



## INTEGRUOTŲJŲ GRAFINIŲ SKAITINIŲ MODELIŲ TAIKYMAS AUTOMATIZUOTAM PASTATŲ MODELIAVIMUI, ĮVERTINANT ŠILUMOSAUGOS IR EKONOMINIUS FAKTORIUS

Gintaris Cinelis<sup>1</sup>, Eugenijus Januškevičius<sup>2</sup>, Gerūta Kazakevičiūtė<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Pastatų konstrukcijų katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Trakų g.1, LT-01132 Vilnius, Lietuva. El. paštas: gc@mail.balt.net; ejs@ar.vtu.lt*

<sup>2</sup>*Kompiuterinio architektūrinio projektavimo laboratorija, Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Trakų g.1, LT-01132 Vilnius, Lietuva. El. paštas: ejs@ar.vtu.lt*

<sup>3</sup>*Grafinių sistemų katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius-40, Lietuva. El. paštas: giruta@fm.vtu.lt*

*Įteikta 2004 11 22; priimta 2005 01 27*

**Santrauka.** Straipsnyje nagrinėjamos projektuojamų ir esamų pastatų kompiuterinio modeliavimo ir energinės analizės teorinės ir praktinės problemos bei naujo sistemos MEA (Modeliavimas ir energetinė analizė) kūrimo etapo rezultatai. Išskiriami veiksniai, lemiantys programų komplekso MEA plėtrą. Aprašomas naujų sukurtų ir praplėstų esamų programinių priemonių funkcionalumas, geometrinių skaitinių modelių konstravimo, kompiuterinio pastato modelio ir jo duomenų bazės analizės metodai, įvairioms projektavimo stadijoms naudojamos duomenų struktūros, vartotojo sąsajos priemonės, euristiniai principais paremti variantinio projektavimo procedūros. Pateikiamas praktinis renovuojamo erdvinio pastato modelio variantų analizės ir įvertinimo, remiantis energiniais ir ekonominiais kriterijais, pavyzdys.

**Raktažodžiai:** kompiuterinis pastatų projektavimas, erdvinis modeliavimas, integruotieji grafiniai skaitiniai modeliai, šiluminis techninis vertinimas, variantinis projektavimas.

## INTEGRATED GRAPHICAL DIGITAL MODELS FOR THE MODELING AND ENERGY ANALYSIS OF BUILDINGS IN RELATION WITH ENERGY SAVING AND ECONOMICAL FACTORS

Gintaris Cinelis<sup>1</sup>, Eugenijus Januškevičius<sup>2</sup>, Gerūta Kazakevičiūtė<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Department of Building Structures, Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Trakų g.1, LT-01132 Vilnius, Lithuania. E-mail: gc@mail.balt.net; ejs@ar.vtu.lt*

<sup>2</sup>*Laboratory of Computer-Aided Architectural Design, Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Trakų g.1, LT-01132 Vilnius, Lithuania. E-mail: ejs@ar.vtu.lt*

<sup>3</sup>*Department of Graphical Systems, Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius-40, Lithuania. E-mail: giruta@fm.vtu.lt*

*Received 22 November 2005; accepted 27 January 2005*

**Abstract:** The paper concerns the theoretical and practical problems of computer aided modeling and energy analysis of newly designed and existing buildings and presents the new results of development of the system MEA (Modeling and Energy Analysis). The factors are pointed out determining the development of the program package MEA. The paper describes the functionality of the created and extended program tools, the methods of construction of the integrated geometric models and analysis of the building model and its database, the data structures used in different designing stages, the user interface, the variant design procedures based on heuristic principles. An example of the analysis and the evaluation of the design solutions of the building under renovation based on energy and economical criterions are presented.

**Keywords:** computer aided architectural design, spatial modeling, integrated geometric models, energy analysis, variant design.

## 1. Įvadas

Pastatų kaip aplinkos objektų energinio efektyvumo, jų kompiuterinio modeliavimo ir fizikinių procesų simuliacijos klausimams visose šalyse yra skiriama nemažai dėmesio. Mūsų tyrimais siekiama padėti efektyviau spręsti naujų ir esamų aplinkos objektų racionalaus šilumos energijos vartojimo, renovacijos priemonių ekonominio vertinimo, jų atsipirkimo uždavinius kaip pagrindinį metodikos elementą, taikant integruotuosius grafinius skaitinius modelius, realizuotus konkrečioje kompiuterinėje sistemoje.

Kiti tyrinėtojai, dirbantys kompiuterinio pastatų projektavimo ir urbanistinio planavimo (CAAD) srityje, publikacijose aprašo tiek conceptualias idėjas, tiek konkrečių tyrimų, susijusių su geometriniu objektų modeliavimu ir energiniu bei ekonominiu atžvilgiu efektyvių sprendimų paieška, rezultatus.

Šiame kontekste esminis kompiuterinio pastatų projektavimo klausimas yra programinių priemonių patogiam, eskiziniam erdviniam modeliavimui, įskaitant ir modelio tolesnės detalizacijos galimybę, klausimas. Šiuo atžvilgiu mes laikomės panašios į J. Monedero [1] nuostatos. Jos esmė ta, jog prieš naudojant išplėtotus žinių bazių, ekspertinių sistemų ir dirbtinio intelekto metodus, svarbu disponuoti adekvачiomis architektūrinio projektavimo prigimčiai priemonėmis, suponuojančiomis tokius bruožus, kaip architektūrinių formų kūrimo proceso interaktyvumas ir lankstumas, proceso valdymo paprastumas. Straipsnis [1] yra apžvalginis analitinis, konkrečios metodikos nesiūloma. Metodologine prasme mums yra artima projektavimo „iš viršaus žemyn“ (*top-down*) idėja, palaipsniui struktūrizuojant modeliuojamą objektą, ir su ja susiję parametrinio projektavimo, taip pat vienu objektų pakeitimo kitais idėjos [2]. Skirtingai nei mūsų metodikoje, šiame darbe ciklą *abstrakti schema – palaipsnė schemas detalizacija* siekiama realizuoti kuriant programinę aplinką žinių bazių pagrindu.

B. Kolarevic, teigdamas, kad projektavimo įrankiai turi pasižymėti interaktyvaus modeliavimo ir nuolatinio dinaminio formų manipuliavimo galimybe, pristatė grafinę manipuliavimo sistemą „Redraw“ [3]. D. Kurmann [4] sukūrė trimačių objektų modeliavimo priemones „Sculptor“, leidžiančias interaktyviai dinamiškai transformuoti projekto idėjas. S. Johnson [5] aprašė „Protean“ metodiką, iliustruojančią įvairių projektavimo įrankių, leidžiančių dirbti artima projektuotojo mąstymui „iš viršaus žemyn“ maniera, bruožus.

Darbas [3] remiasi iš principo skirtinga nei mūsų kontūro geometrijos formavimo strategija, naudojant reliacinius prototipų formų aprašus ir konstravimo linijų techniką. Eksperimentinę ypatingu spontaniškumu, specifiska sąsaja pasižyminčią erdvės erdvėje projektavimo sistemą „Sculptor“ [4], kurioje iš esmės eliminuojamas tikslų objektų konstravimo metodas, galima taikyti tik ankstyvoje konceptualaus projektavimo stadijoje. „Protean“ [5] ir mū-

sų siūloma sistema turi nemažą bendro metodologiniu atžvilgiu: siekiama sukurti lanksčias priemones, leidžiančias atlikti modelio topologijos pakeitimus, kurti objektų klasių bibliotekas, laipsniškai tobulinti geometriją, netaikant formalų sprendinių generavimo taisyklių. Tačiau „Protean“ elementų geometrinių modelių nėra pritaikyti tolesnei skaitinei analizei.

