

# FORMING AND AUTOMATED ENERGY ANALYSIS OF INTEGRATED MODELS OF THE PUBLIC BUILDINGS AND THEIR ENCLOSING STRUCTURES

G. Kazakevičiūtė , G. Cinelis & Z. Kamaitis

To cite this article: G. Kazakevičiūtė , G. Cinelis & Z. Kamaitis (2000) FORMING AND AUTOMATED ENERGY ANALYSIS OF INTEGRATED MODELS OF THE PUBLIC BUILDINGS AND THEIR ENCLOSING STRUCTURES, Statyba, 6:3, 147-157, DOI: [10.1080/13921525.2000.10531580](https://doi.org/10.1080/13921525.2000.10531580)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.2000.10531580>



Published online: 26 Jul 2012.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 71

---

## VIEŠOSIOS PASKIRTIES PASTATŲ IR JŲ ATITVARŲ KONSTRUKCIJŲ INTEGRUOTŲJŲ MODELIŲ FORMAVIMAS IR AUTOMATIZUOTA ENERGETINĖ ANALIZĖ

G. Kazakevičiūtė, G. Cinelis, Z. Kamaitis

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

### 1. Įvadas

Pastaraisiais metais vis labiau rūpinamasi energijos taupymu pastatuose ir šilumosauga. Leidžiami nacionaliniai norminiai dokumentai [1, 2, 3, 4], šiuolaikinių projektavimo sprendimų katalogai [5, 6], šia tema publikuojami straipsniai [7], kuriamos kompiuterių programos. Visa tai labai reikalinga, kai reikia projektuoti ir renovuoti objektus, atsižvelgiant į energetinius veiksnius.

Tačiau šiuo metu mūsų šalyje kol kas nėra metodikos, kuri leistų operatyviai analizuoti pastatų erdvinę ir konstrukcinę sandarą, kompleksiskai vertinti jų projektus energetiniu atžvilgiu. Šį uždavinį galima išspręsti panaudojant informacines technologijas. Naujai projektuojamo arba renovuojamo statybos objekto energetiniam įvertinimui reikia disponuoti geometrinių, fizinių ir ekonominių duomenų, sujungtų į geometrinių skaitmeninių objekto informacinį CAD modelį, visuma. Šiuo atveju integruotieji modeliai – tai įvairiarūšiai duomenys, tarpusavyje susieti remiantis tos pačios sistemos vidine duomenų baze. Integruotieji modeliai gali būti traktuojami kaip universali duomenų bazė, kuri gali būti panaudota atnaujinant projektavimo dokumentus objekto rekonstrukcijos atveju, nustatant energijos poreikius ir rengiant energetikos auditų medžiagą.

Mūsų tyrimų tikslas yra sukurti metodines ir programines naujai projektuojamų ir renovuojamų pastatų erdvinės ir konstrukcinės sandaros energetinės analizės priemones, kurios būtų suderintos su Lietuvos klimatologinių, šiluminės technikos ir kitų normų reikalavimais bei ekonominio vertinimo metodais ir duomenimis.

Straipsnyje aptarsime esamas pastatų energetinės analizės metodines ir programines priemones, mūsų sukurtų metodikų, sujungtų į vieną specializuotą CAD sistemą, skirtų grafiniams skaitmeniniams modeliams formuoti, bendrus bruožus ir skirtumus, pastato modelio

variantų formavimo ypatumus, energetiniu ir ekonominiu atžvilgiu vertinant erdvinius sprendimus, konstrukciją.

### 2. Pastatų energetinės analizės metodinių ir programinių priemonių apžvalga

Šiuo metu yra sukurta nemaža programų, skirtų automatizuoti įvairius statybinės šiluminės technikos skaičiavimus ir spręsti pastatų modeliavimo grafinius geometrinius uždavinius.

Pastaruju metu Lietuvoje naudojamos šios programos, skirtos įvairiems statybinės šiluminės fizikos uždaviniams spręsti [8]:

- ✓ META, ASI – skaičiuojami konstrukcinių mazgų temperatūriniai laukai;
- ✓ PEP („Pastato energetinis pasas“), ASI – nustatomas šilumos kiekio pastatuose suvartojimas;
- ✓ SMAIN2, ASI – skaičiuojamas nestacionarusis temperatūrinis režimas pastatuose;
- ✓ DRĖGMĖ, ASI – skaičiuojamas nestacionarusis drėgmės režimas pastatuose;
- ✓ algoritmai ir programos atitvarų šilumos perdavimo koeficientams skaičiuoti, atitvarų izoliacinių medžiagų storiui parinkti ir pan. (parašyti pagal SNIP, RSN).

Apžvelgus Lietuvoje sukurtas metodines ir programines priemones, galima teigti, kad:

- jomis sprendžiami tik atskiri daliniai pastato energetinės analizės uždaviniai,
- jos remiasi tik skaitiniais metodais, o grafiniai vaizdai turi tik iliustracinę paskirtį.

Tarp populiariausių užsienyje naudojamų programų yra nedaug tokių, kuriose būtų integruota grafinė skaitinė informacija, naudojama pastato erdvinės ir konstrukcinės sandaros analizei energetiniu atžvilgiu. Galima būtų paminėti amerikiečių programą *AutoArchitect+Energy* (*Autodesk Inc.*) [9] ir vokiečių ALLKLIMA 2000 (*Nemet-*

*schek GbmH*) [10], nors pastarojoje daugiau dėmesio skiriama inžinerinių sistemų projektavimui pastate nei pastato erdvinės ir konstrukcinės sandaros modeliavimui. Šiose programose naudojami klimatologiniai ir ekonominiai duomenys yra paimti iš vietinių normatyvinių dokumentų ir neatitinka Lietuvos sąlygų.

Specifinę grupę sudarytų programos, kuriose grafinė informacija integruota su skaitine, bet jos naudojamos projektuojant atskiras pastato dalis (pvz., langus) ar įrangą:

- ✓ *FRAME, Enermodal Engineering* – apskaičiuojamos langų šiluminės savybės ir parenkama langų konstrukcija ir orientacija pasaulio šalių atžvilgiu;
- ✓ Minėtoji *ALLKLIMA 2000, Nemetschek* – projektuojamos ir apskaičiuojamos pastatų inžinerinės sistemos (šildymo, vėdinimo ir vandentiekio kanalizacijos).

Skaitine informacija operuojančių programų pavyzdžiai yra šie:

- ✓ *Wärme-Dampf* (Vokietija) – leidžia varijuoti atitvarų konstrukcinius sprendimus, parenkant medžiagas, turinčias tam tikras charakteristikas, ir atlikti šilumos poreikio skaičiavimus renovuojamiems bei naujai statomiems pastatams.
- ✓ *Excel+Ebriga, Energie- und Umweltzentrum in Springe-Eldagsen* [11] – pasirinkus tam tikrus fizikinius parametrus, apskaičiuojamas pastato energetinis balansas.

Geometrinė informacija pastatų modeliams aprašyti yra naudojama visose šiuolaikinėse projektavimo sistemose. Populiariausios iš jų yra šios:

- ✓ *AutoCAD Architectural Desktop, Autodesk* (JAV) [12] – skirta kurti architektūriniams bei konstrukciniams pastatų ir statinių modeliams, skaičiuoti plotams ir tūriams.
- ✓ *ArchiCAD, Graphisoft* (Vengrija) [13] – skirta architektūriniam-statybiniam ir dizaino projektavimui, plotų, perimetrų ir projekto sąmatoms apskaičiuoti.
- ✓ *ALLPLAN FT, Nemetschek* (Vokietija) – skirta architektūriniam bei konstrukciniam projektavimui, plotų, tūrių skaičiavimui ir kt.
- ✓ *MicroStation TriForma, Bentley Systems* (JAV) – skirta architektūriniams ir konstrukciniams-statybiniam brėžiniams generuoti, projekto sąmatai skaičiuoti.

