

# Šilumos sąnaudų gyvenamųjų namų šildymui palyginimo ir poreikių prognozavimo pagal šildymo dienolaipsnius taikomumo ribos

**Egidijus Juodis**

*Vilniaus Gedimino  
technikos universitetas,  
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius  
El. paštas: egidijus.juodis@vgtu.lt*

Įvairaus klimato vietovių pastatų šilumos sąnaudoms palyginti ir įvertinti naudojami šildymo dienolaipsniai (ŠDL). ŠDL skaičiuotė remiasi vietovės klimato charakteristikomis ir bazine temperatūra. Bazinė temperatūra yra lygi balansinei pastato temperatūrai, kai pastato šilumos išsiskyrimai kompensuoja šilumos nuostolius. Perėjus prie energiška efektyvių pastatų statybos, šilumos nuostoliai mažėja, didėja šilumos pritekėjimo vaidmuo. Kyla klausimas, iki kokio šilumos sąnaudų lygio šildymo dienolaipsniai yra pakankamai patikimas įrankis įvairaus klimato pastatų šilumos sąnaudoms vertinti ir poreikiams prognozuoti.

Šilumos sąnaudos šildymui, tenkančios vienam šildymo dienolaipsniui, pasirinkus teisingą bazinę temperatūrą, nepriklauso nuo pasirinkto laikotarpio dienolaipsnių skaičiaus. Sugretinus Lietuvos šilumos tiekimo įmonės įvairių miestų komercinių atsiskaitymų už sunaudotą šilumą daugiabučių namų mėnesines šilumos sąnaudas ir santykinės sąnaudas, tenkančias vienam šildymo dienolaipsniui, pagrindžiama išvada, kad šildymo dienolaipsniai, nustatyti remiantis bazine temperatūra 18 °C arba artima jai, neturi būti taikomi energiška efektyviems pastatams. Į šį dienolaipsnių skaičių įtraukiami periodai, kai energiška efektyvių pastatų nereikia šildyti.

Rasta, kad bazine temperatūra pastatams, kuriuose šilumos sąnaudos yra 40 kWh/m<sup>2</sup>met., laikytini 8 °C, o esant sąnaudoms 75 kWh/m<sup>2</sup>met. – 10 °C. Nėra esminių skirtumų tarp Lietuvos Respublikos ir kaimyninių šalių statybos tradicijų, gyventojų įpročių, buitinės įrangos, todėl galima teigti, kad šios bazinės temperatūros gali būti taikomos visose Baltijos rytinės pakrantės šalyse.

**Raktažodžiai:** šildymo dienolaipsniai, energiška efektyvūs pastatai, bazinė temperatūra

## ĮVADAS

Pastatų šildymui Europoje tenkanti sunaudojamos energijos dalis yra didžiausia iš sąnaudų, palyginti su visomis kitomis reikmėmis – apšvietimu, maisto ruošimu, vėsinimu, liftais ir kt., todėl energijos taupymas šildymui, ypač vėsaus klimato šalyse, yra itin svarbus tiek valstybės mastu,

tiek gyventojams [1, 4, 6]. Įvairių vietovių pastatų ir laikotarpių šilumos sąnaudoms palyginti bei įvertinti plačiai naudojami šildymo dienolaipsniai (ŠDL). Dienolaipsnių naudojimas įgalina nustatyti energinio efektyvumo pokyčius ir įvertinti kvalifikuotos pastato energetinės vadybos rezultatus, numatyti, palyginti ir kontroliuoti kuro sąnaudas šildymo katilinėse.

Šilumos reikalavimai gyvenamiesiems namams yra išsamiau išnagrinėti ir parengti nei visuomeninės paskirties pastatams. Net jei gyvenamieji namai yra unikalūs, jie skiriasi vienas nuo kito mažiau nei kitų paskirčių pastatai, nes turi atitikti tuos pačius norminius dokumentus, juose vyksta tie patys procesai. Esminis skirtumas tarp gyvenamųjų namų – tik jų energinio efektyvumo lygis.

ŠDL skaičiuotė remiasi vietovės klimato charakteristikomis [13] ir bazine temperatūra. Bazinė temperatūra yra lygi balansinei pastato temperatūrai, kai pastato šilumos išsiskyrimai kompensuoja šilumos nuostolius, tada pastato nereikia nei šildyti, nei vėsinti [1, 4]. Tai reiškia, kad kiekvienam pastatui ar identiškių šiluminių charakteristikų pastatų grupei būdinga skirtinga bazinė temperatūra. Šilumos pritekėjimas (iš žmonių, kompiuterinės įrangos, karšto vandentiekio sistemos ir t. t.) kompensuoja dalį šilumos nuostolių, todėl balansinė temperatūra yra žemesnė už pastato vidaus temperatūrą.

Perėjus prie energiška efektyvių pastatų statybos, šilumos sąnaudos šildymui mažėja, atsiranda pastatų, kurių šilumos nuostolius kompensuoja vidiniai šilumos išsiskyrimai ir saulės spinduliuotė. Tai reiškia, kad šilumos sąnaudos šildymui artėjant link nulio mėnesinis ar metinis ŠDL skaičius tampa vis mažiau svarbus, ŠDL besiremiančios šilumos poreikio prognozės tampa neteisingos, o dienolaipsniai naudojami tik klimato charakteristikai. Šilumos poreikio palyginimui siūloma įvesti klimato atšiaurumo rodiklį (*climate severity index*), t. y. šilumos poreikio pasirinktoje vietovėje santykį su poreikiu kontrolinėje vietovėje. Tarkime, pastato šilumos poreikis šildymui įvairiose vietovėse lyginamas su kontroliniu, pvz., Madride [12]. Papildžius [12] duomenis tų vietovių oro uostų ŠDL vertėmis [3], kai bazinė temperatūra 20 °C, sudaryta 1 lentelė.

Didžiausio ir mažiausio 1 lentelėje šilumos poreikio santykis (žiemos klimato atšiaurumo indeksas) skiriasi 8, kai  $\text{ŠDL}_{20}$  – tik 3 kartus. Tai paaiškintina tuo, kad šilu-

mos išsiskyrimų, ypač dėl saulės spinduliuotės, ir pastato šilumos nuostolių santykis Europos pietinėje dalyje yra daug didesnis nei einant į šiaurę. Energiškai efektyviuose pastatuose taip pat šis santykis yra didesnis nei netaupiai naudojančiuose energiją. Suomijoje techniškai ir ekonomiškai priimtiniomis pasyvių pastatų šilumos sąnaudomis laikoma 20–30 kWh/m<sup>2</sup>met. [11]. Tai patvirtina abejonę, ar plačiai naudojami  $\text{ŠDL}_{18}$ , ar kitai netaupių pastatų bazinei temperatūrai apskaičiuoti šildymo dienolaipsniai yra pakankamai patikimas įrankis energiška efektyvių pastatų palyginimui.

