

ATNAUJINTŲ PASTATŲ ENERGIJOS SUVARTOJIMO ANALIZĖ
IR ATSIPERKAMUMO MODELIAVIMASAudrius Ruzgys¹, Robertas Volvačiovas², Česlovas Ignatavičius³

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹audriusruzgys@gmail.com; ²robertas.volvaciovass@vgtu.lt; ³ceslovas.ignatavicius@vgtu.lt

Santrauka. Senų pastatų atnaujinimas būtinas norint efektyviai vartoti šilumos energiją. Šiam tikslui pasiekti reikia pagerinti tokių pastatų išorinių atitvarų termoizoliacines charakteristikas. Atnaujinant senus pastatus, vienas iš svarbiausių uždavinių – nustatyti, kokį efektą pastatų energiniam efektyvumui suteiks taikomos atnaujinimo priemonės. Metodikos, skirtos išorinių pastato atitvarų atnaujinimo poveikio energiniam efektyvumui nustatyti, pateikiamos galiojančiuose statybos techniniuose reglamentuose. Tačiau susiduriama su problema lyginant teorinius pastatų energijos sutaupymo atvejus su faktiniais, nes gaunami dideli skirtumai tarp jų. Straipsnyje pateikiama aštuonių atnaujintų namų Vilniuje ir Šiauliuose faktinio energijos suvartojimo patalpoms šildyti prieš ir po atnaujinimo analizė, gauti rezultatai palyginami su teoriniais skaičiavimais. Palyginamas tiriamų pastatų atnaujinimo atsipirkimo laikotarpis, apskaičiuotas pagal teorinius ir faktinius duomenis. Sukuriamas pastato modelis ir, įvertinant paklaidą tarp teorinių ir faktinių energijos sutaupymo atvejų, apskaičiuojamas jo atnaujinimo atsipirkimo laikotarpis bei pateikiamos išvados.

Reikšminiai žodžiai: atnaujinimas, pastatas, energijos suvartojimas, termoizoliacija, atsipirkamumas.

Įvadas

Energijos taupymas yra vienas iš prioritetinių aspektų Europoje. Didelis dėmesys skiriamas senų pastatų energiniam efektyvumui gerinti, nes didžioji dalis Europoje pagaminamos energijos yra suvartojama pastatuose, o gyvenamieji pastatai suvartoja 2/3 energijos, tenkančios visam pastatų sektoriui (Konstantinou, Knaack 2011). Ypač daug energijos vartoja seni pastatai, kurie buvo pastatyti vadovaujantis senomis statybos normomis. Tokius pastatus reikia atnaujinti (modernizuoti).

Dažniausiai pastatų atnaujinimo projektai vertinami kaip investicija ir lyginant investicijas su gaunamais sutaupymo atvejais skaičiuojami finansiniai projekto rodikliai. Nagrinėjant įvairius pastatų atnaujinimo scenarijus, sprendimai dažniausiai priimami remiantis prognozuojamu suvartojamos energijos kiekiu sutaupymu. Šis atnaujinimo investicijų efektyvumo vertinimo modelis taikomas ir pristatant atnaujinimo projektų naudą, atnaujinimo programos monitoringą. Pasak kai kurių autorių, tikslesniam atnaujinimo projektų vertinimui reikia atsižvelgti į atnaujinimo naudą daugialypiškumą neapsiribojant vien energiniu efektyvumu (Biekša *et al.* 2011), pavyzdžiui, pastato atnaujinimas pagerina pastato konstrukcijų būklę, prailgina jo gyvavimo trukmę. Tam tikro atnaujinimo scenarijaus pasirinkimas turi priklausyti nuo strateginių miesto teritorijų vystymo planų bei pačių pastatų ir jų aplinkos būklės, atnaujinimo kainos, sutaupomos energijos kiekio

ir prognozuojamo pastato (patalpų) rinkos vertės padidėjimo (Zavadskas *et al.* 2008). Tačiau tokią kompleksinę atnaujinimo projektų analizę realybėje atlikti yra sudėtinga. Nagrinėjant realius pastatų atnaujinimo projektus pastebimos reikšmingos klaidos skaičiuojant vien tik investicijų į atnaujinimo priemones atsipirkamumą.

Pastebima, kad įvairiose šalyse atliekant daugiabučių ir visuomeninių pastatų energijos suvartojimo vertinimus arba naujų ir atnaujintų pastatų energijos sertifikavimą, naudojamų skaičiavimo metodikų gaunami rezultatai nesutampa su realiu pastatų energijos suvartojimu (Audenaert *et al.* 2011; Ballarini, Corrado 2009; Juodis *et al.* 2009).