Darbe [6] kritiškai vertinama įvairių tipų atskirų geometrinių modelių pavienio taikymo idėja ir pristatomos eskizinio variantinio projektavimo priemonės, pavadintos *SDS'98*, jungiančios ir derinančios įvairių tipų reprezentacinius modelius viename integraliame modelyje. D. Eggink ir bendraautoriai aprašo erdvinio projektavimo aplinką „Smart Objects“ [7], leidžiančią projekto dalyviams interaktyviai keisti objektus ir komponuoti iš jų formalius sudėtinius darinius, manipuliavimo metu automatiškai kontroliuojant objektuose integruotų apribojimų atitikimą. E. Pradini [8] siekia supaprastinti, padaryti natūralesnį projektavimo procesą. Jis pateikia erdvinio modeliavimo, generuojant pradinės projektinės idėjos eskizus rankų gestais virtualiosios realybės aplinkoje, realizaciją „3D SketchMaker“. Pradinis eskizas vėliau gali būti detalizuojamas kuria nors CAD programa. R. Krawczyk [9] darbe pateikiama ląstelių automato (*cellular automata*) idėja ir realizacijos aprašas. Sistema, pradėta kurti dvimačiam uždaviniui spręsti, šiuo metu leidžia modeliuoti ir trijų matavimų erdvėje.

*SDS'98* sistemoje [6], skirtingai nuo mūsų metodikos, kaip pradinis yra naudojamas lėtas apdorojimo požiūriu turintis modelis. Kiti modelių tipai (dvimatės planų, pjūvių reprezentacijos) naudojami tik padėti vertinti projektą vizualiai įvairiais aspektais. Pradinės stadijos internetinė projektavimo priemonė „Smart Objects“ [7] skirta tik vienam konkrečiam geometrinių apribojimų kontrolės uždaviniui spręsti, neanalizuojant kitų modeliavimo aspektų. Inovatyvi E. Pradini metodika [8] taip pat yra pradinės tyrimų stadijos. Jai reikia specialios techninės ir programinės įrangos ir artimiausiu metu mūsų problemai spręsti nebūtų tinkama. R. Krawczyk siekia pritaikyti ląstelių automato sąvoką ir metodus architektūriniam sprendiniams modeliuoti (erdvės elementai, laikančiosios konstrukcijos, perdangos, atitvaros), matematiškai aprašytas ląstelių konfigūracijas interpretuojant kaip architektūrinės formas. Ląstelių erdvės geometrinė metafora yra panaši į mūsų metodikos koordinacinį tinklą, tačiau skiriasi šių priemonių naudojimo tikslas ir požiūris į sprendinių generavimo procesą. Mūsų darbe tai naudojama kaip vartotojo interaktyviai kontroliuojama ortogonaliosios geometrijos profilių generavimo priemonė, o ne kaip automatiškai formos gramatiką realizuojanti priemonė. Ląstelių automato metodika kol kas turi nemažą atvirų klausimų ir galėtų būti taikoma tik naujų konceptualių sprendimų paieškai.

Darbai, publikuoti šaltiniuose [10–13], yra mažiau tiesiogiai susiję su pastatų ir statinių geometriniu modeliavi-

mu, juose daugiau nagrinėjami projektinio proceso informacinio aprūpinimo, objektų energinių ir kitų fizikinių aspektų analizės, projektinių sprendinių vertinimo ir panašūs klausimai.

H. Naja [10] teigia, jog įprasti objektiškai orientuoti *CAD* modeliai yra nepakankami dėl per daug siauros duomenų apie objektą apimties. Daugiausia dėl šios priežasties, jo nuomone, neįmanoma realizuoti skirtingų įvairių projektuotojų požiūrių į pastatą. Siūlomas daugelio kriterijų pagrindu suformuotas duomenų bazių modelis *CEDAR*. Modelis buvo teoriškai pagrįstas ir praktiškai apčiuopiamas, derinant tarpusavyje skirtingų pastato projekto dalių parametrus. N. H. Wong ir A. Mahdavi [11] darbe nagrinėjamas pastatų modelių apibendrintos reprezentacijos konversijos į detalesnę reprezentaciją, priimtina įvairioms simuliacijoms, klausimas. Sistemoje *SEMPER* autorių siūlomas mazginės reprezentacijos metodas pradžioje pritaikytas tik ortogonaliosios geometrijos objektams. Straipsnyje aprašomi ir pirmieji bandymai, kai pastato geometrija yra sudėtingesnė. E. G. Vakalo ir bendraautoriių publikacijoje [12] pateikiami pastarojo metodo darbo rezultatai kuriant dirbtinio intelekto metodais, *OLE (Object Linking and Embedding)* technika paremtą programų aplinką, skirtą architektūrinėms formoms kurti ir analizuoti šilumos požiūriu. Straipsnyje analizuojama programų aplinkos struktūra, žinių reprezentavimo metodai, pateikiamas programų aplinkos naudojimo pavyzdys. E. Shaviv [13] aprašo racionalių energinių požiūriu pastatų projektavimo procesą ir priemones. Dinaminis simuliacijos modelis leidžia nustatyti projektinių alternatyvų rodiklį, pavadintą pastato naudojimo energijos indeksu ir įvertinantį šildymo, kondicionavimo, vėdinimo ir apšvietimo energijos suvartojimą grindų ploto vienam kvadratiniam metrui.

[10] pasiūlytas *CEDAR* modelis taikomas didelės apimties projektų daugiakriterinei analizei, kompleksiskai sprendžiant visas jo dalis. Mūsų sprendžiama problema yra konkretesnė, siauresnės apimties. Sistema *SEMPER* [11], skirtingai nei konvencionalios *CAD* sistemos, yra suprojektuota kaip aplinka, dinaminiais ryšiais susiejanti įvairius fizikinių procesų simuliacijos programų modulius. Tačiau tai neapima mūsų uždavinio turinio, nes darbe erdvės diskretizuojamos jau disponuojant suformuotu objekto geometrinio modeliu. Panašiai šiuo požiūriu problema yra sprendžiama darbe [12]: analizuojant objekto morfologiją ir šiluminę elgseną orientuojamasi iš esmės į sprendinių priėmimo metodų kūrimą, nekeliant operatyvaus objekto modelio geometrijos transformavimo problemos. Darbe [13] aprašyta metodika taikoma tik detalioje baigiamojoje projektavimo stadijoje, numatant didelę pradinių duomenų apimtį ir daugelio parametrų kontrolės strategiją.

## 2. Tyrimų tikslas

Šių tyrimų tikslas yra įvairios paskirties ir erdvinės bei konstrukcinės sandaros architektūrinių statybinių objektų (pastatų, pastatų kompleksų, pastatų dalių, architektūrinių ir konstrukcinių elementų) modeliavimas skirtingu jų detalumo aprašymo lygiu ir nagrinėjamų projektinių sprendimų variantų vertinimas šilumos saugos bei ekonominiu požiūriais.

Tyrimų rezultatų turinį sudaro automatizuota architektūrinių statybinių objektų modelių formavimo ir sprendimų vertinimo sistema *MEA*, apimanti metodiką ir universalios grafinio redaktoriaus aplinkoje funkcionuojančias programines priemones. Šios sistemos branduolį sudaro nagrinėjamų objektų integruotųjų grafinių skaitinių modelių kūrimo programinės priemonės, jungiančios įvairią informaciją apie objektus ir jų dalis. Tobulinant anksčiau pradėtą kurti automatizuotą sistemą, kuriant algoritmus ir duomenų struktūras, buvo įvertinami ir mūsų šalyje pastaruoju metu priimtų statybos norminių dokumentų reikalavimai, duomenys ir sprendimų vertinimo metodai.

Straipsnio tikslas – pristatyti naujo tyrimų etapo, kuriant ir tobulinant pastatų modeliavimo ir energinės analizės sistemą, rezultatus kompiuterinio projektavimo ir praktinio šių rezultatų naudojimo aspektais.