Kai kurie tyrėjai energijos poreikio priklausomybėje nuo ŠDL įveda pastovią dedamąją, tai taip pat gali reikšti, kad jų panaudota bazinė temperatūra nelygi balansinei [7].

Nagrinėjant šilumos sąnaudų pastatų šildymui mažinimo galimybes vyrauja dėmesys konstrukcinėms ir eksploatacinėms priemonėms bei šių priemonių atsipirkimui, trūksta dėmesio įvairaus klimato pastatų šilumos sąnaudų palyginimo pagrįstumui. Šilumos sąnaudos, kWh/m<sup>2</sup>met., gyvenamuosiuose namuose labai svyruoja, todėl kyla klausimas, iki kokio šilumos sąnaudų lygio šildymo dienolaipsniai yra pakankamai patikimas įrankis lyginant įvairaus klimato pastatų šilumos sąnaudas ir prognozuojant šilumos poreikius.

## METODIKA

Šilumos sąnaudomis gyvenamųjų pastatų šildymui šiame straipsnyje vadinamas skirtumas tarp šilumos nuostolių per atitvaras ir nuostolių su vėdinimu oru, atmetus vidinius ir išorinius šilumos pritekėjimus, tai įvadiniių pastato šilumos skaitiklių išmatuotas dydis, už kurį sumokama šilumos tiekėjui. Pastato energinis efektyvumas (naudingumas) čia nagrinėjamas siauriau nei jį apibrėžia ES dokumentai [6], neįtraukiama elektros energijos visoms reikmėms bei šilumos karštam vandeniui ruošti.

1 lentelė. Šilumos poreikio identiškam pastatui įvairiu klimatu ir  $\text{ŠDL}_{20}$  santykio palyginimas

Vietovė	Klimato atšiaurumo indeksas	$\text{ŠDL}_{20}$	$\text{ŠDL}_{20} / \text{ŠDL}_{20\text{Madrid}}$
Glasgow (JK)	2,59	4 055	1,61
Newcastle (JK)	2,59	4 055	1,61
Dresden (Vokietija)	3,31	3 947	1,57
Nottingham (JK)	2,36	3 655	1,45
Braunschweig (Vokietija)	2,56	3 573	1,42
Brighton (JK)	1,83	3 494	1,39
Burgos (Ispanija)	1,96	3 311	1,32
Milan (Italija)	1,81	3 123	1,24
Agen (Prancūzija)	1,44	2 769	1,10
Madrid (Ispanija)	1,00	2 513	1,00
Granada (Ispanija)	0,81	2 375	0,95
Rome (Italija)	0,83	1 945	0,77
Lisbon (Portugalija)	0,37	1 491	0,59
Trapani (Italija)	0,32	1 348	0,54

Lyginant įvairaus klimato pastatų apvalkalo ir jų šildymo bei vėdinimo sistemų kokybę neišvengiamai tenka šilumos sąnaudas perskaičiuoti, pasitelkus šildymo dienolaipsnius. Vertinant pastatų energinį efektyvumą pagal iš išorės patiekto (perkamos) energijos kiekį į pastato šiluminį balansą įtraukiami ne tik šilumos nuostoliai per atitvaras, su šalinamu vėdinimo oru bei šilumos išsiskyrimais, bet ir įvairiais būdais statybos objekte generuojama energija, kurios šaltiniai yra saulės spinduliuotė ir t. t. Tokiais būdais galima pasiekti nulinių perkamos šilumos poreikį, pasyvaus pastato šilumos sąnaudų rodiklį 15 kWh/m<sup>2</sup>met., tačiau šis rodiklis yra tik perkamos šilumos kiekis, išvestas vidurio Europos klimatui, ir tik iš dalies apibūdina pačio pastato energinį ir ekonominį efektyvumą, nes bet kuris pastatas, įrengus gausią papildomą įrangą, gali pasiekti pasyvaus pastato lygį.

Šioje analizėje buvo priimtos tokios prielaidos:

- visi nagrinėjamieji pastatai yra gyvenamieji namai, jų šiluminis inertisumas yra to pačio lygio ir neturi įtakos balansinei temperatūrai;

- šilumos sąnaudų matavimų prietaisų rodmenys yra fiksuojami paskutinę mėnesio dieną;

- šildymas šildymo laikotarpiu yra nepertraukiamas;

- energiška neefektyviuose ir taupiai naudojančiuose šilumą daugiabučiuose namuose vyksta tie patys buitiniai procesai, todėl laikoma, kad absoliutinės šilumos pritekėjimo vertės yra tokios pačios;

- laikoma, kad būstų vidutinė temperatūra 20 °C;

- visuose gyvenamuosiuose namuose nėra oro tiekimo su šilumos grąža sistemų, namai vėdinami natūraliai ir oro ištraukiamaisiais ventiliatoriais iš virtuvės gaubto arba sanitarinių mazgų.

Idealiu atveju, kai nėra šilumos išsiskyrimų, mėnesio ar kito laikotarpio šilumos sąnaudos šildymui yra lygios šilumos nuostoliams ir pastatui šildyti aprašomos lygtimi:

$$Q = Hn_{\text{SDL}}, \text{ kWh}; \quad (1)$$

čia:  $H$  – pastato savitieji šilumos nuostoliai, kWh/K;  $n_{\text{SDL}}$  – pasirinkto laikotarpio šildymo dienolaipsnių skaičius, °C para.

Gyvenamuosiuose namuose visada yra didesni ar mažesni šilumos pritekėjimai iš žmonių, karšto vandentiekio sistemos, kompiuterinės ir kitos įrangos, saulės spinduliuotės, todėl šilumos sąnaudos šildymui yra mažesnės nei šilumos nuostoliai. Pasirinkto laikotarpio šilumos poreikis:

$$Q = Hn_{\text{SDL}} - Q_p; \quad (2)$$

čia:  $Q_p$  – šilumos pritekėjimai, kWh.

Šioje priklausomybėje esantis  $n_{\text{SDL}}$  priklauso nuo pasirinktos bazinės temperatūros, jei matavimai vykdomi kas valandą:

$$n_{\text{SDL}} = \frac{\sum [(t_b - t_{\text{ex}})n]}{24}, \text{ } ^\circ\text{Cpara}; \quad (3)$$

čia:  $t_{\text{ex}}$  – lauko oro temperatūra, °C;  $n$  – atitinkamos lauko oro temperatūros trukmė, h;  $t_b$  – bazinė temperatūra, °C.