Išskiriami du pagrindiniai atnaujinimo tikslai: socialiniai ir ekonominiai. Prie socialinių tikslų priskiriamas gyvenamosios aplinkos pagerinimas ir daugiabučių pastatų estetinio vaizdo gerinimas. Tinkamai apšiltinus pastatų išorines atitvaras, patalpose pakyla oro temperatūra, sumažėja santykinė oro drėgmė bei anglies dioksido koncentracija, užtikrinamas higienos normas atitinkantis mikroklimatas patalpose bei sumažėja skirtumas tarp išorinės sienos vidinio paviršiaus ir patalpų oro temperatūrų (Ignatavičius *et al.* 2007). Ekonominiai atnaujinimo tikslai apima nekilnojamojo turto rinkos vertės padidėjimą, efektyvų energijos vartojimą ir pastato eksploatacinių išlaidų sumažinimą. Seni pastatai pasižymi prastomis šiluminėmis savybėmis, todėl atnaujinant atliekamas išorinių atitvarų šiltinimas ir

kitų energinį naudingumą didinančių priemonių taikymas leidžia efektyviai sumažinti pastatams šildyti suvartojamos energijos kiekį.

Atnaujinimo priemonių efektyvumui įtaką daro ir pastato būklė prieš atnaujinimą. Pastatai, kurių išorinės atitvaros prieš atnaujinimą yra teisingai prižiūrimos ir tvarkomos, suvartoja mažiau šilumos energijos šildymui nei analogiški ar net mažesni pastatai, kurių išorinių atitvarų būklė prieš atnaujinimą būna prastesnė.

Europos Parlamento ir Tarybos direktyvoje dėl energijos galutinio vartojimo efektyvumo ir energetinių paslaugų 2006/32/EB teigiama, kad efektyvesnis energijos vartojimas ir jos taupymas yra viena iš kiekvienos šalies nacionalinio saugumo didinimo priemonių ir per devynerius direktyvos taikymo metus (2008–2016 m.) turi pasiekti 9 procentų lygį. Tai įpareigoja Lietuvą sutaupyti 3,8 TWh galutinės energijos per metus. Nacionalinėje energetikos strategijoje numatytas didesnis siekis – iki 2016 m. per metus sutaupyti 4,7 TWh energijos (Bačiauskas *et al.* 2010).

Daugiabučių pastatų atnaujinimo programos rezultatams įvertinti ir nustatyti yra parengtos kelios stebėsenos ataskaitos (Ragoža, Martinaitis 2007; Ragoža *et al.* 2008; Daugiabučių... 2009; 2010 m. atnaujintų... 2011). Pastatų atnaujinimas šiose ataskaitose nagrinėjamas techniniu, finansiniu ir socialiniu aspektais. Apibendrinant visose ataskaitose pateikiamas išvadas galima teigti, kad:

- tiriamųjų pastatų teoriniai ir faktiniai energijos sutaupymo atvejai po atnaujinimo smarkiai skiriasi, faktiniai sutaupymo atvejai beveik visais atvejais gaunami mažesni už investiciniuose projektuose apskaičiuotus teorinius sutaupymo atvejus;
- atnaujinami tik pavieniai pastatai. Nėra įgyvendintas nei vienas kompleksinio kvartalų atnaujinimo projektas;
- vertinant priklausomybę tarp šilumos energijos sutaupymo atvejų ir investicijų dydžio nustatyta, kad rezultatai išsidėstę netolygiai.

Šio tyrimo tikslas yra palyginti realų atnaujintų pastatų energijos suvartojimą patalpoms šildyti su rezultatais, gaunamais taikant dabartines energijos efektyvumo nustatymo metodikas ir pateikti pasiūlymus šioms metodikoms tobulinti bei pastatų atnaujinimo atsiperkamumo skaičiavimus įvertinant paklaidą tarp teorinių ir faktinių energijos sutaupymo atvejų.

Tiriami pastatai

Atnaujintų pastatų teorinio ir faktinio energijos suvartojimo pastatams šildyti analizei atlikti nagrinėjami 8 daugiabučiai namai. Atliekant nagrinėjamų pastatų atnaujinimą buvo

taikomos įvairios atnaujinimo priemonės: išorinių atitvarų termoizoliacinių savybių gerinimas, elektros instaliacijos keitimas, vamzdynų remontai, laiptinių tvarkymas ir kt. Skaičiuojant pastatų atnaujinimo energinį efektyvumą bei atsiperkamumą, nagrinėjamos tik tos priemonės, kurios didina pastato energinį efektyvumą, t. y. išorinių sienų šiltinimas, langų keitimas ir stogo šiltinimas. Keturi pastatai apšiltinti polistireniniu putplasčiu ir nutinkuoti plonasluoksniu tinku, kiti keturi pastatai apšiltinti mineraline akmens vata, įrengiant išorines vėdinamas termoizoliacines sistemas. Visi tyrime nagrinėjami pastatai yra 5 aukštų.