## 3. Sistemos *MEA* charakteringieji bruožai ir naujos struktūrinės funkcinės savybės

Viena svarbių aplinkybių, skatinančių tobulinti sistemą *MEA*, yra ta, jog pastaraisiais metais mūsų šalyje kitų Europos šalių pavyzdžiu pradėtas normuoti pastatų savitųjų šilumos energijos nuostolių rodiklis [14]. Jam apskaičiuoti reikia nemažai darbo sąnaudų. Svarbi reglamento „STR 2.05.01:1999. Pastatų atitvarų šiluminė technika“ ypatybė ta, jog skirtingų pastatų tipų ir jų atitvarų šilumos perdavimo koeficiento  $U$  (arba šiluminės varžos  $R$ ) vertės yra reglamentuojamos dviejų ribinių dydžių (norminės ir leistinosios koeficientų vertės), t. y. šis projektinis ar faktinis rodiklis iš principo turi tam tikras leistinąsias ribas. Kita svarbi ypatybė yra ta, jog vieno tipo atitvarų  $U$  normuojamos vertės net keletą kartų skiriasi nuo kitų atitvarų atitinkamų vertių. Pavyzdžiui, stogų jos yra penkis kartus mažesnės, palyginti su langais ir durimis. Dėl šių priežasčių paprastai tenka nagrinėti daugiau projektinio sprendimo variantų, kuriuose minėti rodikliai gali būti plataus diapazono ir įvairiai kombinuojami.

Bendrieji pastatų modeliavimo ir energinės analizės sistemos principai buvo aprašyti [15]. Sistema *MEA* yra sudaryta iš šių pagrindinių posistemų (modulių): pastatų ar jų dalių apibendrinto (konceptualaus) geometrinio modeliavimo; pastatų konstrukcijų detalios geometrinio modeliavimo; modelių (konceptualių ar detalizuotų) metrikos analizės; modelių energinės analizės, projektų variantų verti-

nimo ir rodiklių peržiūros.

Pagrindiniai bruožai, skiriantys aptariamą sistemą nuo daugelio pristatomų straipsnio įvade metodikų, yra šie:

- Sistemos branduolys ir pagrindinis informacinis objektas, integruojantis visus pagrindinius pradinius nagrinėjamo pastato duomenis, yra jo bendras erdvinis geometrinis modelis. Šis modelis savo ruožtu jungia pastato dalių ir elementų integruotus grafinius skaitinius modelius, kuriuose asocijuota struktūrizuota skaitinė ir simbolinė informacija.
- Architektūrinių ir konstrukcinių objektų modeliavimo posistemis metodologiškai pagrįstas pagrindinėmis projekcinio žodyno, objektų savitarpio pakeitimo, detalizavimo laipsnio, hierarchinių struktūrų koncepcijomis.
- Metodikoje skiriamos darbo proceso stadijos: konceptualaus modeliavimo ir detalizavimo. Ši stadija gali peraugti į detalaus konstravimo etapą.
- Detalizavimo laipsnio ir kitų minėtų koncepcijų realizavimas leidžia operatyviai formuoti geometrinius objektų modelius, keisti projekto „informacinį gylį“, pasiekiant norimą analizės rezultatų tikslumą.
- Vienoje sistemoje tarpusavyje suderintos suprojektuotos ir geometrinių modelių konstravimo bei jų geometrinės analizės dalys.

Naudojant grafinių skaitinių modelių konstravimo [16], CAD grafinės duomenų bazės analizės, duomenų struktūrų analizės ir efektyvumo lyginamuosius metodus, variantinio automatizuoto projektavimo ir euristinių procedūrų kūrimo principus, buvo išplėstos sistemos MEA funkcinės galimybės. Aprobuojami teiginiai ir informacinės technologijos sprendimai (algoritmai, duomenų struktūros, programinė realizacija) buvo imami kaip tinkami arba atmetami šios sistemos priemonėmis realizuojant realių architektūrinių objektų pavyzdžius ir vertinant jų rezultatus bei praktinį sistemos naudojimo patogumą.

Programinis sistemos MEA pagrindas iš esmės liko toks pats: *AutoCAD* grafinė duomenų bazė, jos analizės ir sąveikos su ja metodai; *AutoLISP* ir *C* kalbomis sukurti programiniai moduliai; *AutoCAD* meniu konstrukcijos, leidžiančios valdyti bendrą procesą ir inicijuoti atskirus modulius. Sistema projektuojama remiantis modulinės struktūros principais: atskiri programiniai moduliai, būdami sąlygiškai autonomiški, vykdo tam tikrą konkrečią užduoties dalį ir su likusiais moduliais sąveikauja per apibrėžtas duomenų struktūras.

Daugelyje minėtų posistemų yra įdiegta naujų elementų, išspręsta taip pat daugelis ankstesniame straipsnyje [15] iškeltų teorinių ir praktinių problemų. Sistema buvo tobulinama šiomis kryptimis: sukurtos naujos funkcijos, palengvinančios vartotojui modeliavimo procesą ir užtikrinančios analizės sistemos vidinį (t. y. vartotojo tiesiogiai nekontroliuojamą) funkcionalumą ir stabilumą; atlikti struktūriniai programiniai modulių pertvarkymai, siekiant geriau įvertinti atitvarų šiluminės renovacijos projekcinę situaciją; per-

tvarkytos anksčiau sukurtos sąsajos programinės priemonės tiek tarp programinio duomenų perdavimo ir jų konversijos į kitą duomenų tipą lygiu, tiek vartotojo ir sistemos vizualaus ryšio priemonių lygiu; patobulinti ir optimizuoti veikimo spartos požįūriu anksčiau sukurti algoritmai ir funkcijos, ištaisytos eksperimentų metu išaiškintos anksesnės versijos klaidos; atlikti sisteminiai ir modulių integravimo pertvarkymai, siekiant pritaikyti sistemą naujos versijos grafinio redaktoriaus reikalavimams.

### 3.1. Naujos modeliavimo ir analizės priemonės

Objekto modelio konstravimo strategijos esmę sudaro tai, kad šis procesas suprantamas kaip iteratyvus ir interaktyvus procesas, kai pradinė konceptuali forma pamažu virsta norimais tiksliais architektūriniu konstrukciniu sprendiniu. Šis požįūris ryškėjo, projektuojant sistemos MEA objektų modeliavimo, detalizavimo ir analizės pagrindines programines priemones, kurios padėtų:

- greitai ir sklandžiai generuoti objektų formas (profilius);
- formuoti projekcinį žodyną kaip grafinę skaitinę duomenų bazę, turinčią manipuliavimo jos elementais priemonių;
- patogiai modifikuoti profilius ir modelio elementus, sukuriant ir išsaugant jų detalizavimo lygius;
- laisvai pakeisti objekto dalis vienas kitomis ir manipuluoti jų detalizavimo lygiais;
- formuoti ir saugoti sudėtinių hierarchinių objektų struktūras;
- realizuoti variantinio projektavimo procedūras, leidžiančias įvertinti, fiksuoti ir palyginti projektinius sprendinius.

Formuojant projekcinį žodyną pastato modelis struktūrizuojamas vartotojo nuožiūra atsižvelgiant į jo architektūrinę konstrukcinę sandarą, skaidant jį į tūrinės dalis ir automatizuotai generuojant profilius. Kitu etapu formuojamos įvairaus detalumo laipsnio profilių detalizuotos formos. Profilų ir formų iteratyvaus pakeitimo programinės priemonės leidžia kurti konceptuales ir detalizuotas modelius, nuosekliai tikslinamus iki reikiamo laipsnio, ir formuoti objekto išorės formų ir vidaus struktūros alternatyvas. Šių principų iš esmės laikomasi ir kuriant pastato konstrukcijų aprašus, naudojamus integruotiems modeliams formuoti. Pastutinės stadijos skirtos projekcinį variantų geometrinei ir energinei analizei, jiems vertinti ir atrinkti, naudojant sukonstruotus geometrinius skaitinius modelius.