- ✓ *ArCon, Software* (Vokietija) (išversta į lietuvių kalbą, firma AGA) – skirta pastato architektūriniams brėžiniams generuoti ir apskaičiuoti plotams, tūriams ir atskirų elementų medžiagų kiekiams.

Kiekvieną iš šių sistemų galima adaptuoti specializuotiems uždaviniams (tarp jų ir energetinės analizės) spręsti. Tačiau tiesiogiai jos nėra tam skirtos.

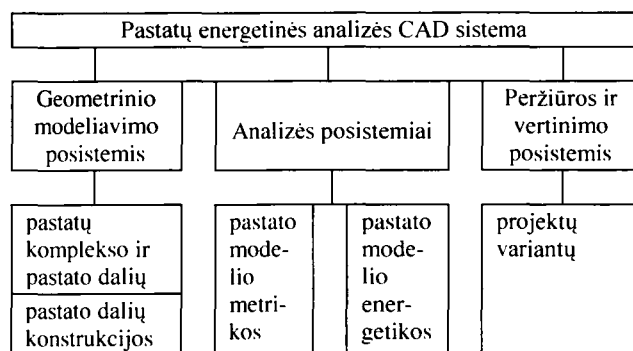
### 3. Pastatų erdvinės ir konstrukcinės sandaros modeliavimo ir energetinio vertinimo automatizuotos sistemos charakteristika

Specializuotą pastatų modeliavimo ir energetinės analizės sistemą realizavome atvirosios architektūrinio kompiuterinio projektavimo sistemos *AutoCAD* aplinkoje. Ji remiasi *AutoCAD* grafinio redaktoriaus ir programų kūrimo priemonėmis. Svarbiausi specializuotos sistemos elementai yra integruotieji grafiniai skaitmeniniai modeliai, jungiantys informaciją apie pastatą ir jo dalis, ir matematinės modelių apdorojimo ir sistemos funkcionalumą užtikrinančios priemonės.

Automatizuotą pastatų energetinės analizės sistemą šiame tyrimų etape sudaro tokios pagrindinės dalys (1 pav.):

- pastatų komplekso ar pastato ir jo dalių apibendrinto geometrinio modeliavimo posistemis;
- pastato dalių konstrukcijos geometrinio modeliavimo posistemis;
- pastato modelio metrikos analizės posistemis;
- pastato modelio energetinės analizės posistemis;
- projektų variantų vertinimo ir peržiūros posistemis.

Trumpai aptarsime visas sistemos dalis ir jos funkcionavimo ypatumus.



1 pav. Pastatų erdvinės ir konstrukcinės sandaros modeliavimo ir energetinės analizės sistemos struktūra

Fig 1. The structure of building modelling and energy analysis system

Pirmoji bei antroji metodikos dalys yra susijusios su pastatų ir jų dalių geometrinių modelių kūrimu. Geometriniai modeliai gali būti formuojami keliais būdais.

Pirmasis būdas realizuojamas, naudojantis „TiVa“ („Tipai ir variantai“) programų, įtrauktų į bendrą sistemą, kompleksu. Naudojantis programinėmis priemonėmis kuriami erdviniai (3D) profiliai, kurie gali būti įterpiami iš CAD duomenų bazės į grafinį langą, transformuojami bei detalizuojami. Taip formuojamas pastato apibendrintas erdvinis modelis, aprašomas išorinėmis atitvaromis. Pastato modelis sudaromas iš 3D stačiakampės geometrijos profilių. Išorinės atitvaros – 3D profilių plokštumos su angomis arba be jų. Toliau detalizuojant pastato erdvinį modelį, jo vidinis tūris gali būti skaidomas į atskiras patalpas, naudojant sukurtus 3D profilius.

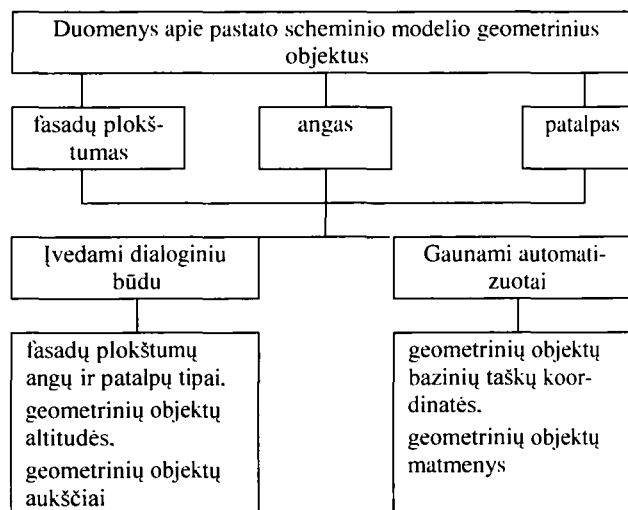
Pagrindiniai principai, įgyvendinti komplekse „TiVa“:

- operatyvus ir laisvas objektų formų (profilų) kūrimas;
- projektavimo žodyno iš 3D profilių sudarymas praktiškai jį realizuojant kaip grafinę duomenų bazę;
- ryšių tarp skirtingų profilių detalizacijos lygių nustatymas ir laisvas jų keitimas modelyje;
- metodų variantiniam projektavimui taikymas.

Kitas būdas, įtrauktas į sistemą, taip pat skirtas kurti projektuojamo ar rekonstruojamo pastato modelį ir jo dalis. Šiuo atveju taikomos skenavimo ir rastrinių vaizdų apdorojimo technologijos. Rastriniai vaizdai – tai pastato dvimačiai architektūriniai brėžiniai (aukštų planai, fasadai ir kt.), kurie imami iš esamų projektavimo dokumentų. Sukūrus pastato dalių rastrinius failus, jie perkeltami į *AutoCAD* aplinką. Toliau rastriniai vaizdai apdorojami programinio komplekso priemonėmis. Pirmiausia jie vektorizuojami, vėliau formuojami dvimačių aukštų planų scheminiai vaizdai, pastato duomenų failai, vėliau kuriamas pastato ir jo dalių erdvinis modelis. Toliau detaliau aptariamas šis programų kompleksas.

Skenuotos ortogonaliosios pastatų projekcijos (plantai, pjūviai, fasadai ar kt.) apdorojamos dinaminio vektorizavimo programinėmis priemonėmis: laisvos formos kreivių dinaminio generavimo programa ir „dinaminė polilinija“, leidžiančiomis operatyviai ir pakankamai tiksliai bet kurioje brėžinio vietoje generuoti atitinkamus CAD esinius. Rastriniai vaizdai taip pat gali būti apdorojami *Autodesk* specializuota programa *CAD Overlay*.

Nubraižius pastato aukštų planų scheminius brėžinius, programiškai išanalizavus vidinę kiekvieno scheminio CAD brėžinio duomenų bazę ir vartotojui dialoginiu būdu ją papildžius reikiama duomenimis, informacija apie modelio grafinius objektus struktūrizuojama ir išvedama į tekstinį duomenų failą (2 pav.).



2 pav. Pastato modelio duomenų failo struktūra

Fig 2. The structure of the building model data file

Remiantis skaitinių duomenų failu automatiškai generuojamas ir vizualizuojamas scheminis erdvinis pastato modelis. Erdvinio pastato modelio paviršiai: išorinės sienos, angos, perdangos – yra aprašomi keturkampėmis ir trikampėmis plokštumomis (*3Dface* grafiniai esiniai), vidinės sienos – polilinija, turinčia aukštį (*2.5D* grafiniai esiniai), kuri gali būti konvertuojama į *3Dface* plokštumas. Erdvinio pastato modelio paviršiai – *3Dface* plokštumos gali būti konvertuojamos ir į *Region* tipo grafinius objektus.