Pastatai, apšiltinti išorinėmis sudėtinėmis termoizoliacinėmis sistemomis su polistireniniu putplasčiu ir nutinkuoti plonasluoksniu tinku:

- Architektų g. 104, Vilnius (90 butų, naudingasis plotas 5060 m², stambiaplokštė sienų konstrukcija);
- Grinkevičiaus g. 6, Šiauliai (45 butai, naudingasis plotas 2311 m², stambiaplokštė sienų konstrukcija);
- Sevastopolio g. 5, Šiauliai (45 butai, naudingasis plotas 2318 m², stambiaplokštė sienų konstrukcija);
- Vytauto g. 149, Šiauliai (32 butai, naudingasis plotas 2163 m², keraminių plytų sienų konstrukcija).

Pastatai, apšiltinti išorinėmis vėdinamomis termoizoliacinėmis sistemomis su mineraline vata:

- Architektų g. 106, Vilnius (60 butų, naudingasis plotas 3449 m², stambiaplokštė sienų konstrukcija);
- Gardino g. 27, Šiauliai (30 butų, naudingasis plotas 1496 m², stambiaplokštė sienų konstrukcija);
- Klevų g. 13, Šiauliai (30 butų, naudingasis plotas 1596 m², keraminių plytų sienų konstrukcija);
- Valančiaus g. 2, Šiauliai (30 butų, naudingasis plotas 1618 m², silikatinių plytų sienų konstrukcija).

1 lentelėje pateikiamas pastatų išorinių sienų, langų ir stogo šilumos perdavimo koeficientų (W/m²K) prieš ir po atnaujinimo sąvadas.

1 lentelė. Pastatų išorinių atitvarų šilumos perdavimo koeficientai prieš ir po atnaujinimo, W/m²K

Table 1. U-value of building an envelope before and after renovation, W/m²K

Objektas	Išorinės sienos		Langai		Stogas	
	prieš	po	prieš	po	prieš	po
Architektų g. 104	1,38	0,19	2,50	1,50	0,85	0,16
Grinkevičiaus g. 6	1,38	0,21	2,50	1,60	0,85	0,16
Sevastopolio g. 5	1,30	0,19	2,50	1,60	0,89	0,14
Vytauto g. 149	1,38	0,24	2,50	1,60	0,85	0,22
Architektų g. 106	1,27	0,24	2,80	1,50	0,85	0,16
Gardino g. 27	1,58	0,19	2,50	1,70	0,85	0,85
Klevų g. 13	1,31	0,26	2,50	1,90	0,85	0,22
Valančiaus g. 2	1,31	0,26	2,56	1,90	0,79	0,21

Tiriamų pastatų energijos suvartojimas

Siekiant išsiaiškinti šilumos energijos nuostolius pastatuose, atliekami ir virtualių pastatų tyrimai. Vieno iš tokių tyrimų metu mokslininkai sukūrė gyvenamojo pastato modelį ir nustatė jo šilumos energijos nuostolius esant įvairiems klimato variantams. Esant šaltam klimatui, pastato šilumos nuostoliai pasiskirsto taip: 26,1 % šilumos prarandama per langus, 25,5 % – per sienas, 13,6 % – per pirmo aukšto grindis, 9,3 % – per duris ir 7,2 % – per stogą (Kim, Moon 2009). Tikrieji pastatų šilumos nuostoliai per atitvaras priklauso ne tik nuo atitvaros šiluminės varžos vertės, bet ir nuo patalpose palaikomos oro temperatūros, šildymo laikotarpio trukmės bei vidutinės šildymo laikotarpio lauko oro temperatūros (Bliūdžius 2006). Atlikus 2280 stambiaplokščių gyvenamųjų pastatų Vilniuje šilumos suvartojimo analizę nustatyta, kad net identišku namų, eksploatuojamų toje pačioje vietovėje, energijos suvartojimas gali skirtis iki 1,4 karto (Juodis *et al.* 2009). Gyventojų elgsenos įtaką šilumos suvartojimui patvirtina ir Italijos mokslininkų tyrimai, kurių metu išanalizavus identišku butų šilumos suvartojimo atvejus gauti dideli skirtumai (Dall'O' *et al.* 2012). Įprastuose pastatuose šiluminiai tilteliai gali sudaryti iki 25 % bendrų šilumos nuostolių (Stephan, Myttenaere 2011).

Matuojant suvartojamos energijos kiekius nėra įvertinami šildymo sezonų oro temperatūrų neatitikimai, todėl reikia taikyti dienolaipsnių metodiką. Žinant konkretaus šildymo sezono dienolaipsnių skaičių ir normatyvinių metų dienolaipsnių skaičių, suvartotos šilumos energijos kiekį galima perskaičiuoti normatyviniams metams:

$$Q_n = Q_f \cdot \frac{DL_n}{DL_f}, \quad (1)$$

čia Q_n – į normatyvinį sezoną perskaičiuotas šilumos suvartojimas (kWh), Q_f – metinis tam tikrų metų šilumos suvartojimas (kWh), DL_n – normatyvinių metų dienolaipsnių skaičius, DL_f – faktinis dienolaipsnių skaičius per šildymo sezoną, apskaičiuojamas pagal formulę:

$$DL = z \cdot (\theta_i - \theta_e), \quad (2)$$

čia z – šildymo sezono parų skaičius, θ_i – vidutinė pastato patalpų temperatūra šildymo sezono metu (°C), θ_e – vidutinė lauko temperatūra šildymo sezono metu (°C).