Tobulinant MEA programines priemones, buvo siekiama išlaikyti ankstesnę modelio lankstaus eskizinio formavimo stiliaus nuostatą, t. y. modelis pradžioje yra kuriamas palyginti lengvai ir greitai, tačiau apytikslių matmenų. Matmenys yra tikslinami vėliau. Šiuo požįūriu buvo sukurtos funkcijos, skirtos generuoti vertikaliosioms ir horizontaliosioms (vaizdas plane), vienos arba dviejų linijų lygiagrečioms atkarpoms (vidinės sienos ar pertvaros, vaizduojant jų konstrukcinį storį), ir vartotojui nurodant tik vieną vidi-

nį suskaidomos patalpos tašką. Sienų sandūros, esant dviguboms atkarpoms, gali būti „išvalomos“. Šiuo požiūriu jos daug universalesnėmis tapo atnaujinus anksčiau sukurtas pastato modelių dalių automatiško matmenų tikslinimo funkcijas: matmuo dabar gali būti tikslinamas ne tik naudojant jo skaitinę reikšmę, bet ir nurodant objektą – geometrinį pavyzdį modelyje. Šiose funkcijose taip pat panaikintas modelių dalių lygiagreto pasaulio koordinatų sistemos ašims reikalavimas (pvz., kampu pasukta pastato dalis). Ankstesnių realių architektūrinių objektų apibūdinimo metu išryškėjo funkcijų, leidžiančių vartotojui operatyviai grafiškai atrasti vidurio tašką tarp dviejų pasirinktų charakteringųjų taškų, taip pat atstumo tarp dviejų lygiagrečių atkarpų (arba plokštumų projekcijų) korekcijos, poreikis. Jos taip pat buvo sukurtos šioje sistemos versijoje. Išspręsta dažnai pasitaikanti praktikoje netikslios geometrijos modelių apdorojimo (pvz., netikslų ir geometriškai nekorektiškų kampų bei prakirptų ir persiklojančių atkarpų užtaisyimas), dirbant detalizacijos algoritmui, problema. Profilių kūrimo ir sienų kontūrų detalizacijos etapais gali būti generuojamos ne tik stačiakampės formos (erkeriai, rizalitai, fligeliai), naudojama speciali apskritimo lanką generuojanti funkcija, leidžianti tiksliau perteikti realias architektūrinės formas.

Specialus klausimas modelių detalizacijos etapu yra fasadų, taip pat vidaus sienų langų ir durų angų formavimas. Daugelis sutiktų realių didesnės apimties modeliujamų pastatų ar jų projektų turėjo reguliariai išdėstytų angų grupes. Tuo pasižymi nemaža viešosios paskirties pastatų (mokyklos, darželiai, viešbučiai, sanatorijos) ir daugiabučiai gyvenamieji namai, taip pat bendrabučiai. Būtina buvo sukurti ne tik pavienės angos „iškirtimo“ algoritmą, bet ir šios funkcijos variantą reguliariai angų grupei formuoti. Ši funkcija dažnai yra naudinga taip pat ir nevienodų tarpangių ir angų matmenų angų grupės atveju. Reguliaraus masivo generavimo principu paremta funkcija šiuo metu yra realizuojama kaip parametrizuota angų formavimo programa.

Sukūrus ir integravus papildomus specialius programinius modulius, aprašomoje sistemos *MEA* versijoje buvo pasiekta didesnio jos universalumo analizuojant įvairių, taip pat ir mišrių geometrinių modelių tipų metriką. Mūsų eksperimentai patvirtino, jog erdvinis objekto modelis gali būti sukonstruotas praktiškai bet kuria profesionaliam darbui skirta *CAD* sistema ir panaudotas analizės etapu *MEA* programinėmis priemonėmis. Iki šiol vartotojui būdavo keblu didesnės apimties modelyje vizualiai lokalizuoti nekorektiškas programinio apdorojimo požiūriu modelio vietas (plokštumas, kurių viršūnės geometriškai sutampa poromis tarpusavyje; „perlaužtas“ plokštumas, kurių ketvirtas taškas nėra toje pačioje plokštumoje su kitais trimis taškais). Šios problemos praktikoje labai padidindavo objektų analizės darbo sąnaudas. Šiuo atžvilgiu naujomis analizės programinėmis priemonėmis buvo praktiškai išbandyti įvairių

tipų ir įvairiomis sistemomis sukonstruoti trimačiai modeliai (*AutoCAD* kietųjų kūnų modelis, *Autodesk Architectural Desktop AEC* objektai, *Softdesk Auto-Architect* mišrus dvimatis ir trimatis modelis, *Graphisoft ArchiCAD* modeliai, *Bentley Microstation* modeliai). Pagrindinė pateikimo modelio analizei sąlyga – jis turi būti reprezentuojamas keturkampėmis ar trikampėmis plokštumomis. Paprastai bet kokio tipo modelius įmanoma konvertuoti į modelį, sudarytą iš šių plokštumų, nes *CAD* sistemose būna numatytos geometrinės informacijos perdavimo standartiniais formatais (*DXF*, *3DS*, ar *IGES*) priemonės. Į *AutoCAD* modelio erdvę importuoti geometrinių duomenų, paprastai turintys daugiakampių tinklų formą, yra lengvai paverčiami plokštumomis standartinė grafinių esinių išskaidymo komanda. Naujosios pirminės modelio kontrolės programinės priemonės leidžia patikrinti visas analizuojamas plokštumas pagal minėtus geometrinio korektiškumo kriterijus aptinkant klaidingai geometriškai sukonstruotus objektus.

Interaktyviai arba automatiškai paruošus modelį, kai kuriems atitvarų elementams arba jų grupėms priskiriami šiluminiai techniniai duomenys (pavyzdžiui, šiluminės varžos ar šilumos perdavimo koeficiento ir konstrukcijos tipo vertės). Svarbi praktinė technologinė atitvarų elementų išrinkimo ir jų aibių formavimo problema yra išspręsta, sukūrus keletą alternatyvių išrinkimo būdų: automatiškai išrenkamos absoliučiai visos modelio plokštumos; modelio elementai automatiškai išrenkami pagal nurodytą sluoksnio vardą; elementai automatiškai išrenkami, naudojant įvairius programuotus loginius filtrus; modelio elementai išrenkami naudojantis žinomais *AutoCAD* objektų išrinkimo metodais. Įprastas ankstesnės sistemos versijos būdas, kai kiekvienos modelio paviršiaus plokštumos negrafiniai duomenys yra asocijuojami su ja kaip vadinamieji papildomieji duomenys (*Extended data*), šioje versijoje buvo papildytas nauju klasikinių atributinių duomenų priskyrimo objektams metodu. Šis būdas ypač tinka, kai pastato modelis turi sudėtingesnės formos gaminių (durų, langų, vitrinų ir pan.) modelius, kurie tokiu atveju paprastai turi *CAD* blokų statusą. Šiuo atveju naudojama etiketė, kurioje atributine forma yra saugomos atitinkamos gaminio charakteristikos (šiuo atveju geometrinių gabaritai, šiluminė varža arba šilumos perdavimo koeficientas, architektūrinio elemento pavadinimas). Šis metodas turi privalumų, nes nereikalauja formaliai pakeisti gaminių blokų plokštumomis. Taigi sutalpoma darbo ir išlaikomas modelio vientisumas, o informacija nurodoma vienoje vietoje, apibrėžiant bloką.