Kylant pastatų energiniam efektyvumui mažėja jų šilumos nuostoliai, todėl didėja vidinių šilumos išsiskyrimų vaidmuo, žemėja balansinė temperatūra ir atitinkamai skaičiuojamoji bazinė temperatūra. Įvairiose valstybėse skiriasi gyventojų įpročiai, statybos tradicijos, todėl ŠDL apskaičiuojami pagal skirtingas bazines temperatūras. Vidiniai šilumos išsiskyrimai, tradiciniuose prastai izoliuotuose namuose, pakelia temperatūrą apie 3 °C [8], pagal nutylėjimą laikant, kad gyvenamuosiuose namuose oro temperatūra turėtų būti komfortiška 20–21 °C, bazinė temperatūra Europos Sąjungoje dažniausiai priimama 18 °C (JAV 18,3 °C, Jungtinėje Karalystėje tradiciškai vėšiau, todėl 15,5 °C [4]). Tokiu būdu automatiškai įvertinami šilumos išsiskyrimai ir šilumos sąnaudos šildymui tampa tiesiog proporcingos ŠDL.

Šilumos nuostolių ir išsiskyrimų verčių apskaičiavimo metodika ir kompiuterinės programos yra pakankamai išsamiai parengtos, todėl iškeltą uždavinį galima spręsti analitiškai. Analitiškai sprendžiant kai kuriuos pradinius duomenis tenka įstatyti skaičiuotojo nuožiūra, pvz., mechaninės oro kaitos ir infiltracijos, vidinių šilumos išsiskyrimų duomenis. Savo ruožtu, šie duomenys priklauso nuo pastato būklės, gyventojų įpročių ir t. t., todėl šioje analizėje pasirinkta remtis realiais komercinių atsiskaitymų už sunaudotą šilumą rezultatais. Skaitmeninė bazinės temperatūros vertė ir pagal ją apskaičiuotų šildymo dienolaipsnių pritaikomumas nustatytas naudojant regresinę analizę.

### Pastatų pasirinkimas

Pastatai parinkti pagal Lietuvos šilumos tiekėjų asociacijos (LŠTA) skelbiamus oficialius šilumos sąnaudų duomenis. Visų LŠTA priklausančių šilumos tiekimo įmonių daugiabučių gyvenamųjų namų mėnesinės šilumos sąnaudos pateikiamos LŠTA „Šilumos suvartojimo analizėje“ pagal šilumos tiekėjų nusistatytas pastatų energinio efektyvumo grupes [9], nes šilumos sąnaudų duomenų bazė pagal pastatų energinio sertifikavimo klases dar nesudaryta. Pasinaudota 2010 m. gruodžio – 2012 m. balandžio mėn. šilumos sąnaudų rodikliais pagal šią daugiabučių gyvenamųjų namų klasifikaciją (2 lentelė).

Iš viso kiekvienoje grupėje yra per 100 namų duomenys, tačiau grupių sudėtis keičiasi kiekvieną mėnesį pagal tai, kokie namai tą mėnesį sunaudavo mažiausiai ar daugiausiai šilumos. Atmetus nepasikartojančius objektus, nepakankamai aiškius duomenis, pasirinkti Vilniaus, Kauno ir Panevėžio gyvenamieji namai, kiekvienoje grupėje liko po 20–25 daugiabučius namus, o kiekvieno miesto 4–8 namai. Tais

2 lentelė. LŠTA daugiabučių gyvenamųjų namų klasifikacija [9]

Pastatų grupės apibūdinimas	Šilumos šildymo sąnaudos		Pastatų dalis %
	kWh/m <sup>2</sup> mėn.	60 m <sup>2</sup> ploto butui kWh/met.	
I. Daugiabučiai, suvartojantys mažiausiai šilumos (naujos statybos, kokybiški namai)	8	480	4,6
II. Daugiabučiai, suvartojantys mažai arba vidutiniškai šilumos (naujos statybos ir kiti kažkiek taupantys šilumą namai)	15	900	17,3
III. Daugiabučiai, suvartojantys daug šilumos (senos statybos nerenovuoti namai)	25	1 500	55,7
IV. Daugiabučiai, suvartojantys labai daug šilumos (senos statybos, labai prastos šiluminės izoliacijos namai)	35	2 100	22,4

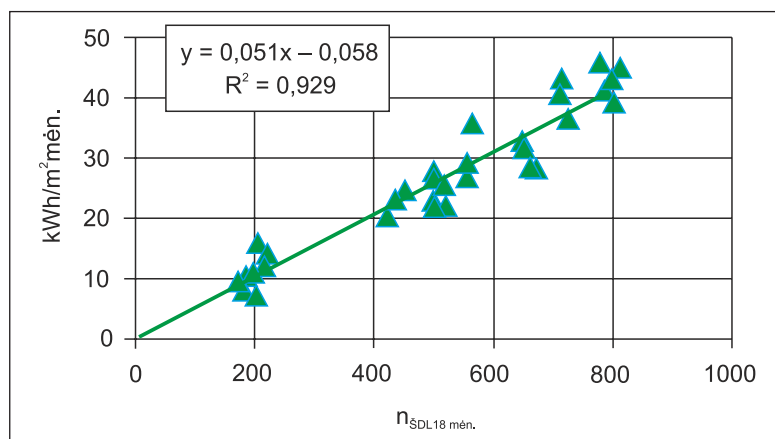
atvejais, kai kas mėnesį kurio nors miesto nuolat pasikartojančių objektų buvo mažiau nei keturi, parenkant objektus buvo atmetami didžiausių ir mažiausių šilumos sąnaudų namai, tačiau bet kuriuo atveju kiekvieno miesto analizuojamų pastatų šildomasis plotas visais mėnesiais skiriasi ne daugiau 5 %. Pastatų, kurie atitiktų pasyvių pastatų šilumos sąnaudų kriterijų 15 kWh/m<sup>2</sup>met., centralizuoto šilumos tiekimo įmonių duomenų bazėse nėra.

Analizei pasirinktos 1, 2 ir 4 grupės (žr. 2 lentelę), nes jų šilumos sąnaudos labai skiriasi, santykis artimas 1 : 2 : 4. Realios šilumos mėnesinės vidutinės šilumos sąnaudos analizuojamuoju laikotarpiu buvo artimos išvardintoms 2 lentelėje. Metinių sąnaudų pasiskirstymas pateiktas 3 lentelėje.

Standartinių metų šildymo dienolaipsnių skaičius Kaune  $n_{\text{SDL}18} = 3\,507$ , Vilniuje (užmiestyje)  $n_{\text{SDL}18} = 3\,728$  [6]. Perskaičiavus pagal standartinius metus, šilumos 2011–2012 žiemos sąnaudos būtų didesnės 8–10 %.

