medžiagų, taip pat pastato paskirties ir funkcijų (Antuchevičienė *et al.* 2012).

Dabar yra kuriami įrankiai, kurie projektuojant gali padėti dizaineriams ir projektuotojams pasirinkti produktus ir procesus, darančius mažiausią poveikį aplinkai. Šie įrankiai gali būti naudojami produktams ir sistemoms modeliuoti iš gyvavimo ciklo perspektyvos ar sprendimų priėmimo sistemos alternatyviems variantams analizuoti ir racionaliausiam sprendimui parinkti (Assiego de Larriva *et al.* 2014).

Programinės įrangos prototipas *A 3D analyzer for BIM-enabled Life Cycle Assessment of the whole process of construction* (Kulahcioglu *et al.* 2012) integruoja pastato gyvavimo ciklo analizę į BIM modelį, jungiant informaciją, gaunamą iš 3D objekto, su gyvavimo ciklo analizės įrankiu GABI *Software* (GaBi 4.0. 2015). Ši programa modeliuoja statybos procesą, leidžia vartotojams dirbti su 3D pastato modeliu ir interaktyviai analizuoti jo poveikį aplinkai. Parenkant statybos produktus, informacija apie juos kaupiama duomenų bazėje ir visada galima gauti ataskaitą apie poveikį aplinkai, CO2 emisiją ar suvartotą energiją bet kuriuo pastato gyvavimo ciklo etapu. Taigi šis metodas padeda išvengti aplinkosaugos problemų perkėlimo iš vieno etapo į kitą. Metodas leidžia kompleksiskai įvertinti visą būsimą riziką jau projektuojant.

Pastato statybos darbai ir eksploatavimas

Statybos procesas yra veikiamas daugelio veiksnių, kurie vienaip ar kitaip daro įtaką visiems įgyvendinamo statybos projekto parametrams. Veiksnių įtaką bandoma prognozuoti pasitelkiant įvairias skaičiavimo priemones ir duomenų bazines, kurios remiasi tiek statistiniais, tiek ekspertiniais (patirties) duomenimis. Skaičiuojant įtaką, yra daromos prielaidos, kad nagrinėjamo projekto dalys ar net visas projektas yra panašus į anksčiau įgyvendintus statybos projektus, tačiau tai yra tik prielaidos ir jos turi nemažą paklaidą lyginant su realiais parametrais, kurie gaunami įgyvendinus projektą.

Taikant projektinį modelį kaip pradinės informacijos šaltinį statybų darbams atlikti yra sukuriamas statybinis pastato BIM modelis. Statybinis pastato BIM modelis arba vadinamasis 4D modelis – tai projektinis pastato BIM modelis + skaičiuojamasis statybos laikas su informacija apie statybai reikalingus resursus. Statybinis pastato BIM modelis taikomas statybų procesams planuoti ir valdyti darbų atlikimo laiko juostoje, naudojant informaciją, pateiktą projekto BIM modelio duomenų bazėje (Migilinskas, Ustinovichius 2006).

Taikant BIM modelį optimizuojant darbus, galima išvengti prastovų, neracionalaus medžiagų bei transporto naudojimo, dėl to mažinamas neigiamas poveikis aplinkai.

Sujungus laiko atžvilgiu suplanuotą trimatį modelį su ekonominiais rodikliais, galima numatyti piniginius srautus visuose statybų etapuose ir dalyse. BIM kainos modelis, vadinamasis 5D modelis, – tai medžiagų ir gaminių kainos, sujungtos su parametriniais objektais, kartu su resursų – darbo jėgos ir mašinų bei mechanizmų – kainomis, paskirstytomis pagal gamybos laiką, naudojant gamybos technologijas. BIM pastato modelis, perduotas eksploatuoti, gali būti taikomas pastato ūkiui valdyti tolesniuose jo gyvavimo ciklo etapuose – eksploatuojant, rekonstruojant ir griunant. Eksploatacinis pastato modelis dažnai vadinamas 6D modeliu dėl kokybinių rodiklių įvedimo (pvz., energetinio efektyvumo, gyvenimo komforto, išlaidų optimizavimo ir pan.). Jo esmė sudaro didelių kiekių nuolat įrašoma, virtualiai pasiekiami ir eksploatacinė informacija. Jis skirtas visoms pastato komunikacinėms sistemoms valdyti ir prižiūrėti, pastato priežiūros išlaidoms planuoti, įrenginių būsenos stebėsenai ir jos techninei būklei palaikyti, siekiant užtikrinti būtiną komforto ir pastato energetinio balanso lygį (Migilinskas, Ustinovichius 2006; Gudavičius *et al.* 2014).