### 3.2. Detalaus konstravimo posistemio, variantinės projektinių sprendimų analizės ir sąsajos galimybių išplėtimas

Detalaus modelio konstravimo posistemio, kuriame sprendžiamas pastato modelio atitvarų konstrukcijos grafinio skaitinio aprašymo uždavinys, funkcionavimo prin-

cipas buvo aptartas darbe [15]. Atitvarinių dalių konstrukcija automatizuotoje sistemoje formuojama šiais būdais:

- 1) automatizuotu būdu grafiškai aprašant atitvaros su pagedaujamosis šiluminėmis savybėmis skerspjūvio schemą;
- 2) naudojantis iš anksto parengtais konstrukcinių sprendimų grafiniais skaitiniais modeliais, saugomais sistemos duomenų bazėje.

Šioje sistemos versijoje pirmasis pastato erdvinio modelio atitvarinių dalių konstrukcijų formavimo būdas pritaikytas šiluminės renovacijos atvejui, t. y. vartotojas gali programiniu būdu apskaičiuoti reikiama atitvaros šiltinamojo sluoksnio storį, parinkti šiltinimo medžiagą ir atitvaros apdailą bei perskaičiuoti visuminę šiluminę varžą. Pabaigoje sistema automatiškai generuoja apšiltintos atitvaros skerspjūvio dvimatį brėžinį, kuriame vaizduojama jos skerspjūvio sandara, ir sukuria bloko aprašymą laikmenoje išorinėje atmintyje.

Variantinės energinės pastato projektinių sprendinių analizės procese naudojami integruotieji grafiniai skaitiniai dvimačiai (detalios konstrukcinių sprendimų reprezentacijos) ir erdviniai (pastato ir jo dalių reprezentacijos) modeliai. Energinio vertinimo rodiklius sistema skaičiuoja naudodama automatiškai išfiltruotus modelių atitvarinių dalių skaitinius ir tekstinius duomenis (konstrukcijų pavadinimai, šiluminės techninės charakteristikos, geometriniai dydžiai ir kt.).

Vartotojas, analizuodamas projektų variantų sprendimus ir naudodamas numatytas iteracines euristines procedūras, padedančias lengviau nustatyti sprendimo paieškos kryptį, gali atrinkti racionaliausius projektų erdvinius ir konstrukcinius sprendimus energiniu ir ekonominiu požiūriais.

Pastato projekto variantai sistemoje *MEA* formuojami iš esmės [15] aptartais būdais, t. y. keičiant pastato tūrinius sprendimus (pvz., formą, aukštumą), atitvarų dydžius (ilgį, plotį, aukštį), jų konstrukciją ir jos technines charakteristikas (šilumos perdavimo koeficientą  $U$ , šiluminę varžą  $R$ ). Kuriant pastato erdvinį modelį, architektūrinius objektų sprendimus patogiausia keisti pradinėje objektų detalizavimo stadijoje. Kai kuriuos atitvarų parametrus (pvz., kai kurių langų, redaguojant visą jų grupę, matmenis) operatyviai keisti yra keblu, tačiau paprasta pakeisti objektus vienus kitais (pvz., turinčius *AutoCAD* bloką statusą langų gaminius). Modelio, jo dalių ir elementų efektyvaus parametrų varijavimo posistemis yra rengiamas naujoje *MEA* versijoje. Atitvarų konstrukcinius sprendinius nesunkiai galima varijuoti bet kuriuo objekto kūrimo etapu, nes ši procedūra nėra susijusi su pastato modelio geometrijos pakeitimu. Šiuos sprendimus keisti vartotojui taip pat palengvina iš anksto parengta sprendimų duomenų bazė, kuri gali būti operatyviai papildoma dirbant. Sprendimų priėmimui palengvinti sistemoje buvo praplėstas vertinimo rodiklių sąrašas išvestinėmis šių rodiklių procentinėmis reikšmė-

mis, rodančiomis nagrinėjamo sprendimo varianto atitinkamų rodiklių suminių reikšmių dalis, tenkančias skirtingoms pastato atitvarinėms konstrukcijoms. Taip pat papildomai apskaičiuojami variantų savitųjų šilumos nuostolių norminių ir faktinių bei ribinių ir faktinių verčių skirtumai.

Pastato projekto variantai atrenkami operuojant pastato erdvinį sprendinių, atitvarų geometrinių parametrų, atitvarų konstrukcijų šiluminių rodiklių reikšmėmis ir lyginant variantus pagal formalius ir neformalius kriterijus. Pagrindiniai formalūs vertinimo kriterijai šiuo atveju yra energiniai (saviteji pastato šilumos energijos nuostoliai  $H_T$  [14] ir metinis šilumos suvartojimas  $Q_{met}$  [16]) bei ekonominiai (sutaupytos lėšos  $\Delta S$ , paprastasis atsipirkimo laikas  $P_{Birr}$  tikrasis atsipirkimo laikas  $PO$ ). Šių dydžių apskaičiavimo analitinės išraiškos yra pateiktos autorių straipsniuose ir specialioje literatūroje [14–16].

Sistemoje taip pat įdiegti nauji vartotojo ir programos sąsajos efektyvumą užtikrinantys elementai.

Analizuodamas ir apskaičiuodamas įvairius architektūrinių konstrukcinių sprendimų variantus, vartotojas gali geriau orientotis ir identifikuoti variantus, fiksuodamas pastato dalies ar konstrukcijos pavadinimą bei skaičiavimo numerį, pateikiamus vėliau programos rezultatų eilutėse. Vėlesniu etapu šios informacijos dažnai prireikia įvairioms pastato ar jo dalių projektinių variantų kombinacijoms sumuoti. Variantų rodiklių kitimą galima analizuoti rezultatus pateikus grafinę ir skaitinę formą.

Buvo sukurtos dvi atitvarinės konstrukcijos dvimačio modelio duomenų priskyrimo erdvinio modelio dalims procedūrų programinės priemonės. Papildančiųjų skaitinių duomenų (*Xdata*) pavidalą turinčios rodiklių išfiltruotos vertės šio proceso metu yra integruojamos su atitinkamais objekto bendro modelio paviršių esiniais. Pirmoji priemonė skirta patyrusiam vartotojui ir nėra susieta su papildoma komercine programine įranga. Antroji, skirta mažiau patyrusiam vartotojui, yra suintegruota su programa *Symbol Manager* (*Autodesk AEC* programinių modulių sudedamoji dalis). Pirmuoju atveju nėra vaizdžių sąsajų priemonių ir daugelis procedūrų atliekamos inicijuojant jas komandinėje grafinio redaktoriaus eilutėje. Antruoju atveju procedūros suintegruotos į loginę veiksmų grandinę, naudojant įvairias meniu technikas. Šiuo atveju alternatyvių simbolių rinkinys iliustruojamas grafiškai ir prireikus keičiamas jų vaizdavimo mastelis. Pirmojo atvejo pranašumas tas, jog programas gali naudoti ir nedisponuojantys papildomais komerciniais programų produktais vartotojai.

Kuriant šiuolaikišką sistemos sąsają ir gerinant jos interaktyvumą, buvo papildomai sukurta ir integruota keletas naujų dialogo langų, padedančių patogiau ir vaizdžiau įvesti objektų parametrus ir suprogramuoti būtini programų ryšiai tarp atskirų modulių. Sukurtos specialios vartotojų gerai įvertintos ekrano valdymo funkciniais klavišais priemonės, leidžiančios bet kuriuo metu, nepertraukiant

proceso, greitai keisti grafinio vaizdo ekrane dydį ir padėtį, operatyviai skaidyti grafinį langą, patogiai išdėstant vaizdus ir ortogonaliąsias projekcijas.

#### 4. Sistemos taikymas realiam projektui

Aprobacijai naudojant įvairių geometrinių ir tipologinių požiūriu objektų modelius, kai kurie *MEA* sistemos praktinių bandymų rezultatai buvo publikuoti ir anksčiau [15].