Norminių 2007–2008 ir 2011–2012 metų šildymo sezonų dienolaipsnių skaičius Šiauliuose:

$$DL_n = 3862,8$$

$$DL_{f, 2007-2008} = 2894,30$$

$$DL_{f, 2011-2012} = 3273,20.$$

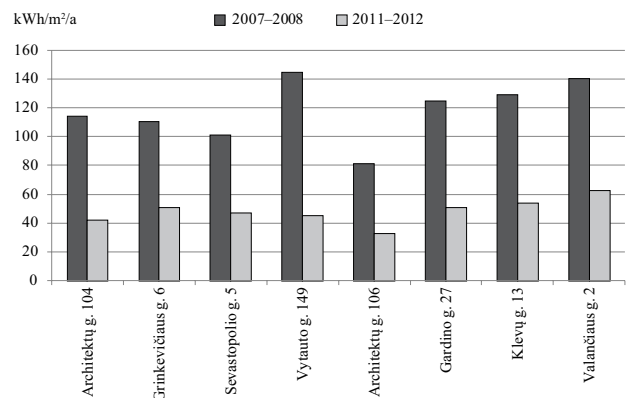
Norminių 2007–2008 ir 2011–2012 metų šildymo sezonų dienolaipsnių skaičius Vilniuje:

$$DL_n = 4005,0$$

$$DL_{f, 2007-2008} = 3015,10$$

$$DL_{f, 2011-2012} = 3378,10.$$

Pagal pastatų šilumos suvartojimo patalpoms šildyti atvejus nuo 2007 m. randamas skirtumas tarp 2007–2008 m. šildymo sezono, kai visi tiriami pastatai buvo neatnaujinti, bei 2011–2012 m. šildymo sezono, kai visų pastatų atnaujinimo darbai buvo jau visiškai baigti (1 pav.).



1 pav. Pastatų energijos suvartojimas patalpoms šildyti prieš ir po atnaujinimo, kWh/m²a

Fig. 1. Energy consumption for heating in buildings before and after renovation, kWh/m²a

Šešiems tiriamiems pastatams atliktas energinio naudingumo sertifikavimas, taikant STR 2.01.09:2012 „Pastatų energinis naudingumas. Energinio naudingumo sertifikavimas“ aprašomą metodiką. Vertinant tik energijos sąnaudas patalpoms šildyti pastebima, kad pagal teorines formules apskaičiuotos energijos sąnaudos yra žymiai didesnės nei realios. Nagrinėjamuose pastatuose atnaujinimo metu buvo gerintos trijų pagrindinių išorinių atitvarų: sienų, langų bei stogo termoizoliacinės savybės.

Šilumos kiekis, per šildymo sezoną sutaupomas apšiltinus išorines sienas, tenkantis vienam naudingo ploto kvadratiniam metrui, apskaičiuojamas:

$$Q_w = \frac{z \cdot 24}{1000} \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot \frac{1}{A_p} \cdot A_w \cdot \Delta U_w, \quad (3)$$

čia Q_w – šilumos kiekis, sutaupyta apšiltinus išorines sienas (kWh/m²a), z – šildymo sezono trukmė paromis, A_p – naudingasis pastato plotas (m²), A_w – išorinių sienų plotas (m²), ΔU_w – išorinių sienų šilumos perdavimo koeficiento pokytis (W/m²K).

Šilumos kiekis, per šildymo sezoną sutaupomas pakeitus langus, tenkantis vienam naudingojo ploto kvadratiniam metrui, apskaičiuojamas pagal formulę:

$$Q_{wda} = \frac{z \cdot 24}{1000} \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot \frac{1}{A_p} \cdot A_{wda} \cdot \Delta U_{wda}, \quad (4)$$

čia Q_{wda} – šilumos kiekis, sutaupytas pakeitus langus (kWh/m²a), A_{wda} – visas langų plotas (m²), ΔU_{wda} – langų šilumos perdavimo koeficiento pokytis (W/m²K).

Šilumos kiekis, per šildymo sezoną sutaupomas apšiltinus stogą, tenkantis vienam naudingojo ploto kvadratiniam metrui, apskaičiuojamas pagal formulę:

$$Q_r = \frac{z \cdot 24}{1000} \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot \frac{1}{A_p} \cdot A_r \cdot \Delta U_r, \quad (5)$$

čia Q_r – šilumos kiekis, sutaupytas apšiltinus stogą (kWh/m²a), A_r – stogo plotas (m²), ΔU_r – stogo šilumos perdavimo koeficiento pokytis (W/m²K).