Griovimas ar rekonstrukcija?

Laikui bėgant, bet kuris statinys funkciškai susidėvi ir kelia socialinių bei aplinkosaugos problemų, tampa svetimkūniu vienetu ekonominiu, ekologiniu ir estetiniu požiūriais. Planuojant miesto plėtrą dažnai sprendžiamas klausimas dėl paskirties neatitinkančių, apleistų teritorijų naudojimo: griauti funkciškai nebenaudojamus, apleistus statinius ar siekti šiuos statinius išsaugoti ar pritaikyti kitai paskirčiai (Matulevičius, Šliogerienė 2011). Priklausomai nuo parinkto sprendimo, tas etapas gali tapti ir statybos naujojo gyvavimo ciklo pradžia.

Mokslo literatūroje skiriamas didelis dėmesys urbanizuotoms teritorijoms pertvarkyti, spręstinoms problemoms ir galimų sprendimų analizei, socialiniam ir ekonominiam efektyvumui pagrįsti (Krutilova 2014), sukurta metodikų konversijos galimybės įvertinti. Nors literatūroje ir daug BIM įgyvendinimo tyrimų, tačiau dominuoja taikymas naujiems pastatams, o esamų pastatų konvertavimas ar rekonstravimas taikant BIM nėra plačiai paplitęs. Plačiausiai apžvelgiamas informacinio modeliavimo taikymas istoriniams pastatams (angl. *Historic building information modeling* (HBIM))(Murphy *et al.* 2013). Tai yra nauja parametrinių objektų biblioteka, kuri remiasi istoriniais architektūros duomenimis, kartografavimo parametrinių objektų ir vaizdo tyrimų duomenimis. HBIM procesas prasideda nuotoliniu tyrimų duomenų rinkimu naudojant lazerinį skaitytuvą kartu su skaitmeninių nuotraukų modeliavimu (Penttilä *et al.* 2007).

Kitas etapas apima parametrinių objektų iš rankraščių ar architektūros raštų knygų projektavimą ir modeliavimą. Parametriniai objektai, failo formatai ir keitimasis duomenimis buvo sukurtas pagal BIM ArchiCAD programinės įrangos platformą, naudojant geometrinę aprašomąją kalbą (LDK). Galutinis proceso etapas buvo parametrinių objektų braižymas ir statybinių komponentų lazerio skenavimo tyrimas, siekiant sukurti arba suformuoti visą pastatą (Murphy *et al.* 2013). BIM automatiškai gamina visus inžinerinius brėžinius, 3D dokumentaciją, detales ir grafikus. Panaudoję sukurta BIM 3D modelį, architektai ir projektuotojai gali iš karto numatyti būsimų darbų apimtį, kokie mazgai ir konstrukcijos bus griaunamos, o kokie elementai paliekami. Palyginus esamą statinį su naujai projektuojamu, galima apskaičiuoti ir kiek kiekybiniu atžvilgiu yra sutaupoma statybinių medžiagų, palyginus su naujo pastato statyba. Tai yra svarbi informacija vertinant ekonominę projekto naudą.