Sistemos galimybes, nagrinėjant projektinių sprendimų variantus, pailiustruosime remdamiesi nauju palyginti nedidelio atnaujinamo pastato Vilniuje pavyzdžiu (1 pav.).

Nagrinėjamas objektas nėra sudėtingas geometrinio modeliavimo atžvilgiu. Konstruojant jo geometriją, naudotasi sistemos *MEA* ankstesnėse publikacijose aprašytais bazinėmis, taip pat naujomis šiame straipsnyje pristatomomis priemonėmis. Konceptualaus modeliavimo etapu suformuoti trys profiliai (stačiakampiai gretasieniai), atitinkantys pastato dviejų aukštų ir stogo tūrius. Detalizacijos posistemio priemonėmis buvo tikslinami modelio matmenys, formuojamos vidaus sienos, perdangos, angos, langų ir durų blokai. Šiuo etapu taip pat buvo konstruojamas šlaitinis stogas. Vėliau apibendrintas stogo profilis *MEA* profilių pakeitimo priemonėmis automatiškai buvo keičiamas tikslesne forma, kartu jam suteikiant aukštesnį formos aprašymo detalumo lygį. Projekto variantai formuojami varijuojant konstrukcinius objekto sprendinius.

Trumpa objekto charakteristika: atnaujinamas dviejų aukštų su mansarda pastatas, bendrasis pastato plotas – 512,8 m<sup>2</sup>, statybinis tūris – 1640 m<sup>3</sup>, naudingasis plotas – 462 m<sup>2</sup>, pagalbinis plotas – 50 m<sup>2</sup>.

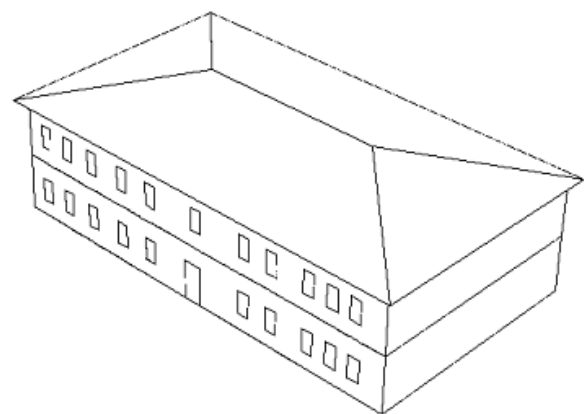
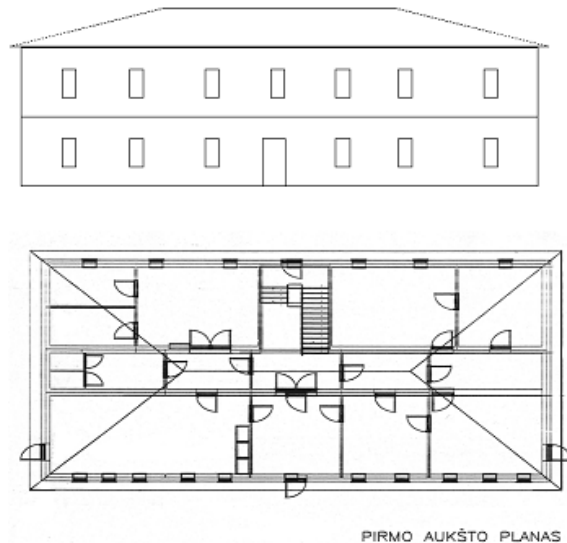
Esamų objekto konstrukcijų apibūdinimas: išorinės sienos – lengvojo betono blokelių mūras, perdangos – surenkamosios gelžbetonio plokščių, pertvaros – plytų mūro, stogo danga – asbocemenčio, langai – mediniai, durys – medinės, faneruotos.

Šiame pavyzdyje nagrinėjame nedidelį sprendinių variantų skaičių: esamą pastato situaciją ir du projektinius jo atnaujinimo variantus. Variantų atitvarinių konstrukcijų apibūdinimas:

**esama situacija** – stogas šlaitinis, šaltas; viršutinė perdanga gelžbetoninė, su dujų silikato blokelių šilumos izoliacija,  $R = 2,0 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ ; išorės sienos lengvojo betono blokelių,  $R = 1,8 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ ; langai dvigubo stiklo, mediniais rėmais,  $R = 0,2 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ ; durys medinės,  $R = 0,3 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ ;

**pirmasis variantas** – apšiltinta antrojo aukšto perdanga ( $R = 5,3 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ ), išorės sienos iš lauko pusės apšiltintos akmens vata ( $R = 3,8 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ ), esami langai pakeisti į sandarius langus su stiklo paketais ( $R = 0,5 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ ), durys pakeistos į duris, apšiltintas putplasčiu ( $R = 0,6 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ );

**antrasis variantas** – apšiltintas stogas ( $R = 5,3 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ ), išorės sienos iš lauko pusės apšiltintos akmens vata



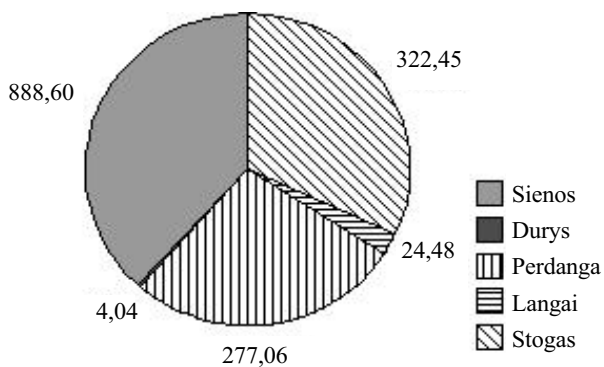
1 pav. Renovuojamo pastato Vilniuje fasadas, 1 a. planas ir kompiuterinis modelis

Fig 1. The facade of the building under renovation in Vilnius. (a ground floor plan and a computer model)

( $R = 3,8 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ ), esami langai pakeisti sandariais langais su stiklo paketais ( $R = 0,5 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ ), durys pakeistos putplasčiu apšiltintomis durimis ( $R = 0,6 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ ).

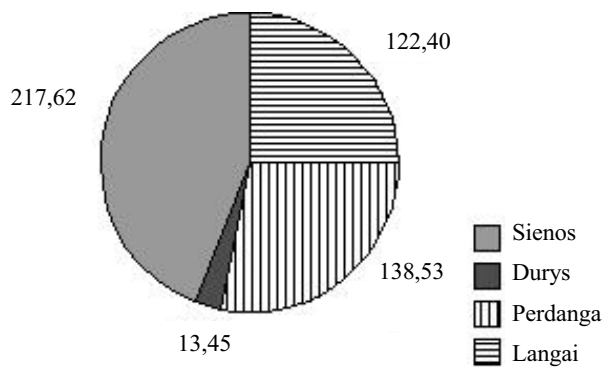
Pirmuoju analizės atveju pagrindiniu projekto variantų vertinimo rodikliu buvo imti savitieji šilumos energijos nuostoliai. 2, 3, 4 ir 5 pav. pateikti nagrinėjamo pastato atitinkamų konstrukcijų plotai ir pastato esamos būklės bei abiejų nagrinėjamų variantų teoriniai savitieji šilumos nuostoliai per atskiras konstrukcijas.

Analizuojant rezultatus, galima pastebėti, kad suminiai savitieji šilumos energijos nuostoliai abiem projektiniais variantais, kai apšiltinamos atitvaros, skiriasi nedaug, nes abiem atvejais yra šiltinamos visos pastato atitvaros (skirtumą sudaro tai, jog pirmu variantu neapšiltinamas šlaitinis stogas, o antru variantu neapšiltinama viršutinio aukšto perdanga) (6 pav.). Abiejų projektinių variantų savitieji šilumos nuostoliai yra mažesni už norminę jų vertę (HTN = 299,56 W/K).