Toliau nustatoma, kokią dalį sutaupyto viso pastato energijos kiekio sudaro kiekvienos atitvaros atnaujinimas. Kadangi žinomas tik kiekvieno pastato visas realus sutaupyto energijos kiekis po atnaujinimo, kiekvienos atitvaros šilumos sutaupymo dalis nustatoma pagal teorinius duomenis. Pagal teoriškai apskaičiuotas kiekvienos atitvaros sutaupomos energijos dalis atitinkamai išskaidomi realūs pastatų energijos sutaupymo atvejai. Gauti faktinių energijos sutaupymo atvejų per kiekvieną atitvarą rezultatai pateikiami 2 lentelėje.

2 lentelė. Pastatų faktiniai energijos sutaupymo atvejai po atnaujinimo

Table 2. Actual energy savings after building renovation

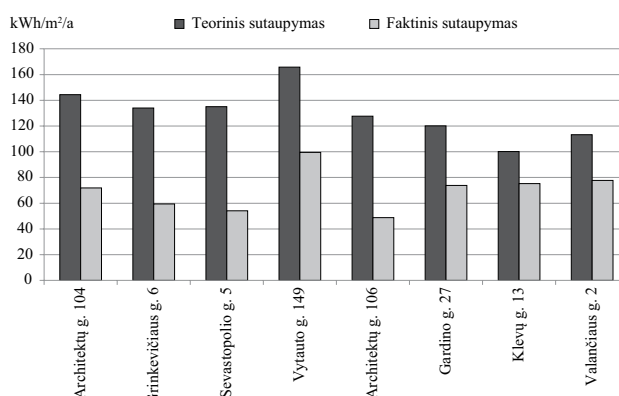
Objektas	Sutaupymo atvejai, kWh/m ² a			
	per sienas	per langus	per stogą	iš viso
Architektų g. 104	48,34	12,92	10,60	71,85
Grinkevičiaus g. 6	43,71	7,66	8,07	59,44
Sevastopolio g. 5	38,42	7,34	8,41	54,17
Vytauto g. 149	76,27	10,90	12,39	99,55
Architektų g. 106	28,79	12,44	7,59	48,82
Gardino g. 27	63,22	10,63	0,00	73,85
Klevų g. 13	52,61	7,26	15,41	75,28
Valančiaus g. 2	59,08	7,05	11,57	77,71

Nagrinėjant skirtingomis šiltinimo sistemomis apšiltintų pastatų energijos sutaupymo per išorines sienas atvejus, galima daryti išvadą, kad taikant abi sienų šiltinimo sistemas pasiekiami labai panašūs rezultatai. Pastatai, apšiltinti išorinėmis sudėtinėmis termoizoliacinėmis sistemomis su polistireniniu putplasčiu, per išorines sienas sutaupė vidutiniškai 51,68 kWh/m²a. Pastatai,

apšiltinti išorinėmis vėdinamomis termoizoliacinėmis sistemomis su mineraline vata, per išorines sienas sutaupė vidutiniškai 50,93 kWh/m²a.

Teorinių ir faktinių energijos sutaupymo atvejų priklausomybė ir atsipirkimo periodas

Rengiant atnaujinimo projektus ir skaičiuojant investicijų atsiperkamumą, svarbu tinkamai įvertinti būsimą energijos suvartojimą. Remiantis dabar taikoma metodika gautas investicijų atsipirkimas gali būti stipriai iškreiptas, nes kai kuriais atvejais teoriniai ir faktiniai energijos sutaupymo duomenys skiriasi net du kartus (2 pav.).



2 pav. Pastatų teorinio ir faktinio energijos sutaupymo atvejų po atnaujinimo palyginimas, kWh/m²a

Fig. 2. Comparison of theoretical and actual energy savings after renovation, kWh/m²a

Išnagrinėjus aštuonių pastatų energijos sutaupymo atvejus po jų atnaujinimo, pateikiami rekomendacinio teorinio pataisos koeficiento skaičiavimai. Energijos sutaupymo atvejų neatitikimai kiekvienam namui išlyginami į teorinio sutaupymo formules įvedant pataisos koeficientą. Pagal pataisos koeficiento priklausomybę nuo pastato išorinių atitvarų ploto galima daryti išvadą, kad didėjant atitvarų plotui, pataisos koeficiento reikšmė mažėja.

Duomenų tarpusavio koreliacijos koeficiento reikšmė lygi $-0,54$. Pagal gautą duomenų priklausomybę galima daryti prielaidą, kad pataisos koeficientas gali būti apskaičiuojamas pagal formulę:

$$a = -4,73 \cdot 10^{-5} \cdot A_{env} + 0,707, \quad (6)$$

čia A_{env} – pastato išorinių atitvarų plotas, m²:

$$A_{env} = A_w + A_{wda} + A_r, \quad (7)$$

čia A_w , A_{wda} , A_r analogiški plotams (3)–(5) formulėse.

Nors šis pataisos koeficientas nėra pakankamai tikslus dėl mažos tyrimo imties, tačiau taikant šią pataisą galima žymiai tiksliau įvertinti būsimus energijos sutaupymo atvejus ir planuoti investicijas.