Statant naują pastatą, bendra statybinių ir montavimo darbų kaina sudaro 70 % visų investicijų, o rekonstruojant – apie 30 %. Panaudojus materialinius resursus konvertuojant pastatą, galima daug efektyvesnė investicijų realizacija, atsipirkimo laikotarpis sumažėja 2–2,5 karto, o bendros išlaidos sumažėja 30 %, palyginti su naująja statyba (Krutilova 2014). Vertinant iš aplinkosaugos pozicijos, turint pakartotinai naudojamų medžiagų kiekius, galima nustatyti, kiek yra mažinama CO₂ dujų emisija. Žinant dažniausiai naudojamų statybinių medžiagų emisijos rodiklius, jau projektavimo etape galima numatyti neigiamo poveikio aplinkai mažinimą. Pagrindinių statybinių medžiagų ir energijų CO₂ emisijos rodikliai pateikti lentelėje (Zhang, Wang 2015).

Panaudojant esamus pastatus, mažinama naujos statybos apimtis, tai yra taupomi gamtiniai išteklių bei apribojamas poveikis aplinkai. Remiantis mokslininkų sukurtais analitinėmis sistemomis ir BIM 3D modeliu pagrįsta informacija, galima būtų šią informaciją naudoti kaip standartinį metodą pastatų CO₂ emisijai įvertinti.

Statybos ir griovimo atliekų rūšiavimas

Pastatai ar jų dalys, kurių negalima efektyviai panaudoti dėl būklės ar dislokacijos ypatumų ir kurie bus griaunami, turi būti atitinkamai išmontuoti. Lietuvoje dažniausiai taikomas paprastas pastatų nugriovimas, kuris gali būti palankiai vertinamas tik dėl sąnaudų ekonomijos.

Statinio negriaunant, o išmontuojant, galima nepažeistus elementus (pvz.: perdangos plokštes, langus, duris ir kt.) panaudoti kitiems objektams statyti ar remontuoti. Likusias išmontuotas atliekas būtina išrūšiuoti pagal medžiagų tipus, o vėliau jos turi būti perdirtos (Huang *et al.* 2002; Poon *et al.* 2001).

Norint sėkmingai įgyvendinti statybos ir demontavimo atliekų perdirtimo sistemą, reikalinga ne tik techninė įranga, bet ir kiekybinis atliekų prognozavimas. Todėl BIM pagrindu sukurta atliekų įvertinimo sistema gali būti plačiai naudojama statybose. Cheng ir Ma (2013) darbe pristatoma BIM pagrįsta sistema, kuri patogiai ir greitai atlieka statybinių atliekų kiekių įvertinimą ir rūšiavimą. Sistema gali apdoroti informaciją apie kiekvieną pastato elementą skaitmeniniame virtualiame BIM modelyje ir įvertinti atliekų kiekius pagal kategorijas ar detales. Remiantis straipsnio autoriais (Cheng, Ma 2013), BIM pagrįsta sistema gali atlikti šias funkcijas:

- gauti išsamią informaciją apie kiekvieno elemento kiekius;
- gauti išsamią informaciją apie kiekvienos rūšies medžiagos kiekius;
- apskaičiuoti bendrą inertinių ir ne inertinių atliekų kiekių;
- apskaičiuoti atliekų šalinimo pakrovimo mokesčius: kiekvienas rangovas galės žinoti išlaidų skirtumą remdamasis patikimais duomenimis, gautais iš šios įvertinimo priemonės;
- apskaičiuoti atliekų skaičių sunkvežimiais: toks vertinimas palengvins rangovams parinkti transportą.

Apibendrinant galima teigti, kad statybų ir griovimo atliekų rūšiavimas bei perdirtimas yra akivaizdžiai naudingas išteklių ir poveikio aplinkai atžvilgiu. Perdirtų medžiagų naudojimas naudingas ne tik aplinkai – gamini-

Lentelė. Pagrindinių statybinių medžiagų ir energijų CO₂ emisija

Table. Reference values for emission factors of some commonly used materials and energy resources