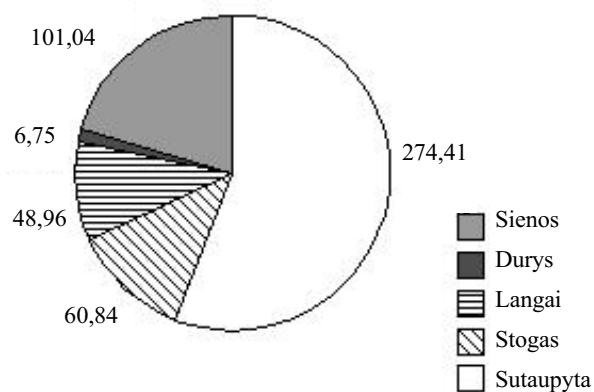
2 pav. Išorinių pastato atitvarų plotai, m²

Fig 2. Areas of the external building enclosure structures in m²



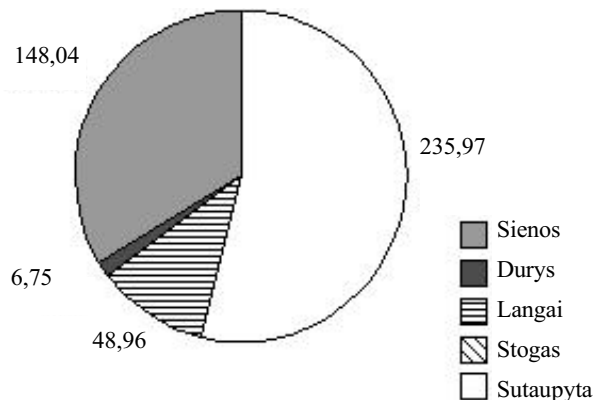
3 pav. Pastato šilumos nuostoliai (esama situacija), W/K

Fig 3. The building heat losses (the existing situation), W/K



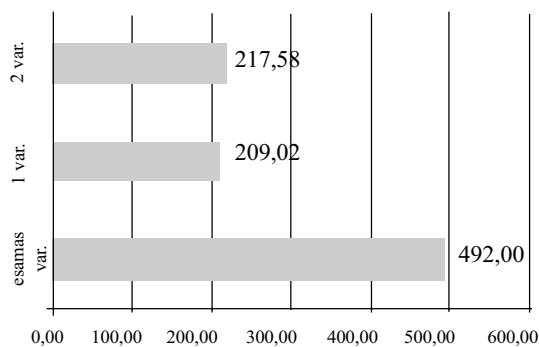
4 pav. Pastato šilumos nuostoliai (pirmasis variantas), W/K

Fig 4. The building heat losses (the first variant), W/K



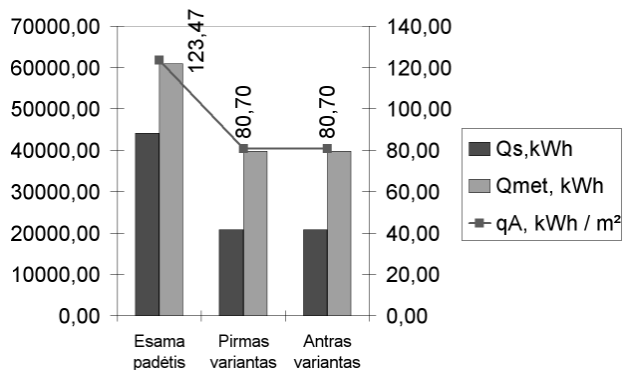
5 pav. Pastato šilumos nuostoliai (antrasis variantas), W/K

Fig 5. The building heat losses (the second variant), W/K



6 pav. Pastato konstrukcinių variantų savitieji šilumos nuostoliai, W/K

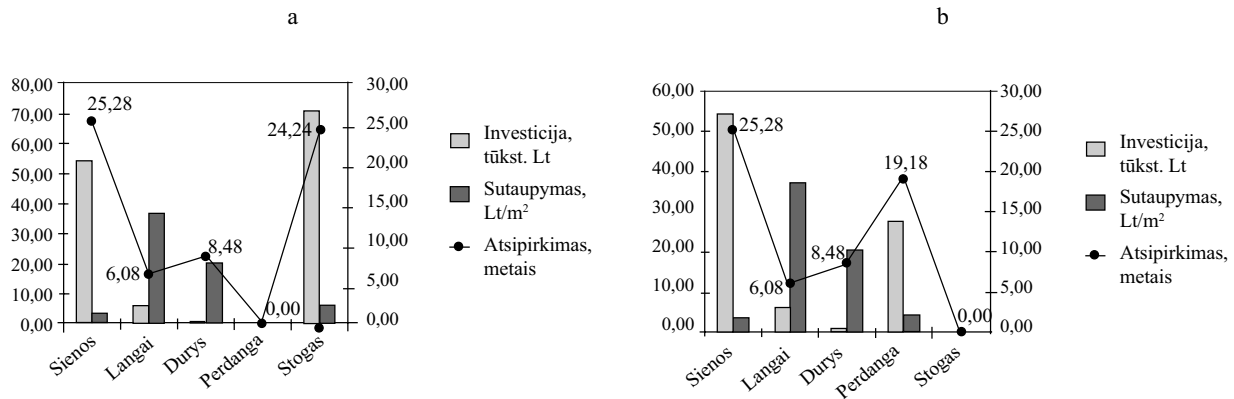
Fig 6. The building specific heat losses according to the variants of structural solutions, W/K



7 pav. Atnaujinamo pastato modelio variantinė projektinių sprendimų analizė ( $Q_s$ ,  $Q_{met}$  ir  $q_a$  reikšmių lyginimas)

Fig 7. The analysis of the project variant solutions of the building model under renovation (comparison of indices  $Q_s$ ,  $Q_{met}$  and  $q_a$ )





**8 pav.** Renovuojamo pastato variantų lyginimas: investicijos, sutaupytos lėšos ir atsipirkimo laikas (a – pirmas variantas, b – antras variantas)

**Fig 8.** Comparison of variants of the building under renovation: investments, savings and payback period (a – the first variant, b – the second variant)

Antruoju atveju pagrindinis projekto variantų vertinimo rodiklis buvo pastato metinis suvartojamos šilumos kiekis  $Q_{met}$ . 7 pav. pateikti apskaičiuoti visų nagrinėjamų variantų suminiai šilumos nuostoliai per pastato atitvaras  $Q_s$ , metinis suvartojamos šilumos kiekis  $Q_{met}$  ir lyginamasis suvartojamos šilumos kiekis  $q_A$ . Ekonominių skaičiavimų rezultatai pateikti grafiškai 8 pav.

Išanalizavus šio skaičiavimo rezultatus galima teigti, kad pirmasis šiluminės renovacijos variantas yra tinkamesnis (8 pav.). Šio varianto suminiai šilumos nuostoliai  $Q_s$  bei metinis suvartojamos šilumos kiekis  $Q_{met}$  yra mažesni, sutaupoma daugiau (67,46 Lt/m<sup>2</sup>, kai antru variantu sutaupome 64,25 Lt/m<sup>2</sup>), nors jį įgyvendinti reikia daugiau investicijų (132 271 Lt, o antruoju variantu – 89 038 Lt).

Skirtumai tarp variantų atitinkamų rodiklių nėra labai dideli, nes abiem atvejais atitvarų šiluminės charakteristikos atitinka šiandienos reikalavimus, o rodiklių reikšmių skirtumus lemia objekto variantų geometrija.

Šiuo pavyzdžiu siekta pademonstruoti kai kurias skirtingų projekto parametrų varijavimo ir jų įtakos tyrimo, dirbant automatizuotos sistemos aplinkoje, galimybes.