Bendras pastato modelio tūris yra suskaidytas į dalinius tūrius, imant tokią pastato modelio geometrinio aprašymo schemą: pastatas → pastato aukštai → aukštų patalpos.

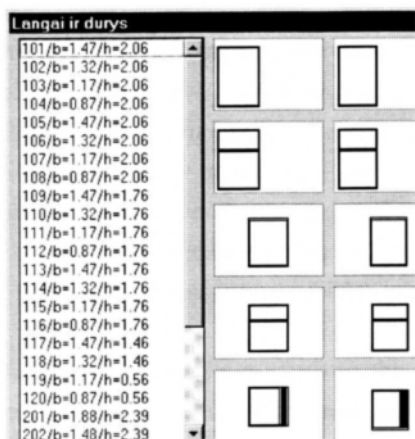
Pastato vidinį tūrį nuo išorės skiria atitvaros (sienos su langais ir durimis, stogas, nešildomo rūšio ir nešildomos pastogės perdanga), kurios priklauso atitinkamiems aukštams. Fasadų plokštumos geometriniame modelyje yra klasifikuojamos, priskiriant jas tam tikram tipui pagal sienų medžiagas ir jų konstrukcijas. Angų tipai yra siejami su skirtinga jas užpildančių langų ir durų medžiaga ir konstrukcija. Pastato patalpų tipai priklauso nuo jų vidaus temperatūrinio režimo.

Pastato modelio dalių rūšiavimas pagal paskirtį (išorinės ir vidinės sienos, rūšio sienos, cokolis, išorinių sienų langai ir durys, tarpaukštinės perdangos, stogai), tipus (pvz., patalpos) ir aukštus vėliau leidžia apskaičiuoti reikiamus geometrinius dydžius ir sudaryti pastato modelio atitinkamus erdvinius vaizdus ar ortogonaliausias projekcijas (planus, fasadus). Modelio vizualizaciją palengvina vartotojo interfeiso priemonės.

Aptarti metodai, kurie taikomi kuriant erdvinį pastato modelį ir jo dalis, turi šiuos bendrus bruožus:

- 1) modelių formavimas paremtas jų ortogonalija geometrija;
- 2) naudojami tie patys grafiniai esiniai (2.5D polilinija, 3Dface plokštumos);
- 3) galima modelio detalizacija įvairiuose modelio kūrimo etapuose, t.y. objekto išorinio kontūro, objekto paviršiaus, bendro objekto tūrio detalizacija.

Generuojant pastato modelį minėtaisiais būdais, formuojamos šios grafinės duomenų bazės: įvairios formos ir sudėtingumo profilių, pastato dalių – durų ir langų (3 pav.) bei pastato fasadų konstrukcinių medžiagų. Grafinės duomenų bazės galima pildyti tiek automatizuotai, tiek ir dialoginiu būdu.



3 pav. Durų ir langų grafinė duomenų bazė  
Fig 3. The graphical database of doors and windows

Reikia pažymėti, kad pastatas gali būti sumodeliuotas ir kitais būdais bei kitomis pramoninio kompiuterinio projektavimo sistemomis (pvz., *AutoArchitect*, *Softdesk Inc.*). Svarbiausia – tai turi būti CAD modelis, pateiktas elektronine forma.

Toliau aptarsime atitvarinių pastato dalių konstrukcijos modeliavimo būdus. Pastatų dalių konstrukcija aprašoma įvairiai sluoksniais išdėstomomis konstrukci-

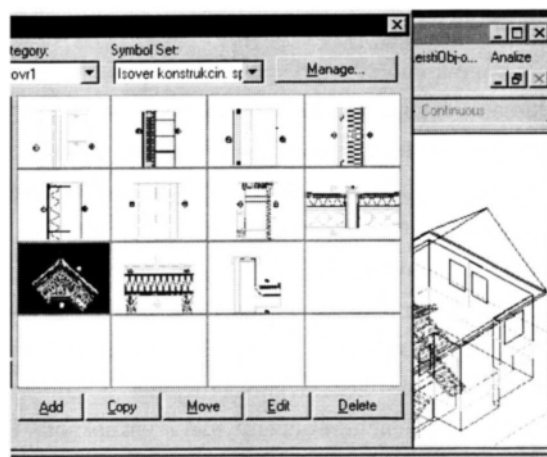
nėmis ir šilumą izoliuojančiomis medžiagomis bei ryšiais tarp sluoksnių.

Pastato modelio atitvarų konstrukcijos apibrėžimo klausimas automatizuotoje sistemoje sprendžiamas dvejopai:

- automatizuotu būdu grafiškai formuojant atitvaros su pageidaujamos šiluminėmis savybėmis skerspjūvio schemą;
- naudojantis iš anksto parengtais konstrukcinių sprendimų grafiniais skaitiniais modeliais, saugomais sistemos duomenų bazėje.

Pirmuoju būdu formuojant pastato erdvinio modelio atitvarinių dalių konstrukciją naudojami dvimačiai (2D) modeliai, kurie yra generuojami brėžinio plokštumoje, vaizduojant atitvaros skerspjūvio sandarą. Taip grafiškai įforminti 2D modeliai įvedami į grafinę duomenų bazę, iš kurios vėliau jie gali būti išrenkami ir modifikuojami. Formuojant atitvaros skerspjūvio sandarą apskaičiuojami ir objekto energetinei analizei reikalingi parametrai (šiluminė varža  $R$  ir šilumos perdavimo koeficientas  $U$ ). Grafiniai skaitmeniniai 2D modeliai turi CAD bloką, integruotą su atributiniais duomenimis (*Attributes*), arba esinių su papildančiais duomenimis (*Extended data*) formą.

4 pav. pavaizduota objekto modelio atitvarų konstrukcijų ir gaminių iš anksto parengtas šiuolaikinius šilumininius techninius reikalavimus atitinkančių (pvz., firma *Isover*) konstrukcinių sprendimų ir gaminių grafinės skaitinės duomenų bazės skaidrių meniu. Į šią duomenų bazę gali būti įtraukti *AutoCAD* ar kita kompiuterinio projektavimo sistema generuoti vektorinės grafikos blokai failai,



4 pav. Pastato modelio atitvarinių dalių konstrukcinių sprendimų grafinė skaitinė duomenų bazė  
Fig 4. The graphical digital database for structural solutions of the building model cladding parts

aprašyti struktūrizuotais papildomais tekstiniais ir skaitiniais duomenimis.

Įvairių pastato dalių konstrukcinių sprendimų rinkiniui kaip grafinei skaitinei duomenų bazei formuoti naudota efektyvi šios rūšies programinė priemonė – firmos *Softdesk Inc.* programa *AEC Tools*, o tiksliau jos dalis *simbolių valdymo programa (Symbol Manager)*. Siekiant užtikrinti patogią programinių modulių tarpusavio sąveiką ir maksimaliai automatizuoti darbo procesą, sukurta taikomoji programinė įranga yra programiškai suintegruota su *simbolių valdymo programa*.

Ir pirmuoju, ir antruoju atveju negrafiniai duomenų bazės elementų duomenys (konstrukcijų pavadinimai, šiluminės techninės charakteristikos) yra asocijuojami su geometrinio modelio elementais.

Pastato modelio metrikos analizės dalis skirta automatizuotai nustatyti modelio atitvarų plotus, patalpų tūrius bei perimetrus.