Statybinė medžiaga ar suvartota energija	CO ₂ emisijos rodiklis
Plienas	3,15 t CO ₂ /t
Cementas	0,86 t CO ₂ /t
Betonas	0,48 t CO ₂ /m ³
Molio plytos	0,20 t CO ₂ /t
Betono blokai	0,12 t CO ₂ /m ³
Klijuotinė fanera	0,27 t CO ₂ /m ³
Stiklas	1,40 t CO ₂ /t
Anglis	2060 g CO ₂ /kg
Elektra (vidutiniškai)	970 g CO ₂ /kWh
Dyzelinas	3180 g CO ₂ /kg
Gamtinės dujos	2700 g CO ₂ /kg
Branduolinė energija	10–130 g CO ₂ /kWh
Vėjo turbina	15–25 g CO ₂ /kWh
Medienos likučiai	1750 g CO ₂ /kg

tojams gali atverti ir ekonominių galimybių, pvz., didėja su demontavimu, statybinių medžiagų rūšiavimu ir perdirbimu susijusių darbo vietų skaičius. Dažnai perdirbti atliekas galima griovimo ar statybos vietose, arti vietų, kur jos vėl bus panaudotos. Taip galima sumažinti transportavimo poreikį, o kartu ir išlaidas bei išmetamą CO₂ kiekį. Taikant BIM modelį, kiekvienas rangovas, dar prieš pradėdamas statybos ir griovimo darbus, žinos atliekų kiekius ir galės tinkamai planuoti veiksmų eigą bei resursų paskirstymą, sumažinant neapibrėžtumą ir rizikos lygį. Taip eliminuojamos klaidos ir taupomos projektui skirtos lėšos.

Išvados

Naujos kartos projektavimo būdai žymiai supaprastina pastatų projektavimą, statybą ir eksploatavimą, padaro šiuos procesus efektyvius.

BIM koncepcija leidžia įgyvendinti projekto, o vėliau ir realaus objekto viso gyvavimo laiko valdymo strategiją, kuri yra pagrįsta realių objektų virtualių prototipų simuliacija statinėje ir dinaminėje aplinkoje, t. y. ne pavienių statinio komponentų ir jų mazgų, bet viso objekto, susidedančio iš daugybės elementų, kuriems priskirtos tikslios jų savybės, tarpusavio ryšiai ir kita svarbi realiems objektams būdinga informacija, nuolat papildoma ir besikeičianti gyvavimo ciklo laiko juostoje.

Straipsnyje išskiriama tokia BIM nauda:

- Ekonomiškesnis statybų procesas, nes kuriant skaitmeninį statinio modelį (BIM modelį) tenka viską tiksliai suprojektuoti, sumažėja projektaavimo klaidų.
- Išvengiama perteklinių kiekių apskaičiavimų, t. y. biudžeto augimo, nes iš skaitmeninio modelio galima išgauti tikslus medžiagų kiekius.
- Greitesnė ir pigesnė priežiūra, remontai ir renovacija, nes skaitmeninis statinio modelis – tai vietoje vietoje esanti informacija, kuri naudotina tiek statybos, tiek pastatų remonto ar renovacijos darbams (greitesnis sprendimų priėmimas).
- Vientisa realistinė informacija apie objektą. Kadangi statinio informacinis modelis yra tikslus projekto duomenų rinkinys, galima išvengti klaidų, kurių kyla tais atvejais, kai oficialūs projektų brėžiniai neatitinka tikrovės ir reikia papildomų pastangų tikrinti brėžinių patikimumą (statybos metu operatyvūs pakeitimai ir mažiau delsimų).
- Tiksliau suplanuojamas projektas, naudojant efektyvesnius išteklius ir energiją taupančius produktus.
- Skatinama efektyviau naudoti statybos produktų išteklius, pavyzdžiui, naudoti perdirbtas medžiagas,

pakartotinai naudoti esamas medžiagas, o atliekas sunaudoti kurui.

Straipsnyje pasiūlytas apleistų objektų konversijos modelis, pagrįstas MCDM ir BIM technologijomis. Turint taikant atitinkamą programinę įrangą sukurtą pastatų informacinį modelį bei parengtus specialistus, kurie supranta BIM naudą, modelį galima plačiai taikyti projektuojant darinius, nedarančius žalos aplinkai pastatus. Tikimasi, kad BIM bus labiau taikomas tiek statant naujus, tiek rekonstruojant esamus pastatus.