Įdiegtos priemonės efektyvumas apibrėžiamas atsipirkimo periodu, t. y. laikotarpiu, per kurį pirminiai kapitaliniai įdėjiniai atsiperka dėl įmanomo gauti pelno ar sutaupymo atvejų. Dažniausiai apskaičiuojamas paprastasis atsipirkimo periodas, gaunamas pirminius kapitalinius įdėjinius padalijus iš prognozuojamo metinio pelno ar sutaupymo atvejų (Bliūdžius 2006). Paprastasis atsipirkimo periodas apskaičiuojamas taip:

$$T = I_0 / S, \quad (8)$$

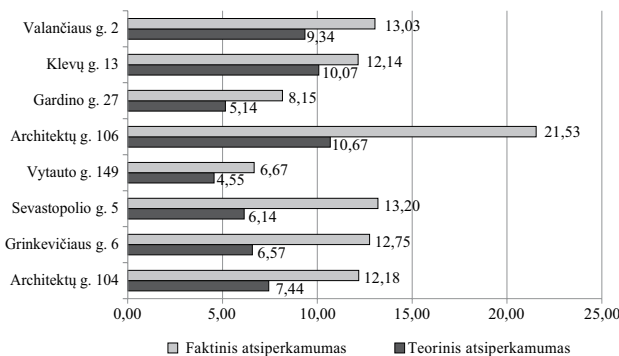
čia T – paprastasis atsipirkimo periodas (metai), I_0 – kapitaliniai įdėjiniai pirmųjų metų verte (Lt/m^2), S – kasmetiniai sutaupymo atvejai pirmųjų metų verte ($\text{Lt/m}^2\text{a}$), apskaičiuojami pagal formulę:

$$S = [\Delta U \cdot \Delta \theta \cdot z \cdot 24 / 1000] \cdot E, \quad (9)$$

čia $\Delta U = U_1 - U_2$ – šilumos perdavimo koeficiento pokytis atnaujinus atitvaras, $\Delta \theta = \theta_i - \theta_e$, θ_i – patalpų oro temperatūra per šildymo laikotarpį, $^\circ\text{C}$, θ_e – vidutinė šildymo sezono lauko oro temperatūra, $^\circ\text{C}$, z – šildymo sezono trukmė paromis, E – šilumos energijos kaina, Lt/kWh .

Atlikus tiriamų pastatų atnaujinimo priemonių teorinio ir faktinio atsiperkamumo skaičiavimus, gauti dideli skirtumai. Skaičiavimuose pasirinktos tokios sąlygos: Šiauliuose $\theta_i = 18 \text{ }^\circ\text{C}$, $\theta_e = 0,6 \text{ }^\circ\text{C}$, šildymo sezono trukmė $t = 222$ paros. Vilniuje $\theta_i = 18 \text{ }^\circ\text{C}$, $\theta_e = 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$, šildymo sezono trukmė $t = 225$ paros. Skaičiuojant atsiperkamumą naudojama šilumos kaina: Šiauliuose $E = 26,15 \text{ ct/kWh}$, Vilniuje $E = 29,79 \text{ ct/kWh}$.

Apskaičiuotas pastatų teorinis ir faktinis atnaujinimo atsiperkamumas pateikiamas 3 pav.



3 pav. Pastatų paprastasis faktinis ir teorinis atsipirkimo periodai, metais

Fig. 3. The actual and theoretical payback period of buildings, years

Nors faktinio pastatų atnaujinimo atsipirkimo periodo grafiko tendencija išlieka panaši į teorinio atsiperkamumo, tačiau atnaujinimo priemonių faktinis atsipirkimo laikas gaunamas pastebimai didesnis. Remiantis turimais duomenimis, greičiausiai atsipirks Šiauliuose esančio Vytauto g. 149 namo atnaujinimas – per 6,67 metų.

Atsiperkamumo modeliavimas

Siekiant objektyviai nustatyti, kokios atnaujinimo priemonės yra efektyviausios, sprendžiamas pastato atnaujinimo variantų parinkimo uždavinys, sukuriant pastato modelį (4 pav.).

Rengiant atnaujinimo projektus, langų ir stogo atnaujinimo variantai yra praktiškai identiški visuose pastatuose. Langai keičiami į plastikinius su stiklo paketais, stogas apšiltinamas papildomu polistireninio putplasčio ar mineralinės vatos sluoksniu su prilydoma danga. Iš esmės skiriasi tik išorinių sienų šiltinimo sistemos.