## REZULTATAI

Perskaičiavus visų mėnesių šilumos sąnaudas standartiniam 30,5 parų mėnesiui, sudaryti mėnesinių šilumos sąnaudų 1, 2 ir 3 pav. Ketvirtosios labai daug šilumos suvartojančių daugiabučių grupės šilumos sąnaudos, kaip ir privalo būti, yra tiesiogiai proporcingos  $\text{SDL}_{18}$  pokyčiui (1 pav.). Priimant šilumos išsiskyrimų iš vidinių šaltinių vertę 5 W/m<sup>2</sup> šildymo sezono metu jie sudarytų  $Q_p \approx 24$  kWh/m<sup>2</sup> [10]. Tada

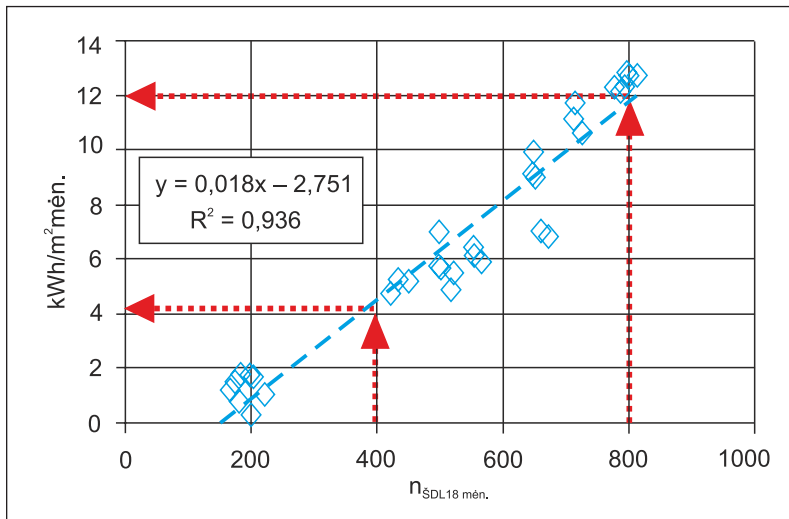


1 pav. Ketvirtosios efektyvumo grupės daugiabučių mėnesio šilumos sąnaudos

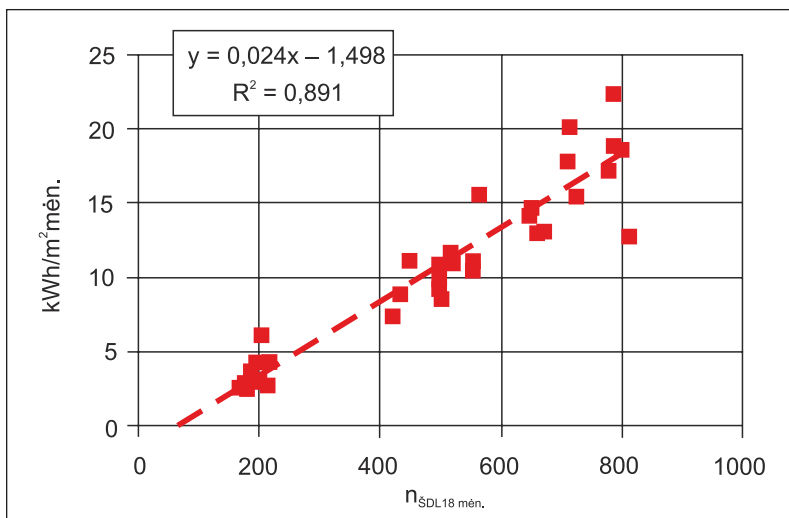
3 lentelė. Pirmosios, antrosios ir ketvirtosios pastatų grupių 2011–2012 metų šildymo sezono šilumos sąnaudos

Miestas	$\text{SDL}_{18}$	Pastatų grupė					
		1		2		4	
		kWh/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup> SDL <sub>18</sub>	kWh/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup> SDL <sub>18</sub>	kWh/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup> SDL <sub>18</sub>
Vilnius	3 378*	36,9	66,4	77,2	150,9	168,2	357,7
Kaunas	3 250	42,6	83,4	69,6	144,2	172,2	369,6
Panevėžys	3 240	39,1	74,4	62,4	126,3	155,1	336,3

\* ŠLD su indeksu 18 reiškia, kad dienolaipsniai apskaičiuoti bazinei temperatūrai  $t_b = 18$  °C.



2 pav. Pirmosios efektyvumo grupės daugiabučių mėnesinės šilumos sąnaudos



3 pav. Antrosios efektyvumo grupės daugiabučių mėnesinės šilumos sąnaudos

ketvirtosios grupės namų šilumos nuostoliai (žr. 2 lentelę)  $Hn_{\dot{S}DL} \approx 194 \text{ kWh/m}^2$ , juose šilumos išsiskyrimų ir nuostolių santykis  $Q_p/Hn_{\dot{S}DL} = 0,12$ .

Grafikai rodo (2 ir 3 pav.), kad pirmosios (mažiausiai naudojančių) ir antrosios (mažai naudojančių) grupių daugiabučių namų nereikia šildyti, kol mėnesinis  $\dot{S}DL_{18}$  skaičius neviršija: pirmajai grupei –  $152 \text{ }^\circ\text{C para}$ ; antrajai –  $61 \text{ }^\circ\text{C para}$ . 2 ir 3 pav. matyti, kad šilumos sąnaudos nėra tiesiogiai proporcingos  $\dot{S}DL_{18}$  pokyčiui, nes nustatant  $n_{\dot{S}DL_{18}}$  įskaičiuojami laikotarpiai, kai mažai energijos naudojančių pastatų šildyti nereikia. Konkrečiu atveju (2 pav., mėnesiniai  $\dot{S}DL_{18}$  pažymėti rodyklėmis) pirmosios grupės daugiabučiams proporcingai  $\dot{S}DL_{18}$  perskaičiavus šilumos sąnaudas, paklaida siekia 30 %.

Naudojantis kitų šalių energiška efektyvių pastatų statybos patirtimi, būtina jų šilumos sąnaudas perskaičiuoti vietinėmis sąlygomis. Dažniausiai tai atliekama palyginus metinius  $\dot{S}DL_{18}$  skaičius. Lygiai taip pat, kaip ir perskaičiuojant mėnesines sąnaudas, šiltesnio klimato šalyse šilumos pritekėjimai kompensuoja didesnę metinių

šilumos nuostolių dalį, todėl perskaičiavimas vėsesniam klimatui proporcingai metiniam  $\dot{S}DL_{18}$  duoda mažesnę rezultatą. Tai reiškia, kad pagal, tarkime, Pietų Vokietijos pavyzdį pastatyto identiško daugiabučio Lietuvoje šilumos sąnaudos bus didesnės nei laukta pagal vietovių  $\dot{S}DL_{18}$  santykį.

Energiškai efektyvių pastatų vertinimas naudojant  $\dot{S}DL_{18}$  iškreipia ir kitus šilumos sąnaudų rodiklius. Bazinę temperatūrą galima rasti remiantis tuo, kad šilumos sąnaudos šildymui, tenkančios vienam šildymo dienolaipsniui, nepriklauso nuo pasirinkto laikotarpio dienolaipsnių skaičiaus. Tai įmanoma dviem atvejais – arba nėra šilumos pritekėjimo, arba dienolaipsnių nustatymui pasirinkta teisinga bazinė temperatūra. Šilumos pritekėjimas naudojamuose pastatuose visada egzistuoja, todėl kyla klausimas, iki kokio dydžio metinių šilumos sąnaudų  $\text{kWh/m}^2\text{met}$ . dar galima laikyti, kad šilumos sąnaudos, tenkančios vienam  $18 \text{ }^\circ\text{C}$  pagrindu apskaičiuotam šildymo dienolaipsniui, yra pastovios. Tam, kad rastume atsakymą į šį klausimą, pateikiami 1, 2 ir 4 pastatų grupių duomenys (4, 5 ir 6 pav.)