Literatūra

- Antuchevičienė, J. 2005. *Apleistų pastatų naudojimo modeliavimas darnaus vystymosi aspektu: daktaro disertacija*. Vilniaus Gedimino Technikos universitetas, Vilnius, Lietuva.
- Antuchevičienė, J.; Zavadskas, E. K.; Zakarevičius, A. 2012. Ranking redevelopment decisions of derelict buildings and analysis of ranking results, *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research* 46(2): 37–62.
- Assiego de Larriva, R.; Rodríguez, G.; López, J.; Raugei, M.; Palmer, P. 2014. A decision-making LCA for energy refurbishment of buildings: conditions of comfort, *Energy and Buildings* 70: 333–342. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.049>
- Chan, A.; Cheung, E.; Wong, I. 2015. Revitalizing industrial buildings in Hong Kong – a case review, *Sustainable Cities and Society* 15: 57–63. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2014.10.004>
- Cheng, J. C. P.; Ma, L. Y. H. 2013. A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning, *Waste Management* 33(6): 1539–1551. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.001>
- GaBi 4.0. 2015 [interaktyvus], [žiūrėta 2015 m. vasario mėn. 24 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.gabi-software.com/software/gabi-4/>
- Gudavičius, D.; Šarka, V.; Aksomitas, G.; Cinelis, G.; Migilinskas, D.; Stasiukynas, A.; Skrupskelis, M. 2014. *Skaitmeninės statybos įgyvendinimo Lietuvos versle, moksle ir viešuosiuose pirkimuose galimybių studija, įvertinant gerąją užsienio praktiką galimybių studija* (VP1-3.1-ŠMM-05-K-02-006). Vilniaus Gedimino Technikos universitetas, Vilnius, Lietuva.
- Hamnett, C. 2009. City centre gentrification: loft conversions in London's City fringe, *Urban Policy and Research* 27(3): 277–287. <http://dx.doi.org/10.1080/08111140903132200>
- Huang, W.; Lin, D.; Chang, N.; Lin, K. 2002. Recycling of construction and demolition waste via a mechanical sorting process, *Resources, Conservation and Recycling* 37(1): 23–37. [http://dx.doi.org/10.1016/S0921-3449\(02\)00053-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0921-3449(02)00053-8)
- Juodis, A. 2001. *Statyba Europoje: rinka, valdymas, plėtra: monografija*. Kaunas: Technologija, 186 p.
- Komisijos komunikatas Europos parlamentui, tarybai, Europos ekonomikos ir socialinių reikalų komitetui ir regionų komitetui. 2014. *Efektyvaus išteklių naudojimo galimybės pastatų sektoriuje*. Briuselis.