Vienu atveju informacija apie pastato modelio dalis išvedama ekrane:

*Command: Pagal sluoksnio vardą - s / rinkti plokštumas - r / dviejų plokštumų atitvaros sluoksniuose - d / visas modelis - v <v> ? r*

*Surinkite modelio plokštumas...*

*Select objects: w*

*First corner: Other corner: 35 found*

*Ar spausdinti ekrane apskaičiuotų plotų reikšmes ? <t>:*

*Apskaičiuotas plotas = 53,37 m<sup>2</sup>.*

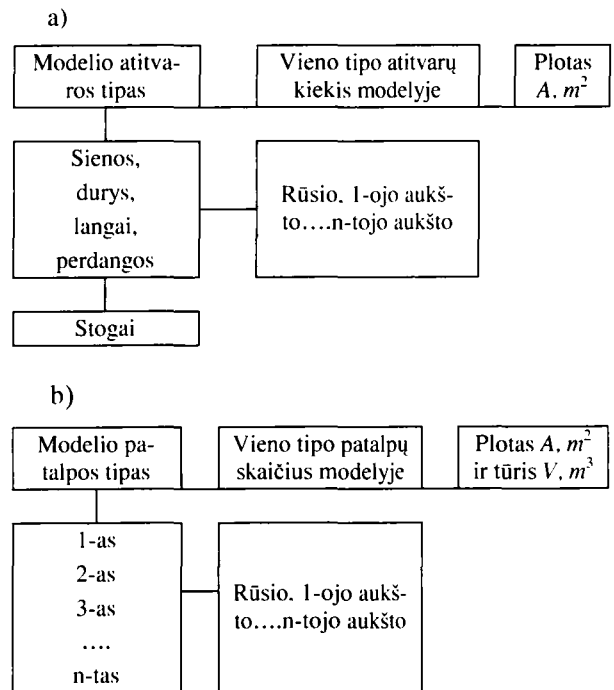
Informacija yra saugoma operatyviojoje atmintyje ir vartotojo pageidavimu gali būti sudedamos atskirų skaičiavimo rezultatų eilutės.

Kitu atveju ši informacija gali būti išvedama į tekstinį failą, kuriame atitvarų tipai rūšiuojami pagal sluoksnius. Tekstinio failo, sudaryto iš dviejų dalių, struktūra pateikta 5 pav. (a, b). Šiame faile pateikiamos ir pastato aukštų perimetrų skaitinės reikšmės.

Atliekant pastato energetinę analizę erdvinio modelio atitvarinių dalių tekstiniai ir skaitiniai duomenys (konstrukcijų pavadinimai, šiluminės techninės charakteristikos, geometriniai dydžiai) yra išfiltruojami ir naudojami energetinio vertinimo rodikliams skaičiuoti.

Specializuotoje sistemoje pastato energetiniam vertinimui gali būti numatytos ir vartotojo nuožiūra pasirenkamos įvairios skaičiavimo metodikos, kuriose atsižvelgiama į šalies normų reikalavimus („Pastato energetinis

pasas“, ASI; „Šilumos suvartojimas gyvenamiesiems namams šildyti norminiais pagal klimatą metais“, doc. M. Gedgaudas [14]; „Pagalbinė medžiaga konsultantui“, Būsto kreditavimo fondas [15] ir kt.). Aptariamoji atviro architektūros sistema leidžia lengvai aprašyti minėtųjų metodikų matematinės išraiškas.



**5 pav.** Tekstinio failo struktūra: a – 1-a tekstinio failo dalis, kurioje pateikti atitvarų plotai; b – 2-a tekstinio failo dalis, kurioje pateikti patalpų plotai ir tūriai

**Fig 5.** The structure of text file: a – the first part of the file, where areas of cladding components are presented; b – the second part of the file, where room areas and volumes are presented

Šiuo metu automatizuotoje sistemoje naujai projektuojamų ir renovuojamų pastatų energetiniam vertinimui yra taikomi du būdai.

Pirmuoju atveju energetinio vertinimo rodiklis yra pastato ar jo dalių atitvarų savitieji šilumos energijos nuostoliai, kurie yra normuojami naujajame statybos techniniame reglamente [1]:

$$H_T = \sum A_i \times U_i + \sum \Psi_i \times l_i, \quad W / K, \quad (1)$$

$A_i$  – atitvaros plotas,  $m^2$ ;  $U_i$  – atitvaros šilumos perdavimo koeficientas su pataisomis,  $W/(m^2 \times K)$ ;  $\Psi_i$  – pataisa dėl ilginio šalčio tiltelio,  $W/(m \times K)$ ;  $l_i$  – šalčio tiltelio ilgis,  $m$ .

Savitieji pastato šilumos energijos nuostoliai yra rodiklis, patogus vertinti projektų variantus, nes jis įvertina

objekto geometriją ir konstrukciją, tačiau neatsižvelgia į konkrečią statybos vietą, t. y. į klimatologines sąlygas.

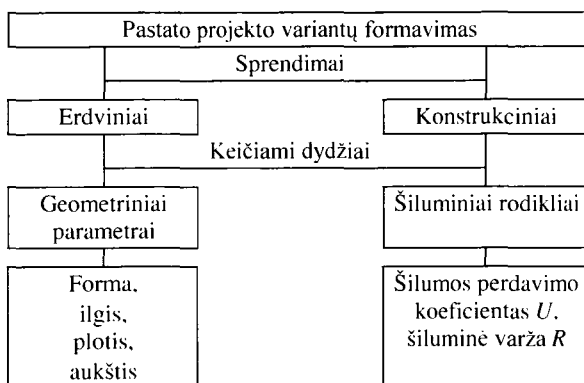
Antruoju atveju pastato energetinei analizei taikoma paprasta, bet pakankamai tiksli metodika [14]. Ji skirta apskaičiuoti, kiek per metus suvartojama šilumos gyvenamiesiems namams šildyti norminiais metais (tokiais, kurių šildymo sezono trukmė ir vidutinė lauko oro temperatūra tuo laikotarpiu atitinka duomenis, nurodytus respublikinėse statybos normose „Statybinė klimatologija“, RSN 156 – 94),  $Q_{met}$ , kurie susidaro dėl šilumos nuostolių per išorines atitvaras  $Q_s$  ir dėl patalpų vėdinimo  $Q_v$ . Metodika taip pat iš dalies įvertina vidinius šilumos pritekėjimus šildymo sezono laikotarpiu  $Q_b$ . Metinis šilumos suvartojimas namui šildyti apskaičiuojamas pagal formulę:

$$Q_{met} = 0,9 \times (Q_s + Q_v) - Q_b, \text{ kWh.} \quad (2)$$

Metodika taikoma renovuojamų pastatų energetinei analizei atlikti.

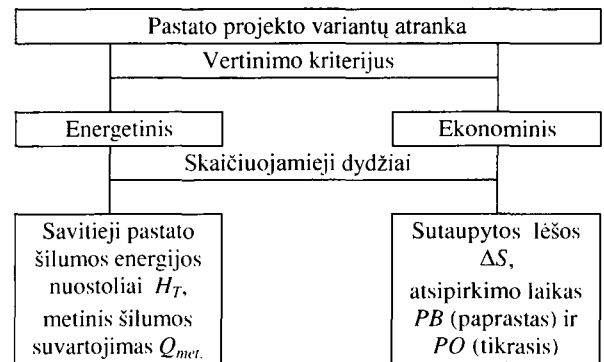
Projektų variantų vertinimo ir peržiūros posistemis leidžia atrinkti racionaliausius projektų erdvinius ir konstrukcinius sprendimus energetiniu ir ekonominiu atžvilgiais.