Regresinė analizė rodo, kad ketvirtosios grupės labai daug šilumos suvartojantiems daugiabučiams determinacijos koeficientas  $R^2 = 0,0105$ . Galima laikyti, kad šilumos sąnaudos  $\text{Wh/m}^2\text{mėn.}$  ŠDL nepriklauso nuo laikotarpio dienolaipsnių skaičiaus (4 pav.).

Antrosios grupės daugiabučių santykinės šilumos sąnaudų determinacijos koeficientas  $R^2 = 0,5048$ , pirmosios grupės  $R^2 = 0,7786$  (5 ir 6 pav.). Fiziškai tai reikštų, kad santykinės šilumos sąnaudos tikrai koreliuoja su mėnesio šildymo dienolaipsnių  $\text{ŠDL}_{18}$  skaičiumi. Tai reiškia, kad pasirinkta neteisinga bazinė temperatūra. Sugretinus daugiabučių namų mėnesinių šilumos sąnaudų  $\text{kWh/m}^2\text{mėn.}$  ir santykinę sąnaudų  $\text{Wh/m}^2\text{mėn.}$  ŠDL priklausomumą nuo  $\text{ŠDL}_{18}$ , galima daryti išvadą, kad šildymo dienolaipsniai, apskaičiuoti remiantis bazine temperatūra  $18^\circ\text{C}$ , neturi būti taikomi energiškai efektyviems pastatams.

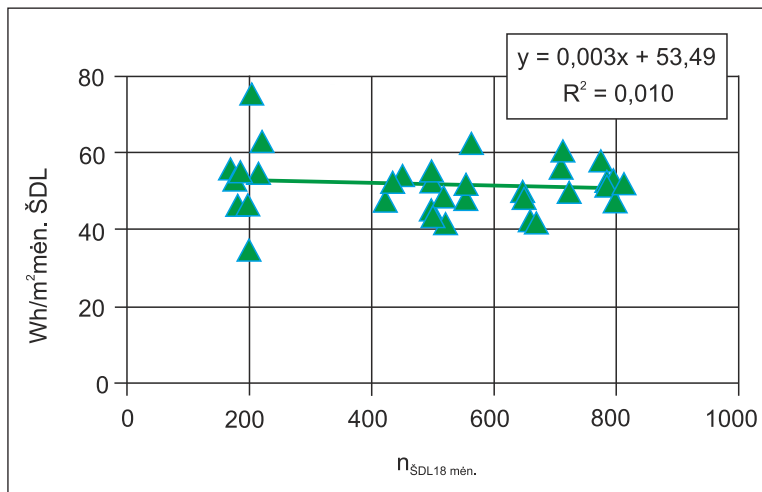
Mažai šilumos suvartojančiuose daugiabučiuose namuose bazinė temperatūra yra gerokai žemesnė už  $18^\circ\text{C}$  ir dienolaipsnių skaičiaus nustatymas pagal ją iškreipia šilumos poreikio prognozę.

Nagrinėjamų daugiabučių grupių bazinės temperatūros nustatytos  $7, 8$  ir  $9$  pav.

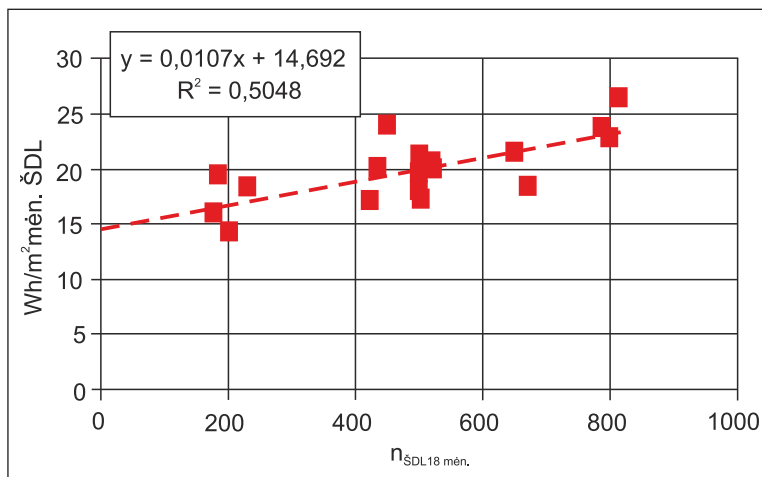
Esant teisingai parinktai bazinei temperatūrai šilumos sąnaudos yra tiesiogiai proporcingos ŠDL skaičiui. Suvartojančiuose labai daug šilumos, ketvirtosios grupės daugiabučiuose, apibendrintos sąnaudos (apskaičiavus ŠDL įvairioms bazinėms temperatūroms) tiksliausiai sutampa su koordinatinių sistemos pradžia, kai  $t_b = 18^\circ\text{C}$  (5 pav.). Išvada: labai didelių šilumos nuostolių ketvirtosios grupės gyvenamųjų namų šilumos sąnaudų vertinimas ir palyginimas proporcingai pasirinkto laikotarpio ŠDL skaičiui, kai  $t_b = 18^\circ\text{C}$ , yra pagrįstas ir priimtinas.

Mažai ar vidutiniškai šilumos naudojančių antrosios grupės daugiabučiuose šilumos sąnaudų palyginimui bazinė temperatūra turėtų būti  $10^\circ\text{C}$  (7 pav.).

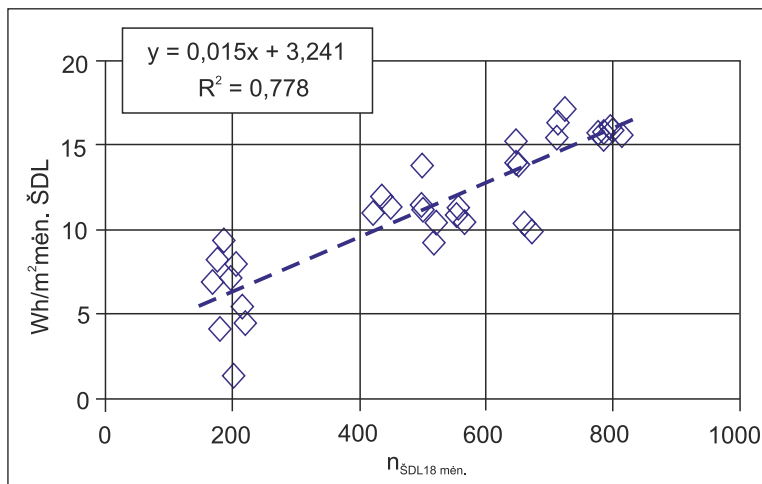
Nenurodant konkrečių šilumos sąnaudų rodiklių Jungtinėje Karalystėje gerai izoliuotiems pastatams su intensyviais šilumos išsiskyrimais taip pat rekomenduojama  $t_b = 10^\circ\text{C}$  [4], skaičiuoti įvairioms bazinėms temperatūroms dienolaipsnius taip