4 pav. Pastato modelis

Fig. 4. A model of the building

4 pav. pavaizduoto pastato modelio charakteristikos pateikiamos 3 lentelėje. Pastato naudingasis plotas $2300,00 \text{ m}^2$, 45 butai. Modeliuojamas pastatas yra Šiauliuose, kur vidutinė oro temperatūra šildymo sezono metu lygi $\theta_e = 0,6 \text{ }^\circ\text{C}$, šildymo sezono trukmė paromis $z = 222$, šilumos energijos kaina lygi $E = 26,15 \text{ ct/kWh}$. Butuose palaikoma temperatūra lygi $\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

3 lentelė. Pastato modelio charakteristikos

Table 3. Characteristics of the model of the building

Išorinė atitvara	Atitvaros plotas, m^2	Atitvaros konstrukcija	Atitvaros šilumos perdavimo koeficientas, $\text{W/m}^2\text{K}$
Sienos	2000,00	Surenkamosios 350–380 mm storio keramzitetonio plokštės	1,38
Langai	450,00	Mediniai	2,50
Stogas	620,00	Sutapdintas stogas, gelžbetoninė denginio plokštė, apšiltinta 160 mm storio dujų silikato plokštėmis	0,85

Modeliuojamame pastate atnaujinamos išorinės atitvaros ir pasiekiamos statybos techniniame reglamente nustatytos leistinos šilumos perdavimo koeficientų vertės (4 lentelė).

4 lentelė. Daugiabučio pastato modelio atitvarų šilumos perdavimo koeficientai

Table 4. Coefficients of the thermal conductivity of the model envelope

Atitvara	Atitvaros šilumos perdavimo koeficientas, W/m ² K		
	pieš atnaujinimą	po atnaujinimo	pokytis
Sienos	1,38	0,20	1,18
Langai	2,50	1,60	0,90
Stogas	0,85	0,16	0,69

Viso pastato atnaujinimo priemonių atsiperkamumui skaičiuoti naudojamos teorinio šilumos energijos sutaupymo skaičiavimo formulės. Modeliuojamo pastato atsiperkamumui skaičiuoti taikomi pakoreguoti metiniai šilumos sutaupymo atvejai prieš tai apskaičiavus šio pastato pataisos koeficientą a . Paprastasis priemonių atsipirkimo periodas apskaičiuojamas pagal šią išraišką:

$$T = \frac{I}{Q_{w;wda;r} \cdot a \cdot E}, \quad (10)$$

čia T – paprastasis atsipirkimo periodas, metais, I – atitvarų atnaujinimo kaina, Lt, $Q_{w;wda;r}$ – šilumos energijos sutaupymo atvejai atnaujinus sienas, langus ir stogą, kWh/a, a – šilumos energijos sutaupymo pataisos koeficientas, E – šilumos energijos kaina, Lt/kWh.

Atnaujinant modeliuojamą pastatą ir išorines sienas šiltinant tinkuojama termoizoliacine sistema, tikėtinas viso pastato atnaujinimo atsipirkimo periodas yra 11,65 metų. Jei toks pat pastatas būtų atnaujinamas taikant vėdinamą išorinę termoizoliacinę sistemą, tikėtinas viso pastato atnaujinimo atsipirkimo periodas yra 19,36 metų, t. y. 66 % didesnis nei pastato su tinkuojama termoizoliacine sistema (5 lentelė).

5 lentelė. Pastato modelio atsipirkimo periodas

Table 5. The payback period of the model of the building

Atitvara	Atsipirkimo periodas, metai	
	pastatas su tinkuojama šiltinimo sistema	pastatas su vėdinama šiltinimo sistema
Sienos	9,15	19,58
Langai	23,41	23,41
Stogas	14,31	14,31
Visas pastatas	11,65	19,36

Išvados

1. Visais nagrinėtais atvejais teoriškai apskaičiuoti šilumos sutaupymo atvejai viršijo realius pastatų energijos sutaupymo atvejus po atnaujinimo. Teoriniai ir faktiniai pastatų energijos sutaupymo atvejai skiriasi iki 2 kartų.
2. Energijos sutaupymo atvejų skaičiavimams tikslinti nustatytas pataisos koeficientas. Aprašyta šio pataisos koeficiento priklausomybė nuo pastatų išorinių atitvarų ploto.
3. Dėl didelio pastatų teorinio ir faktinio energijos suvartojimo skirtumo būtina tobulinti teorinio skaičiavimo metodiką, kuri aprašoma STR 2.01.09:2012 „Pastatų energinis naudingumas. Energinio naudingumo sertifikavimas“.
4. Skaičiuojant pastatų atnaujinimo atsiperkamumo laikotarpį pagal teorinius energijos sutaupymo atvejus, gaunamas laikotarpis yra iki 2 kartų trumpesnis už faktinį, todėl skaičiavimuose reikia įvertinti paklaidą tarp teorinių ir faktinių energijos sutaupymo atvejų.
5. Atnaujinant pastatus vėdinama išorine termoizoliacine sistema atsipirkimo periodas yra apie 66 % didesnis nei atnaujinant pastatus tinkuojama sudėtine termoizoliacine sistema. Toks skirtumas gaunamas dėl didesnių pradinių investicijų.