Pastato projekto variantai gali būti formuojami keičiant pastato erdvinius sprendimus, atitvarų dydžius bei jų konstrukciją (6 pav.). Pastato erdvinius sprendimus ir atitvarų dydžius apibūdina jų geometriniai parametrai (ilgis, plotis, aukštis ir pan.), o atitvarų konstrukciją – šiluminių rodiklių reikšmės, kurios priklauso nuo medžiagų išdėstymo atitvaros sluoksniuose ir ryšių tarp sluoksnių. Operuojant šiais dydžiais, projektai peržiūrimi ir įvertinama, kaip kinta jų energetiniai (pvz., savitieji pastato šilumos energijos nuostoliai) ir ekonominiai (populiariausias iš jų – paprastas atsipirkimo laikas, panaudojant nuosavas lėšas) rodikliai (7 pav.).



6 pav. Pastato projekto variantiniai sprendimai

Fig 6. The building project variant solutions



7 pav. Pastato projekto variantų vertinimo kriterijai

Fig 7. The building project variant evaluation criteria

Paprastas atsipirkimo laikas yra paprasčiausias ekonominio vertinimo būdas, apibrėžiamas investicijų ir metinių sutaupyto lėšų santykiu, naudojamas preliminariam projektų variantų vertinimui.

Specializuotoje sistemoje ekonominiai rodikliai yra sutaupytos lėšos ir atsipirkimo laikas (naudojant nuosavas lėšas ir naudojant skolintas lėšas). Apšilintus atitvaras šie rodikliai skaičiuojami pagal prof. V. Stankevičiaus, inž. G. Dapkaus ir dr. A. Burlingio metodiką [16].

#### 4. Projektų variantų formavimo ypatumai

Projektų variantų formavimo ypatumus nagrinėsime, remdamiesi realių objektų – naujai suprojektuoto ir renovuojamo – pavyzdžiais.

Pirmasis suprojektuotas objektas yra komercinės paskirties <sup>1</sup> (8 pav.). Šio objekto matmenys plane – 42,7 m ir 19,35 m, jis dviejų aukštų, stogas šlaitinis, skirtingų aukščių ir nuolydžių. Konstrukcinė sistema – nepilnas karkasas. Projektas realizuotas darbo dokumentų rengimo stadijoje.

Kompiuterinio modelio ypatumas yra tas, jog jis buvo generuojamas pramonine kompiuterinio projektavimo programa *AutoArchitect* (*Softdesk Inc.*). Aprobacijai jis buvo pasirinktas, norint patikrinti modeliavimo ir energetinės analizės sistemos galimybes dirbant su tokio pat pobūdžio ir sudėtingumo modeliais. Be to, nagrinėjamo geometrinio modelio visos sienos ir pertvaros yra grafiškai aprašytos ne viena, o dviem plokštumomis, t. y. sienos turi išorinį ir vidinį paviršių, o visi angose esantys gaminiai yra *AutoCAD* blokai. Tokių blokų analizė dabar-

<sup>1</sup> Projektuotojas – architektūrinė firma L&G (architektai L. Tumynienė, G. Vieversys, kompiuterinis modelis – G. Cinelio)

tinėje sistemos versijoje nėra įmanoma, todėl jie grafinio redaktoriaus priemonėmis turėjo būti pakeisti įprastinėmis plokštumomis.

Pirmieji aprašomo modelio programinės analizės bandymai parodė, jog kai kurie sienų paviršių grafiniai elementai, naudojant jų redagavimui įvairias programas, geometrinio atžvilgiu yra nekorektiški. Šie elementai turi būti identifikuojami ir pašalinami iš modelio. Tai gali būti viena iš pagrindinių kliūčių operatyviai modelio analizei, nes vartotojas turi turėti erdvinį modelių konstravimo patirties.

Parduotuvės modelio plokštumoms buvo priskirti atitvarų, kurios atitinka šiuolaikinių pastatų atitvaroms keliamus šiluminius reikalavimus, duomenys. Sienų skerspjūviai buvo konstruojami darbo eigoje, o ne naudojamos duomenų baze. Nagrinėjant šio pavyzdžio antrąjį variantą, stogas buvo keičiamas iš šlaitinio tipo į sutapdintą, taip pat keičiamas langų tipas.

Lentelėje pateikiami modelio ir projekto variantų energetinės analizės rezultatai.

Šiame pavyzdyje projektų variantų vertinimo rodiklis – savitieji šilumos energijos nuostoliai. Ilginių šilumos tiltelių  $\Sigma \Psi_i \times l_i$  ( $W / K$ ) kol kas metodika nevertina, nes šilumos nuostoliai dėl šio veiksnio sudaro nedidelę bendros jų apimties dalį.

Analizuojant rezultatus galima pastebėti, kad suminiai savitieji šilumos energijos nuostoliai abiejuose variantuose skiriasi nedaug, nes projekto pakeitimai, didinantys nuostolius ir juos mažinantys, beveik kompensavo vienas kitą. Tačiau kartu iš esmės buvo pakeistas ir pakartotinai įvertintas architektūrinis konstrukcinis

kartotinai įvertintas architektūrinis konstrukcinis pastato sprendimas.

Naujai projektuojamo pastato modelio variantų energetinės analizės rezultatai

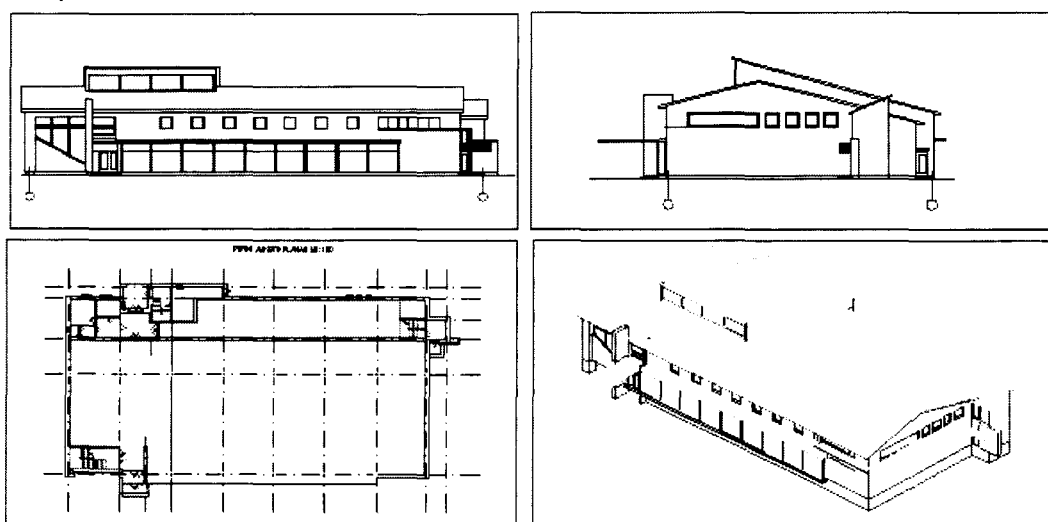
The energy analysis results of the newly designed building model variants

Variantai	Atitvarų plotų suma $\Sigma A_i$ , $m^2$	Atitvarų savitieji šilumos energijos nuostoliai $H_T$ , $W/K$
1	2127,92	916,031
2	1864,54	912,701

Antrasis objektas – renovuojama mokykla (Utenos „Vyturių“ vidurinė mokykla; Žemės ūkio projektavimo institutas, Kaunas, 1989 m.) (9 pav.). Mokyklą sudaro 5 korpusai: trijų aukštų 3 mokomieji korpusai, sporto salė ir dviejų aukštų valgykla. Pastato sienos – iš betono blokų, langai – dvigubi, pagerintų apkaustų, rūšio perdanga – gelžbetoninė, stogas – plokščias, su rulonine danga. Jo matmenys plane – 90,8 m ir 64,6 m.

Kompiuterinis modelis buvo generuojamas specializuota automatizuoto modeliavimo ir energetinio vertinimo sistema, naudojant programų kompleksą „R\_pastatas“ (renovuojamas pastatas).