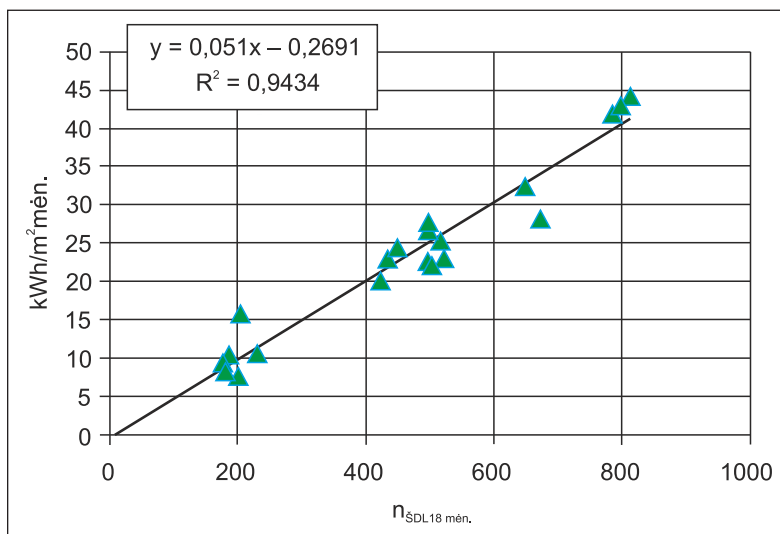
4 pav. Ketvirtosios efektyvumo grupės daugiabučių santykinės šilumos sąnaudos, tenkančios vienam šildymo dienolaipsniui



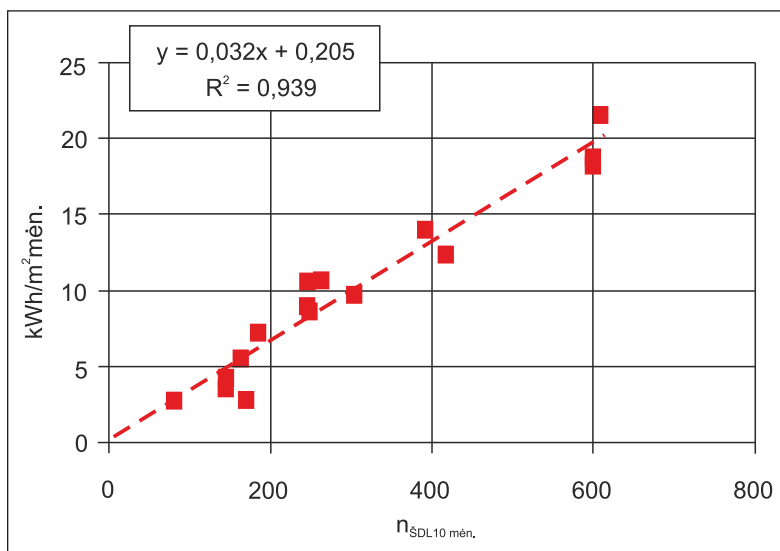
5 pav. Antrosios efektyvumo grupės daugiabučių santykinės šilumos sąnaudos, tenkančios vienam šildymo dienolaipsniui



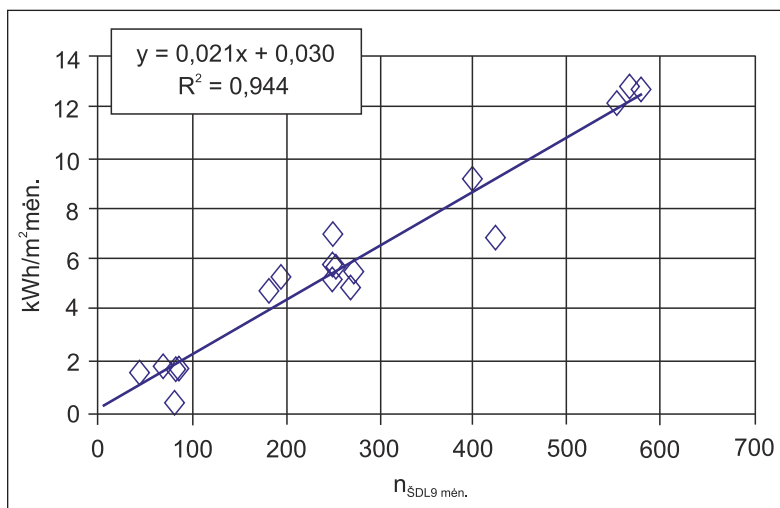
6 pav. Pirmosios efektyvumo grupės daugiabučių santykinės šilumos sąnaudos, tenkančios vienam šildymo dienolaipsniui



7 pav. Ketvirtosios efektyvumo grupės daugiabučių bazinė temperatūra



8 pav. Antrosios efektyvumo grupės daugiabučių bazinė temperatūra



9 pav. Pirmosios efektyvumo grupės daugiabučių bazinė temperatūra

pat siūloma Lenkijoje [5], JAV vietovėms nenurodant ŠDL panaudojimo srities apskaičiuota bazinėms temperatūroms nuo 65 iki 40 °F (18,3–4,4 °C) [2].

Pastatų grupės apima gyvenamuosius namus pagal šilumos sąnaudas tam tikrame šilumos sąnaudų intervale, todėl grafikuose apibrėžiama vidutinė namų grupės bazinė temperatūra. Iš viso mažiausiai šilumos naudojančiuose pirmosios grupės namuose bazinė temperatūra yra artima 9 °C (9 pav.), o iš jų energiška efektyviausių namų artima 6 °C, todėl siūlytina pirmajai efektyvumo grupei bazine temperatūra laikyti 8 °C.

Lauktinas šilumos mėnesinių sąnaudų neapibrėžtumas priklauso nuo pastato šiluminio efektyvumo, jis didesnis mažesnių sąnaudų pastatams (žr. žemiau). Galima laikyti, kad daugiabučių, kurių metinės šilumos sąnaudos viršija 33 kWh/m²met., bazinė temperatūra tiesiškai priklauso nuo metinių šilumos sąnaudų (10 pav.).