Literatūra

- 2010 metais atnaujintų (modernizuotų) daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo) programos įgyvendinimo stebėseną. 2011. UAB „Miesto renovacija“. Vilnius. 214 p.
- Audenaert, A.; Briffaerts, K.; Engels, L. 2011. Practical versus theoretical domestic energy consumption for space heating, *Energy Policy* 39: 5219–5227. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2011.05.042>
- Bačiauskas, V.; Gaitanži, A.; Borisevičius, A.; Šakalinis, J. 2010. *Valstybinio audito ataskaita. Daugiabučių namų atnaujinimas (modernizavimas)*. Lietuvos Respublikos valstybės kontrolė. Vilnius. 51 p.
- Ballarini, I.; Corrado, V. 2009. Application of energy rating methods to the existing building stock: Analysis of some residential buildings in Turin, *Energy and Buildings* 41: 790–800. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.02.009>
- Biekša, D.; Jaraminienė, E.; Martinaitis, V. 2011. Daugiabučių namų renovacijos vertinimas atsižvelgiant į trejų metų naudą, *Mokslas – Lietuvos ateitis* (3)5: 98–104.
- Blūdžius, R. 2006. *Pastatų šiluminė renovacija*. Kaunas: Technologija. 95 p.
- Daugiabučių namų modernizavimo programos monitoringas. 2009. VI „Kompetencijų centras“. Vilnius.
- Dall’O’, G.; Sarto, L.; Galante, A.; Pasetti, G. 2012. Comparison between predicted and actual energy performance for winter heating in high-performance residential buildings in the Lombardy region (Italy), *Energy and Buildings* 47: 247–253. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.11.046>

- EPBD recast. 2010. Directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast), adopted by the Council on 14/04/2010, Brussels.
- Ignatavičius, Č.; Zavadskas, E. K.; Ustinovičius, L. 2007. Modernization of Large-Panel houses in Vilnius, in *Modern Building Materials, Structures and Techniques*, Vol. 1, May 2007: 258–264.
- Juodis, E.; Jaraminienė, E.; Dudkiewicz, E. 2009. Inherent variability of heat consumption in residential buildings, *Energy and Buildings* 41: 1188–1194. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.06.007>
- Kim, J. J.; Moon, J. W. 2009. Impact of insulation on building energy consumption, in *Eleventh International IBPSA Conference, Building Simulation*. 7 p.
- Konstantinou, T.; Knaack, U. 2011. Refurbishment of residential buildings: a design approach to energy-efficiency upgrades, *Procedia Engineering* 21: 666–675. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2063>
- Rogoža, A.; Martinaitis, V. 2007. *Daugiabučių namų modernizavimo programos monitoringas, 2006–2007*. VGTU, Vilnius.
- Rogoža, A.; Šiupšinskas, G.; Martinaitis, V. 2008. *Daugiabučių namų modernizavimo programos monitoringas (2 etapas)*. VGTU, Vilnius.
- Respublikinės statybos normos (RSN) 156–94. Statybinė klimatologija*. 1955. Vilnius. 22 p.
- Statybos techninis reglamentas STR 2.05.01:2005 „Pastatų atitvarų šiluminė technika“*. 2005. Vilnius.
- Statybos techninis reglamentas STR 2.01.09:2012 „Pastatų energinis naudingumas. Energinio naudingumo sertifikavimas“*. 2012. Vilnius.
- Stephan, A.; Myttenaere de, K. 2011. Implementing adapted passive house standards in public buildings. Retrofitting of a university building in Brussels, Belgium, in *27th International Conference on Passive and Low-Energy Architecture 2*: 553–558.
- Zavadskas, E. K.; Raslanas, S.; Kaklauskas, A. 2008. The selection of effective retrofit scenarios for panel houses in urban neighborhoods based on expected energy savings and increase in market value: The Vilnius case, *Energy and Buildings* 40: 573–587. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.04.015>

ANALYSIS OF ENERGY CONSUMPTION IN RENOVATED BUILDINGS AND SIMULATION OF THE PAYBACK PERIOD

A. Ruzgys, R. Volvačiovas, Č. Ignatavičius

Abstract

The renovation of old buildings is essential for the efficient use of energy. Improvement in the thermal characteristics of the building envelope makes a significant effect on energy savings. For assessing the real impact on buildings, energy efficiency of various measures applied in renovation is one of the most important problems. Actual energy savings significantly differ from those calculated according to the methodology described in technical documents. The article analyses 8 renovated buildings. Three main external elements, including walls, windows and roofs, in all buildings were retrofitted. Using theoretical energy savings through each element and knowing the actual savings

of the building, actual energy savings through each element are found. Theoretical energy savings for heating after renovation, in every case, are bigger than actual energy consumption for heating before renovation. There is a big difference between theoretical and actual savings after renovation, sometimes up to 2 times. The paper describes dependency between the envelope area of buildings and the mismatch factor of theoretical and actual consumption. The payback period of renovated buildings is calculated using theoretical and actual data. The theoretical payback period of renovation is up to 2 times shorter than the actual one. The calculation method for the estimation of the actual payback period using the mismatch factor has been proposed, and the model of the building has been made to calculate its probable payback period.

Keywords: renovation, building, energy consumption, thermal insulation, payback period.