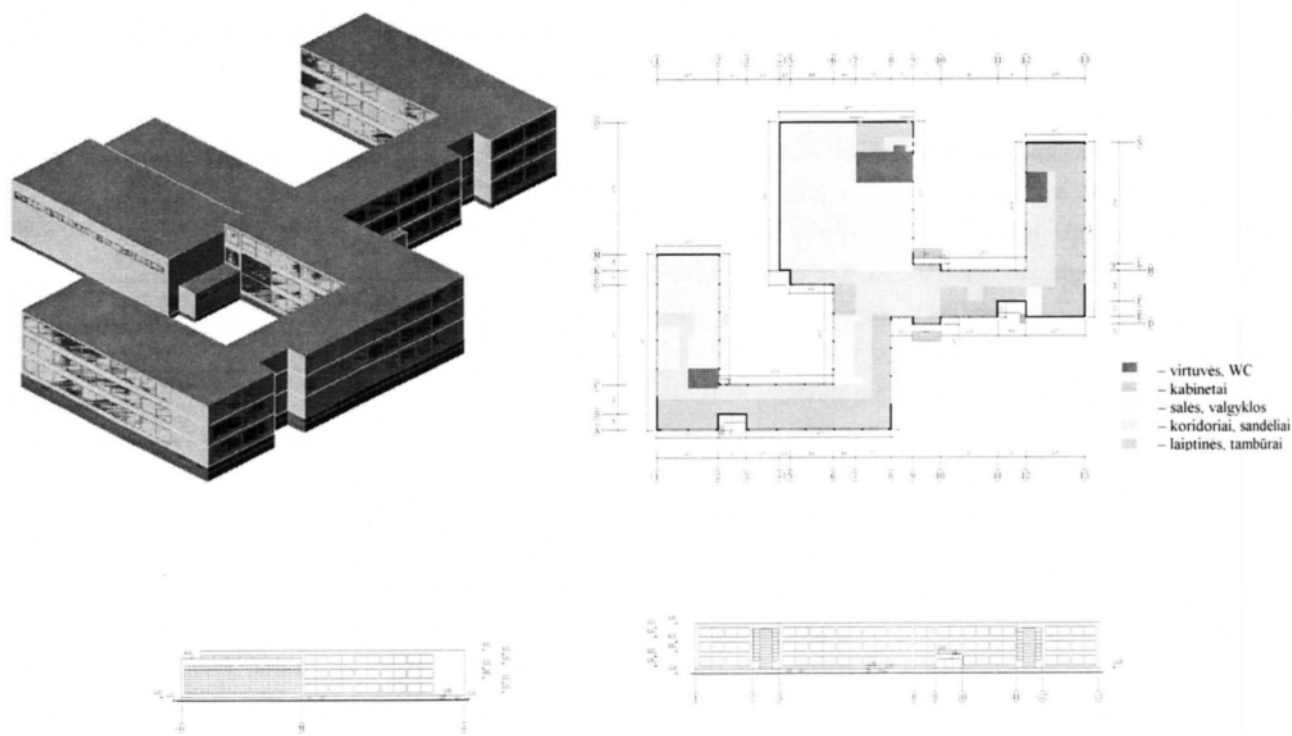
Pastato geometrinis vektorinis modelis buvo suformuotas remiantis tekstiniu duomenų failu, prieš tai išnagrinėjus ir programiškai apdorėjus įprastinius projekto dokumentus. Geometrinis modelis, kurio atitvaroms (išorės sienoms, langams, durims, stogui ir rūšio perdangoms)



8 pav. Naujai suprojektuoto objekto Marijampolėje kompiuterinis modelis – 2 fasadai, planas

Fig 8. The computer model of a newly designed object in Marijampolė. 2 elevations, floor plan





9 pav. Renovuojamos mokyklos Utenoje kompiuterinis modelis, 2 fasadai, 1-o aukšto planas

Fig 9. The computer model of the school under renovation in Utena, 2 elevations, ground floor plan

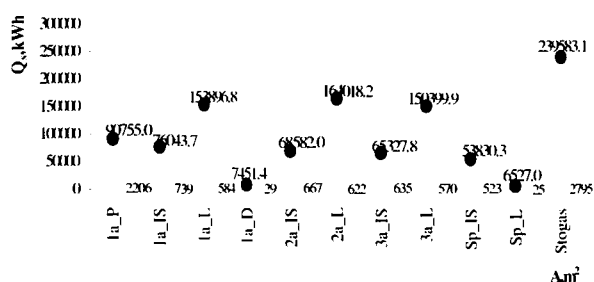
buvo priskirta šiluminio rodiklio (šilumos perdavimo koeficiento  $U$ ) reikšmė, vėliau be kliūčių automatizuotu būdu buvo analizuojamas metrikos, energetiniu bei ekonominiu atžvilgiu.

Nagrinėjami renovuojamo pastato modelio variantai: pirmasis variantas – atspindintis esamą objekto būklę; antrasis – plokščio stogo renovacija, įrengiant šilumos izoliacinį sluoksnį ir šiuolaikinę hidroizoliacinę dangą (apšiltinto stogo varža  $R = 3,5 m^2 \times K / W$ ); trečiasis – esamų sienų šiltinimas iš išorės, apdailos sluoksniui panaudojant plonasluoksnį tinką (apšiltintų sienų varža  $R = 3,5 m^2 \times K / W$ ); ketvirtasis – panaudojamos tos pačios priemonės, kurios pateiktos antrajam ir trečiajam variantams.

10 pav. pavaizduotas šilumos nuostolių pasiskirstymas per pastato atitvaras pirmojo varianto atveju. Projekto variantų šilumos nuostolių kintamos dalies energetinės analizės rezultatai pateikti grafiškai (11 pav.).

Renovuojamo objekto projekto variantų pagrindinis vertinimo rodiklis – pastato metinis šilumos suvartojimas  $Q_{met}$ , skaičiuojamas pagal (2) formulę. 11 pav. pateikiami apskaičiuoti suminiai šilumos nuostoliai per skirtingas atitvaras  $Q_s$  ir lyginamasis šilumos suvartojimas  $q_A$ . Eko-

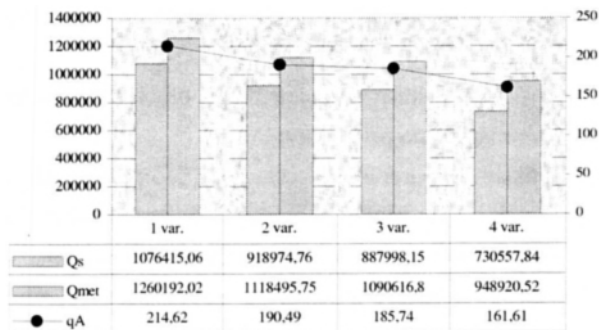
### $Q_s$ - A priklausomybė



10 pav. Pastato šilumos nuostolių  $Q_s$  priklausomybė nuo jo atitvarų plotų  $A$  ir nuo varžų  $R$  (1 variantas). čia: Ra\_P – rūšio perdanga ( $R = 1 m^2 \times K / W$ ), 1a\_IS, 2a\_IS, 3a\_IS, Sp\_IS – 1, 2, 3 a. sporto salės išorinės sienos ( $R = 1 m^2 \times K / W$ ), 1a\_L, 2a\_L, 3a\_L, Sp\_L – 1, 2, 3 a. sporto salės langai ( $R = 0,39 m^2 \times K / W$ ), 1a\_D, 2a\_D, 3a\_D, Sp\_D – 1, 2, 3 a. sporto salės durys ( $R = 0,4 m^2 \times K / W$ ), stogas ( $R = 1,2 m^2 \times K / W$ )