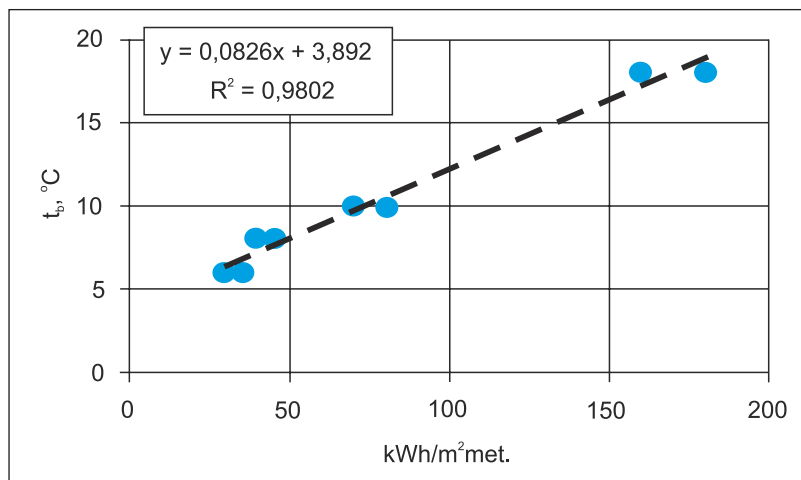
## REZULTATŲ PATIKIMUMAS

Energijos sąnaudų vertinimas, kaip šildymo dienolaipsnių funkcijos neapibrėžtumas, priklauso nuo daugelio veiksnių; matavimų, aplinkos ir patalpų parametrų kitimo; pastato šiluminių charakteristikų, bazinės temperatūros ir t. t. neapibrėžtumų. Visų šių veiksnių įtaka didėja mažėjant bazinės ir lauko oro temperatūros skirtumui. A. R. Day ir T. G. Karayiannis atliko išsamią mėnesio ir šildymo sezono dienolaipsnių skaičiaus įtakos, apskaičiuotos energijos poreikio neapibrėžtumui, analizę 95 % pasikliautinumo ribose [4]. Mėnesio ŠDL skaičiaus neapibrėžtumas:

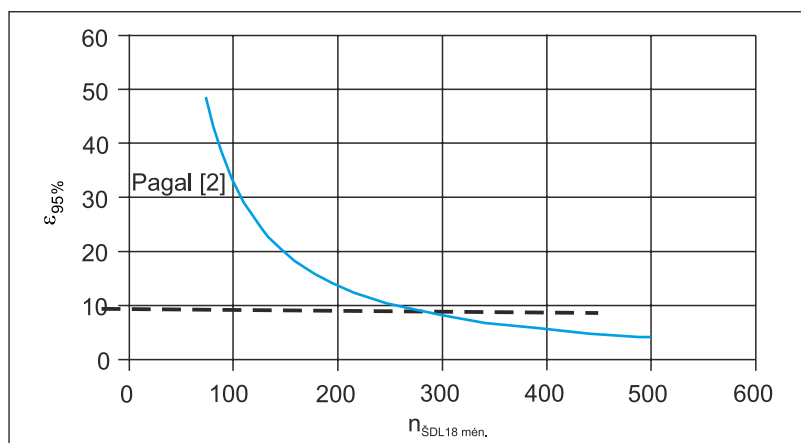
$$\varepsilon_{95\%} = 130n_{\text{mėn.}}^{-1,3} \cdot 100\%; \quad (4)$$

čia:  $\varepsilon_{95\%}$  – neapibrėžtumas 95 % pasikliautinumo ribose;  $n_{\text{mėn.ŠDL}}$  – mėnesio ŠDL skaičius;  $\Sigma n_{\text{sezŠDL}}$  – šildymo sezono ŠDL suma.

Šilumos poreikio skaičiuotės pagal mėnesinį ŠDL skaičių neapibrėžtumas pa-vaizduotas 11 pav. Daugelį mėnesių šalyse aplink Baltijos jūrą mėnesinis  $n_{\text{ŠDL18}} > 250$ , todėl mėnesinio poreikio neapibrėžtumas



10 pav. Bazinė temperatūra įvairaus energinio efektyvumo daugiabučiuose



11 pav. Mėnesinio energijos sąnaudų nustatymo neapibrėžtumas [4]

gali viršyti 10 % tik šildymo sezono pradžioje arba pabaigoje, kai šilumos poreikis nedidelis.

Pasirinktų miestų mėnesinis dienolaipsnių skaičius  $\dot{S}DL_{18}$  kinta tarp 169 ir 812, o metinis viršija 3 000. Įvertinus šildymo periodo įvairių mėnesių energijos poreikių indėlį į metines sąnaudas, galima teigti, kad naudojantis  $\dot{S}DL_{18}$  šilumos poreikių rodikliu metinis neapibrėžtumas neviršija 6 %. Analizuotame šilumos sąnaudų intervale esant žemesnei bazinei temperatūrai dėl mažesnio temperatūrų skirtumo metinis neapibrėžtumas lauktinas iki 9 %.

## REZULTATŲ APTARIMAS

Taikant dienolaipsnių metodą pastato šildymui ir vėdinimui šilumos poreikio nustatymui priimama supaprastinimų: remiamasi vidutinėmis patalpų ir lauko oro temperatūromis, priimamos tam tikros vidinių šilumos išsiskyrimų ir infiltracinės oro kaitos vertės, todėl naudojant šį metodą rastieji rezultatai yra apytikriai. Metodo trūkumus nusveria aiški fizinė prasmė, taikymo paprastumas, pradiniai duomenys randami matavimais arba

pastato projekto dokumentacijoje. Plintant energiškai efektyviems pastatams vis svarbesni tampa šilumos pritekėjimai, auga jų įtaka metinėms šilumos sąnaudoms. Šilumos pritekėjimo įtaka didesnė šiltesnio klimato šalyse, nes jose mažesni šilumos nuostoliai. Perimant energiškai efektyvių pastatų statybos patirtį privaloma turėti patikimą įvairaus klimato pastatų energijos sąnaudų palyginimo įrankį. Į dienolaipsnių skaičių, apskaičiuotą pagal šilumos netaupančių pastatų patirtį, įtraukiami periodai, kai energiškai efektyvių pastatų nereikia šildyti. Taigi, pastatų palyginimui ir vertinimui naudojant šildymo dienolaipsnių metodą, dienolaipsniai privalo būti apskaičiuojami pagal bazinę temperatūrą, atitinkančią pasirinktos pastatų grupės šiluminį efektyvumą.

Apdorojus šilumos tinklų įmonių matavimų duomenis, nustatytos rekomenduojamos bazinės temperatūros įvairaus energinio efektyvumo daugiabučiams namams. Nėra esminių skirtumų tarp Lietuvos Respublikos ir kaimyninių šalių statybos tradicijų, gyventojų įpročių, buitinės įrangos, todėl galima teigti, kad šios bazinės temperatūros gali būti taikomos visose Baltijos rytinės pakrantės šalyse.



## IŠVADOS

1. Energiškai efektyvių pastatų šilumos sąnaudų prognozavimas ir lyginimas proporcingai atitinkamo laikotarpio šildymo dienolaipsnių skaičiui, kai bazinė temperatūra laikoma 18 °C, yra tik kokybinis, netaikytinas inžineriniuose ir ekonominiuose skaičiavimuose.