Svarbu yra tai, jog projektuotojas ir investuotojas, naudodamiesi sistemos *MEA* priemonėmis, gali kontroliuoti formalių energinių ir ekonominių rodiklių dydžius, iteraciškai analizuodami rezultatus tikslingai numatyti projektinių pakeitimų kryptis ir, įvertindami neformalius kriterijus, priimti galutinį sprendinį.

## 5. Išvados

Straipsnyje aprašyti nauji tyrimų etapo, plėtojant modeliavimo ir energetinės analizės sistemą *MEA*, rezultatai, iliustruojant jos funkcines galimybes praktiniu sistemos taikymo pavyzdžiu.

1. Dėl didelio normuojamų energinių parametrų kitimo, taip pat skirtingų tipų pastatų atitvarinių konstrukcijų

norminių rodiklių ryškaus skirtumo praktinėse situacijose dažnai nustatomos plačios projektinių sprendimų paieškos ribos. Siekiant padėti projektuotojui tikslingiau numatyti racionalaus varianto galimos paieškos kryptis, sistemoje numatyti išvestiniai rodikliai, leidžiantys įvertinti pagrindinių rodiklių verčių pasiskirstymą pagal pastato dalis ir atitvarų tipus bei kitus kiekybinius aspektus.

2. Dabartiniu tyrimų etapu pavyko pasiekti didesnio sistemos *MEA* universalumo jos praktinio taikymo požiūriu:

- sukurtos papildomos adekvatesnės realioms objektams geometrinių modelių formavimo ir redagavimo funkcijos;
- pradiniai originalūs pastatų erdviniai modeliai gali būti formuojami įvairiomis *CAD* sistemomis, juose gali būti naudojami įvairių tipų trimačiai geometriniai objektai;
- išspręstos erdvinio modelių geometrinio korektiškumo problemos, automatiškai tikrinant ir apdorojant *CAD* objektus specialiai sukurtais programinėmis priemonėmis.

3. Sukurti angų grupių didesnės apimties pastatų korpusuose automatizuoto formavimo algoritmai ir programiniai moduliai. Jie leidžia padidinti daugelio didesnių visuomeninių pastatų ir daugiabučių gyvenamųjų namų modelių konstravimo spartą ir bendrą darbo produktyvumą.

4. Sistema *MEA* tapo labiau nepriklausoma nuo specializuotų pramoninių programinių produktų. Vartotojui, norinčiam suformuoti integralųjį grafinį skaitinį analizuojamo objekto modelį, dabar nebūtina disponuoti specialiomis simbolių valdymo programomis.

5. *MEA* geometrinio modelio formavimo procedūros nebeapsiriboja ortogonaliosiomis profilių formomis: pastato fligeliai ir rizalitai gali būti orientuoti ne tik stačiu kampu, atskiros pastato dalys gali turėti apskritimo lanko formą.

6. Parengti papildomi negrafinių duomenų, integruotų

su grafinais objektais, algoritmai ir programinės apdorojimo priemonės. Tai leidžia analizuoti architektūrinių objektų modelius, turinčius architektūrinių elementų, tradiciškai apibrėžtų kaip CAD blokaus.

7. Formuojant projektinių sprendimų variantus euristiniais principais, galima varijuoti įvairiais objekto parametrais, stebėti grafine ir skaitine forma vertinamų variantų rodiklių kitimą, lyginti rodiklių reikšmes su norminių šilumos energijos nuostolių lygiu, analizuoti pradinių parametru įtaką galutiniam rezultatui ir spręsti kitus uždavinius.

8. Metodikos taikymas padėtų efektyviau spręsti kompleksinius šilumos energijos suvartojimo, pastatų atnaujinimo ekonominio vertinimo ir atsipirkimo, naujų objektų projektavimo, taip pat bendro aplinkos taršos mažinimo uždavinius.

### Literatūra

1. Monedero, J. Parametric design: a review and some experiences. *Automation in Construction*. Elsevier Science, Vol 9, Issue 4, 2000, p. 369–377.
2. Mitchell, W.J.; Liggett, R.S.; Tan M. The TOPDOWN system and its use in teaching: an exploration of structured, knowledge-based design. In: ACADIA '88, J. Bancroft (Ed.), 1988, Ann Arbor, MI, p. 251–262.
3. Kolarevic, B. Relational description of shapes and form relation. In: CAADRIA '97, Y. Liu (Ed.), Hinchu, Taiwan, 1997, p. 29–39.
4. Kurmann, D. SCULPTOR – how to design space. In: CAADRIA '98, T. Sasada (Ed.), Osaka, Japan, 1998, p. 317–326.
5. Johnson, S. Making models architectural, protean representations to fit architectural minds. In: ACADIA '98, Quebec, Canada, 1998, p. 354–365.
6. Morozumi, M.; Shimokawa, Y., Homma, R. Schematic design system for flexible and multi-aspect design thinking. *Automation in Construction*, Elsevier, Vol 11, Issue 2, 2002, p. 147–159.
7. Eggink, D.; Gross, M. D.; Do E. Smart Objects: Constraints and Behaviors in a 3D Design. In: eCAADe19. Education in Computer Aided Architectural Design in Europe. H. Penttila (Ed.), Helsinki, Finland, 2001, p. 460–465.
8. Pratini, E. New Approaches to 3D Gestural Modelling – the 3D SketchMaker Project. In: eCAADe19. Education in Computer Aided Architectural Design in Europe. H. Penttila (Ed.), Helsinki, Finland, 2001, p. 486–471.
9. Krawczyk, Robert J. Experiments in Architectural Form Generation Using Cellular Automata. In: eCAADe20. Education in Computer Aided Architectural Design in Europe. K. Koszewski, S. Wrona (Ed.), Warsaw, Poland, 2002, p. 552–555.
10. Naja, H. Multiview databases for building modelling. *Automation in Construction*, Vol 8, Issue 5, 1999, p. 567–579.
11. Wong Nyuk Hien, Mahdavi Ardeshir. Automated generation of nodal representations for complex building geometries in the SEMPER environment. *Automation in Construction*, Elsevier, Vol 10, Issue 1, 2000, p. 141–153.
12. Vakalo Emmanuel-George, Malkawi Ali M., Emdanat Samir S. An AI-based shell for linking thermal and form-making considerations. *Automation in Construction*, Elsevier, Vol 8, Issue 4, 1999, p. 455–462.
13. Shaviv Edna. Integrating energy consciousness in the design process. *Automation in Construction*, Elsevier, Vol 8, Issue 4, 1999, p. 463–472.
14. STR 2.05.01:1999. Thermal technics of envelopes of the buildings (Pastatų atitvarų šiluminė technika). Vilnius, 1999. 132 p. (in Lithuanian).
15. Kazakevičiūtė, G.; Cinelis, G.; Kamaitis, Z. Formation and automated energy analysis of integrated models of the envelope structures of public buildings. *Statyba* (Journal of Civil Engineering and Management), Vol VI, No 3. Vilnius: Technika, 2000, p. 147–157 (in Lithuanian).
16. EN 832:1998. Thermal Performance of Buildings. Calculation of Energy Use for Heating. Residential Buildings (Pastatų šiluminė būseną. Šildymui sunaudojamos energijos skaičiavimas. Gyvenamieji pastatai), 1998. 50 p. (in Lithuanian).

**Gintaris CINELIS.** Doctor, Assoc. Professor, Department of Building Structures. Vilnius Gediminas Technical University.

Research interests: computer graphics, computer aided design technologies and software, computer aided architectural design.

**Eugenijus JANUŠKEVIČIUS.** Master of Architecture, Laboratory of Computer-Aided Architectural Design, Vilnius Gediminas Technical University.

Research interests: computer graphics, computer aided design technologies and software, watermarking and information hiding.

**Gerūta KAZAKEVIČIŪTĖ.** Doctor, Assoc. Professor, Department of Graphical Systems, Vilnius Gediminas Technical University.

Research interests: computer-aided design systems, computer graphics, watermarking and information hiding.