Fig 10. The dependence of the building heat losses  $Q_s$  upon its areas  $A$  of the cladding parts and heat resistivity  $R$  (first variant), here:

Ra\_P – basement ceiling ( $R = 1 m^2 \times K / W$ ), 1a\_IS, 2a\_IS, 3a\_IS, Sp\_IS – 1, 2, 3 a., outer walls of the sport hall ( $R = 1 m^2 \times K / W$ ), 1a\_L, 2a\_L, 3a\_L, Sp\_L – 1, 2, 3 a. sport hall windows ( $R = 0,39 m^2 \times K / W$ ), 1a\_D, 2a\_D, 3a\_D, Sp\_D – 1, 2, 3 a. sport hall doors ( $R = 0,4 m^2 \times K / W$ ), the roof ( $R = 1,2 m^2 \times K / W$ )



**11 pav.** Renovuojamo pastato modelio variantų  $Q_s$ ,  $Q_{met}$  ir  $q_A$  reikšmių palyginimas

**Fig 11.** Comparison of indices  $Q_s$ ,  $Q_{met}$  and  $q_A$  of variants of the building model under renovation

nominė renovuojamo objekto charakteristika yra sutaupytosios lėšos  $\Delta S$  ir tikras atsipirkimo laikas, naudojant nuosavas lėšas  $PO$ . Apšiltinus stogą (2 var.),  $\Delta S = 6,8 \text{ Lt/m}^2 \times \text{metai}$  ir  $PO = 18 \text{ metų}$ . Apšiltinus išorinės sienas (3 var.),  $\Delta S = 8,8 \text{ Lt/m}^2 \times \text{metai}$  ir  $PO = 16,6 \text{ metų}$ .

Išanalizavus rezultatus galima teigti, kad suminiai šilumos energijos nuostoliai  $Q_s$  ir kartu pastato metinis šilumos suvartojimas  $Q_{met}$  bei lyginamasis šilumos suvartojimas  $q_A$ , visuose variantuose skiriasi, nes projekte atlikti konstrukciniai pakeitimai, t. y. apšiltintas plokščias stogas bei išorinės sienos, dėl to sumažėja  $Q_{met}$  (11 pav.). Šilumos nuostoliai per atitvaras priklauso ne tik nuo jų konstrukcijos varžos, bet ir nuo jų ploto, todėl kuo didesnis atitvarų plotas ir mažesnė varža, tuo didesni šilumos nuostoliai (10 pav.). Kai didesnis atitvaros plotas ir kartu didinama jos varža, šilumos nuostoliai per atitvarą gali sumažėti daugiau nei esant mažesniai jos plotui.

Šiais pavyzdžiais siekta pademonstruoti kai kurias skirtingų projektų parametrų varijavimo ir jų įtakos tyrimo, dirbant automatizuotos sistemos aplinkoje, galimybes.

## 5. Specializuotos kompiuterinio projektavimo sistemos tobulinimo kryptys

Tobulėjant šiuolaikinėms informacijos technologijoms, kartu didėja ir vartotojo poreikiai, siekiama kuo mažesniais laiko sąnaudomis realizuoti geros kokybės projektus, efektyviai atlikti jų analizę. Erdvinio modeliavimo ir energetinės analizės sistemos aprobacija realių objektų pavyzdžiu leido numatyti jos tobulinimo kryptis.

Šiuo metu kvalifikuotai sistemos priemonėmis gali naudotis patyręs kompiuterinio projektavimo specialistas,

dirbantis sistemos *AutoCAD* aplinkoje. Daugumą šioje sistemoje numatytų operacijų yra paprasta atlikti, tačiau vartotojui gali kilti sėkmingo jų jungimo į didesnes procedūras ir smulkių, tačiau specifinių redakcinių pataisymų problemas. Kai kurios operacijos yra programiškai realizuotos skirtingose *AutoCAD* versijose, kas sudaro nepatogumų praktiškai ją eksploatuojant. Šios problemos galėtų būti išspręstos, sukūriant šiuolaikinę sistemos interfeisą ir adaptuojant visas funkcijas vienai *AutoCAD* versijai.

Labai svarbus yra pastato erdvinio modelio kūrimo etapas. Šiame etape architektūrinius objektų sprendimus patogiausia yra keisti pradinėje objektų detalizavimo stadijoje. Kai kuriuos projekto parametrus (pvz., atskirų langų, redaguojant visą jų grupę, matmenis) operatyviai keisti yra keblu, tačiau paprasta yra pakeisti objektus vienus kitais (pvz., turinčius *AutoCAD* blokų statusą langų gaminius). Todėl tikslinga sukurti parametrizuotus, t. y. tam tikromis savitarpio priklausomybėmis principu argumentas-funkcija aprašytus objektus ir jų redagavimo algoritmus tipiškiesiems projektavimo procedūrų atvejams.

Dabartinėje sistemos versijoje yra numatyta erdviųjų modelių, sudarytų iš plokštumų ir papildytų negrafinais duomenimis (*Extended data*), vidinės duomenų bazės filtravimo ir analizės procedūra. Tokios duomenų struktūros gerai tinka tokių pastato dalių, kaip sienos, stogai, perdangos ir panašiais atvejais. Tačiau sistema būtų žymiai universalesnė, jei ji būtų papildyta įvairių CAD blokų, asocijuotų su atributiniais duomenimis, apdorojimo algoritmais. Jie natūraliai galėtų būti taikomi tam tikrų pastato gaminių modelių (pvz., langų, durų) atveju.

Kaip jau buvo minėta, pastato modelis gali būti sukurtas nebūtinai straipsnyje aptariamoms sistemos priemonėmis. Apdorojant modelį, suformuotą kitomis programinėmis priemonėmis ar pramoninėmis CAD sistemomis, pasitaikančios jame klaidos turi būti ieškamos dialoginiu būdu, dėl to didėja darbo sąnaudos. Todėl tikslinga būtų sukurti priemones, laidžiančias operatyviai automatizuotu būdu identifikuoti problematiškus modelio elementus.

Projektinių variantų vertinimui ir sprendimų priėmimams palengvinti turėtų būti praplėstas pagrindinių ir pagalbinių rodiklių sąrašas.

## 6. Išvados

Pastatų automatizuotos modeliavimo ir energetinės analizės sistemos programinėmis priemonėmis suformuo-

ti realių pastatų geometriniai modeliai, varijuojant jų detalumo laipsnį. Suformavus pastatų modelių projektų sprendimų alternatyvas, buvo atlikta energetinė ir ekonominė objektų ir jų dalių analizė. Atlikus variantinį automatizuotą projektavimą ir analizę padarytos šios išvados:

1. Kompiuterinis pastato modelis gali būti parengtas tiek straipsnyje aptariamoms sistemos priemonėmis, tiek ir kitomis pramoninio kompiuterinio projektavimo sistemomis. Tačiau šis modelis turi būti sudarytas iš konkrečių tipų (*3Dface, Region*) geometriniu atžvilgiu korektiškų grafinių objektų.

2. Architektūrinius objektų sprendimus (pagrindinių tūrių formas, matmenis, aukšto aukštį, aukštingumą ir pan.) patogiausia yra keisti pradinėje objektų detalizavimo stadijoje. Objektų atitvarų konstrukcinius sprendimus nesunkiai galima varijuoti bet kurioje objekto kūrimo stadijoje, nes ši procedūra nėra susijusi su pastato modelio geometrijos pakeitimu.

3. Priimti konstrukcinius sprendimus vartotojui palengvina iš anksto paruošta grafinė skaitmeninė duomenų bazė, kuri gali būti operatyviai papildoma darbo procese.