2. Nustatyta įvairaus šiluminio efektyvumo daugiabučių gyvenamųjų namų balansinė temperatūra ir priklausomybė tarp metinio daugiabučių namų šilumos sąnaudų šildymui ir bazinės temperatūros. Bazinė temperatūra pastatams, kuriuose šilumos sąnaudos šildymui ir vėdinimui yra 40 kWh/m<sup>2</sup>met., laikytini +8 °C, esant sąnaudoms 75 kWh/m<sup>2</sup>met. – +10 °C, o energiškai neefektyviuose pastatuose, kurių šilumos sąnaudos didesnės kaip 150 kWh/m<sup>2</sup>met., +18 °C.

Gauta 2012 10 19  
Priimta 2013 02 07

## Literatūra

1. ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2004. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings.
2. *ASHRAE Handbook: Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2005. 1000 p.
3. *BIZEE. Degree Days. Weather Data for Energy Professionals*. Prieiga per internetą: <http://www.degreedays.net/#generate>
4. *CIBSE. Degree-Days: Theory and Application, TM41: 2006*. Prieiga per internetą: [https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2008/1/ME550/1/material\\_docente/bajar?id\\_material=165384](https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2008/1/ME550/1/material_docente/bajar?id_material=165384)
5. Dopke J. *Zależności między liczbami stopniodni grzania na przykładzie Częstochowy*, 2011. Prieiga per internetą: [http://www.cire.pl/pokaz-pdf-%252Fpliki%252F2%252FDopke323\\_zaleznoszczestochowa.pdf](http://www.cire.pl/pokaz-pdf-%252Fpliki%252F2%252FDopke323_zaleznoszczestochowa.pdf)
6. *Europos Parlamento ir Tarybos Direktyva 2010/31/ES 2010 m. gegužės 19 d. dėl pastatų energinio naudingumo*. Prieiga per internetą: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:LT:PDF>
7. Kveselis V. *Energijos vartojimo efektyvumo didinimo stebėsenos sukūrimas*. LEI. 2008. Prieiga per internetą: [http://www.ena.lt/doc\\_atsti/EVED\\_stebesena.pdf](http://www.ena.lt/doc_atsti/EVED_stebesena.pdf)
8. Laustsen J. *Energy Efficiency Requirements in Building Codes. Energy Efficiency Policies for New Buildings*. International Energy Agency, 2008. Prieiga per internetą: [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Building\\_Codes-1.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Building_Codes-1.pdf)

9. *Šilumos suvartojimo analizė*. LŠTA. Prieiga per internetą: <http://www.lsta.lt/lt/pages/apie-silumos-uki/silumos-suvartojimo-analize>
10. Nielsen L. N. Experiences from built houses and detailed building simulations calls for a careful and integrated approach when designing heating and cooling systems for nearly zero energy buildings. *REHVA European HVAC Journal*. 2011.
11. Nieminen J., Holopainen R., Lylykangas K. *Concepts and market acceptance of a cold climate Passive House*. Prieiga per internetą: [www.eukn.org/dsresource?objectId=209494](http://www.eukn.org/dsresource?objectId=209494)
12. The Passivhaus Standard in European warm climates: design guidelines for comfortable low energy homes. Part 1. A review of comfortable low energy homes. Prieiga per internetą: <http://www.passive-on.org/CD/1.%20Technical%20Guidelines/Part%201/Part%201%20-%20English.pdf>
13. *Statybinė klimatologija* RSN 156-94. Oficialusis leidinys. Vilnius, 1995. 135 p.

## Egidijus Juodis

### THE BOUNDARIES OF HEATING DEGREE-DAYS APPLICATION TO COMPARE CONSUMPTION AND FORECAST HEAT DEMAND FOR RESIDENTIAL SPACE HEATING

#### Summary

Heating degree-days (HDD) are used to evaluate and compare heat consumption in buildings at various climate. HDD calculation is based on climate parameters and base temperature. The base temperature is equal to balance temperature of a building when heat gains compensate heat loss. Implementation of energy-efficient buildings means lesser loss and higher role of heat gains. The problem is to which level of heat consumption in various climates HDD are a reliable tool to compare heat consumption and to forecast heat demand.

Heat consumption per one HDD, if base temperature is set right, does not depend on the HDD number of the given period. The conclusion is drawn that the number of HDD based on 18 °C or similar is not applicable to energy-effective buildings. Periods of high outdoor temperature when energy-effective buildings do not need heating are included into the number of HDD18.

After heat consumption comparison in various Lithuania's towns, the base temperature is considered to be 8 °C if heat consumption is 40 kWh/m<sup>2</sup>a, and 10 °C at 75 kWh/m<sup>2</sup>a, respectively. There are no essential differences between construction traditions and living habits of the Baltic States, so these base temperatures may be applicable in all East Baltic Coast States.

**Key words:** heating degree-days, energy-effective buildings, base temperature

Эгидиус Юодис

## ПРЕДЕЛЫ ПРИМЕНИМОСТИ ГРАДУСО-ДНЕЙ ДЛЯ СРАВНЕНИЯ И ПРОГНОЗА ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ОТОПЛЕНИЕ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

### *Резюме*

Для оценки и сравнения теплопотребления зданиями в местностях с разным климатом используются градусо-дни отопления. Расчет градусо-дней основан на климатических характеристиках местности и базовой температуре. Базовая температура по определению равна балансной температуре здания при которой тепловыделения компенсируют теплопотери зданием.

При переходе к строительству энерго-эффективных зданий теплопотери снижаются, возрастает роль тепловыделений. Возникает вопрос до какого уровня теплопотерь градусо-дни являются достаточно надежным инструментом для сравнения и оценки теплопотерь в разном климате и для прогноза теплопотребления. Теплопотребление, отнесенное к одному градусо-дню, при правильном подборе базовой температуры

не зависит от числа градусо-дней отопления данного периода. На основе этого исходя из сравнения данных коммерческого расчета теплоснабжающих организаций Литвы за тепло на отопление многоквартирных зданий и теплопотребления, отнесенного на один градус день, делается вывод, что градусо-дни на основе базовой температуры 18 °С или близкой к ней не должны применяться для энерго-эффективных зданий ибо включает в себя периоды, когда энерго-эффективные здания не нуждаются в отоплении.

Базовая температура для зданий, теплопотребление которых составляет 40 кВтч/м<sup>2</sup> год, определена равной 8 °С, а при теплопотреблении 75 кВтч/м<sup>2</sup> год – 10 °С. Нет существенных различий между строительными традициями, образом жизни и оснащенностью бытовыми приборами жителей Литвы и сопредельных стран, поэтому можно утверждать, что эти базовые температуры применимы во всех странах восточного Балтийского побережья.

**Ключевые слова:** градусо-дни отопления, энерго-эффективные здания, базовая температура