- Krutilova, M. O.; Avilova, I. P. 2014. The social and economic efficiency of investments in loft projects, *SWorld, The Effectiveness of Urban Redevelopment, Located in the Industrial Fund of the Operating Industrial Enterprises of the Belgorod*, 17–28 June 2014, Belgorod, Russia.
- Kulahcioglu, T.; Dang, J.; Toklu, C. 2012. A 3D analyzer for BIM-enabled life cycle assessment of the whole process of construction, *HVAC&R Research* 18(1–2): 283–293.
- Li, D. Z.; Chen, H. X.; Hui, E. C. M.; Zhang, J. B.; Li Q. M. 2013. A methodology for estimating the life-cycle carbon efficiency of a residential building, *Building and Environment* 59: 448–455. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.09.012>
- Lima, G. P.; Santos, A. L. 2015. Embodied energy on refurbishment vs. demolition: a Southern Europe case study, *Energy and Buildings* 87: 386–394. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.040>
- Marcinkevičiūtė, D.; Ambrasas, G. 2010. Apleistų karinės paskirties teritorijų konversija, *Mokslas – Lietuvos ateitis* 2(2): 43–48.
- Matulevičius, K.; Šliogerienė, J. 2011. Industriinių teritorijų konversija: užsienio šalių praktika, *Mokslas – Lietuvos ateitis. Statyba* 1–8.
- Migilinskas, D.; Ustinovichius, L. 2006. Computer-aided modeling, evaluation and management of construction projects according to PLM concept, *Lecture Notes in Computer Science, Cooperative Design, Visualization, and Engineering* 4101: 242–250.
- Migilinskas, D.; Popov, V.; Juocevicius, V.; Ustinovichius, L. 2013. The benefits, obstacles and problems of practical BIM implementation, *Procedia Engineering* 57: 767–774. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.097>
- Murphy, M.; McGovern, E.; Pavia, S. 2013. Historic building information modeling (HBIM), *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 76: 89–102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.11.006>
- Penttilä, H.; Rajala, M.; Freese, S. 2007. Building information modelling of modern historic buildings, case study of HUT, *Predicting the Future: 25th eCAADe Conference Proceedings*, Session 13: Modelling, 607–613.
- Poon, C. S.; Yu, A.; Ng, L. 2001. On-site sorting of construction and demolition waste in Hong Kong, *Resources, Conservation and Recycling* 32(2): 157–172. [http://dx.doi.org/10.1016/S0921-3449\(01\)00052-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0921-3449(01)00052-0)
- Popov, V.; Mikalauskas, S.; Migilinskas, D.; Vainiūnas, P. 2006. Complex usage of 4D information modelling concept for building design, estimation, scheduling and determination of effective variant, *Technological and Economic Development of Economy* 12(2): 9–98.
- Resource efficiency in the building sector*. 2014. Rotterdam: Ecorys and Copenhagen Resource Institute.
- Savickis, E. 2013. Darnūs pastatai – sveikas klimatas viduje ir draugystė su gamta, *Statyk!* 4: 24–26.
- Ustinovičius, L.; Popov, V.; Migilinskas, D. 2005. Automated management, modeling and choosing of economically effective variant in construction, *Transport and Telecommunication* 6(1): 183–189.
- Volk, R.; Stengel, J.; Schultmann, F. 2014. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — literature review and future needs, *Automation in Construction* 38: 109–127. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>
- World Urbanization Prospects. 2012. *The 2011 Revision Presentation at the Center for Strategic and International Studies (CSIS)*, 7 June 2012, Washington, USA.
- Zavadskas, E. K.; Antucevičienė, J. 2007. Multiple criteria evaluation of rural building's regeneration alternatives, *Building and Environment* 42(1): 436–451. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.08.001>
- Zavadskas, E. K.; Antucevičienė, J. 2008. Modelling multidimensional redevelopment of derelict buildings, *International Journal of Environment and Pollution* 35(2/3/4): 331–344.
- Zhang, X.; Wang, F. 2015. Life-cycle assessment and control measures for carbon emissions of typical buildings in China, *Building and Environment* 86: 89–97. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.01.003>

CONVERSION OF INDUSTRIAL BUILDINGS AND AREAS IN TERMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT BY USING BIM TECHNOLOGY: ANALYSIS AND FURTHER DEVELOPMENTS

M. Pavlovskis, J. Antucevičienė, D. Migilinskas

Summary

The article deals with abandoned industrial buildings and lands conversion concept, objectives, problems, beneficial results of a successful conversion for urban expansion, as a complex process of sustainable development. The tools for making effective management and usage of abandoned buildings decisions are considered. The article analyzes the 5D BIM model throughout the life cycle of the building. The foreign good practice is analyzed, where the modern digital technology is used for reconstruction of old buildings. The building information model application possibilities are examined throughout the lifespan of a building. The measures for CO₂ emission reduction in the construction sector are proposed. Finally, the model for conversion of abandoned buildings is proposed, based on MCDM and BIM technologies.

Keywords: BIM, Building Information Modeling, building life cycle, conversion, industrial areas, sustainable development, CO₂ emission.