4. Naujai projektuojamo objekto variantų parinkimo pagrindinis vertinimo kriterijus šiuo metu specializuotoje sistemoje yra savitieji šilumos energijos nuostoliai  $H_7$ , nes šis rodiklis patogus vertinti projektų variantus, t. y. įvertina objekto geometriją ir konstrukciją, tačiau neatsižvelgia į konkrečią statybos vietą. Renovuojamo objekto variantų analizei naudojama paprasta, bet pakankamai tiksli šiuo metu šalyje taikoma metodika, pagal kurią skaičiuojamas metinis šilumos suvartojimas  $Q_{met}$  pastatui šildyti.

5. Projekto variantų parinkimas ekonominiu aspektu atliekamas tuomet, kai yra apšiltinamos atitvaros. Ekonominiai projektų variantų vertinimo kriterijai yra sutauptos lėšos  $\Delta S$  ir atsipirkimo laikas  $PB$  (paprastas) arba  $PO$  (tikrasis).

6. Formuojant projektų variantus, vienu metu gali būti keičiami skirtingi dydžiai: geometriniai parametrai ir šiluminiai rodikliai. Taip galima išbandyti keletą alternatyvų ir parinkti energetiniu ir ekonominiu atžvilgiu racionaliausią erdvinį ir konstrukcinį sprendimus.

7. Eksperimentas, atliktas realių objektų pavyzdžiu, leido numatyti specializuotos sistemos tobulinimo kryptis:

- daugelis procedūrų yra paprastos ir todėl lengvai valdomos, tačiau pasinaudoti visomis sistemos tei-

kiamomis galimybėmis gali tik patyręs CAD vartotojas;

- tikslinga sukurti parametrizuotų objektų formavimo ir redagavimo priemones;
- tikslinga parengti alternatyvių duomenų struktūrų (pvz., CAD bloką, acocijuotų su atributiniais duomenimis) programines apdorojimo priemones;
- tikslinga sukurti priemones, padedančias automatiškai lokalizuoti modeliavimo klaidas.

## Literatūra

1. STR 2.05.01:1999. Pastatų atitvarų šiluminė technika / Aplinkos ministerija. Vilnius, 1999. 132 p.
2. STR 2.01.03:1999. Statybinių medžiagų ir gaminių šiluminių techninių dydžių deklaruojamosios ir projektinės vertės / Aplinkos ministerija. Vilnius, 1999. 25 p.
3. RSN 159 – 95. Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas. Vilnius, 1995. 78 p.
4. RSN 156 – 94. Statybinė klimatologija / Statybos ir urbanistikos ministerija. Vilnius, 1995. 134 p.
5. Statau šiltą namą '97. Pagalbinė priemonė projektuotojams ir statybininkams. Vilnius, 1995. 81 p.
6. NORGIPS gipso kartono plokščių statybos sistema. Pagalbinė priemonė projektuotojams, statybininkams ir individualiems statytojams. Vilnius: Statybos literatūra. 1999. 68 p.
7. Energijos taupymas būste // Statyba ir architektūra. 1999, Nr. 5. 76 p.
8. V. Barkauskas, V. Stankevičius. Pastatų atitvarų šiluminė technika. Kaunas: Technologija, 1997. 298 p.
9. Reference Manual. Energy. Softdesk, 1995. 56 p.
10. Работаем с программным обеспечением фирмы Nemetschek (Allklima 2000. Решения Nemetschek по проектированию инженерных сетей // САПР и графика. 1999, ноябрь. Москва, с. 17–19.
11. Design and Renovation of Buildings to promote energy saving: Report on the training course for Baltic architects / Environmental Centre for Administration and Technology. Riga, 1994. 5 p.
12. AutoCAD Architectural Desktop R2. User's Guide. Autodesk, 1999. 802 p.
13. Г. Елин, А. Конюхов. Выход версии ArchiCAD 6.0: событие месяца, а возможно, и года // САПР и графика. Москва: Из-во «Открытые системы». 1998, август, с. 83–87.
14. M. Gedgaudas, S. Paulauskaitė, M. Tamoševičius. Šilumos suvartojimas gyvenamųjų namų šildymui norminiais (pagal klimatą) metais: Mokslinio darbo ataskaita. Vilnius, 1998. 17 p.
15. Energetikų auditorių mokymo kursai (mokymo medžiaga). Vilnius: Efektyvios energetikos mokymo centras, 1999. 267 p.
16. V. Stankevičius, G. Dapkus, A. Burlingis. Pastatų atitvarų apšiltinimo atsiperkamumas. Kaunas, 1997. 19 p.

Įteikta 2000 04 04

## FORMING AND AUTOMATED ENERGY ANALYSIS OF INTEGRATED MODELS OF THE PUBLIC BUILDINGS AND THEIR ENCLOSING STRUCTURES

G. Kazakevičiūtė, G. Cinelis, Z. Kamaitis

### Summary

The problem of energy saving and managing in buildings has become recently more acute.

The article concerns the modelling and energy analysis problem of the spatial and structural solutions in newly designed buildings or those under renovation. The results of that task serve as a base for defining thermal indices of the project at different design stages.

The core of the developed automated system is formed of integrated graphical digital spatial models of the parts of buildings. These models include different kind of structured geometric and non-geometric (physical, economical) information about the object. The method proposed is based on the open architecture CAD system and operates in the AutoCAD environment.

The automated building modelling and energy analysis system consists of such main parts: the subsystem of general geometric modelling of the building or building complex, the subsystem of the geometric modelling of the main building parts and structural components, the subsystem of analysis of models' geometry, the subsystem of analysis of models' energy, the subsystem of the project variants evaluation.

Modelling approaches for various design tasks, appropriate parts and the system possibilities are described in the article. According to definite design task intensions different methods were applied to the object.

During the approbation the principles put into the system, functional peculiarities, revealed the advantages and disadvantages of it were checked in practice. Two projects were chosen for the experiment (a shop and a school). These objects were different in architectural form, size, number of levels and other parameters. The buildings were modelled by various software tools but, in general, the approbation consisted of two stages:

1. The construction of geometric models and varying of geometric and structural parameters.
2. The energy analysis of integrated geometric models and comparison of the project variants or renovation measures.

Specific heat losses and annual consumption of heat energy are used as the main energy-related evaluation indices of the project.

An expert (an architect and/or an engineer) has a simple and intuitive tool as a set of operations for geometric transformations and calculation of project indices because the system is provided with modern user interface. It allows the user to work with the building projects operating in one graphical environment.

The proposed method could be used by interested experts as a tool for controlling thermal and energy indices at various design stages, searching for rational architectural forms and structural solutions. It takes into account the latest requirements of Lithuanian building regulations concerning heat energy saving.

---

**Gerūta KAZAKEVIČIŪTĖ.** PhD student (1994). Department of Engineering Graphics, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU). Saulėtekio al. 11, LT-2040 Vilnius, Lithuania. E-mail: k.geruta@is.lt

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

---

**Gintaris CINELIS.** Doctor. Department of Building Structures, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU). Saulėtekio al. 11, LT-2040 Vilnius, Lithuania. E-mail: g.cinelis@saf.ktu.lt

Doctor (CAAD), Moscow Civil Engineering Institute (1989). Research interests: methods of quantitative analysis in CAAD (mathematical models, computer graphics, CAD technologies and software).

---

**Zenonas KAMAITIS.** Doctor Habil, Professor. Director of International Studies Centre, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Saulėtekio al. 11, LT-2040 Vilnius, Lithuania. E-mail: tsc@ts.vtu.lt

Doctor (1968). Expert member of Lithuanian Academy of Sciences. Author and co-author of more than 150 publications, including 6 books. Research interests: concrete structures and bridges, materials, durability, monitoring, and refurbishment.