

JUOSTINIO PAMATO ILGINIO ŠILUMINIO TILTTELIO EFEKTYVUMO TYRIMAS A+ KLASĖS PASTATUOSE

Donatas Aviža, Rita Baltušnikienė, Jovita Kaupienė

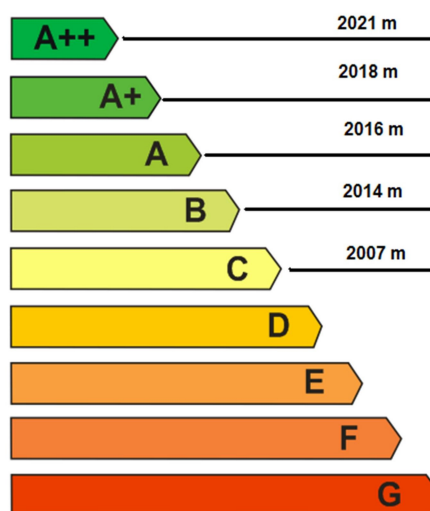
*Panevėžio kolegija, Lietuva
Kauno technologijos universitetas, Lietuva*

Anotacija. Šiame straipsnyje autoriai atliko A+ energinio naudingumo klasės gyvenamojo namo juostinio pamato ilginio šiluminio tiltelio energinio ir ekonominio efektyvumo taikomąjį tyrimą. Atlikus termodinaminio modeliavimo tyrimą, nustatyta, kad A+ klasės gyvenamojo namo juostinį pamatą efektyviausia iš išorinės pusės apšiltinti 250 mm storio EPS100 polistireninio putplasčio plokštėmis (V2 variantas). Šioje pozicijoje šiluminio ilginio tiltelio vertė yra lygi 0,354 W/(mK). Metiniai šilumos nuostoliai per šildymo sezoną per 1 metrą tokio tipo jungties yra $Q = 36,26$ kWh/m, išlaidos sudaro 2,21 €/m. Nustatytas paprastasis atsipirkimo laikas – 3,9 metai. Pats blogiausias variantas – pamatą šiltinti iš vidinės pastato pusės ekstruzinio polistireninio putplasčio plokštėmis, atsipirkimo laikas – 210 metų. Šio tyrimo rezultatai yra aktualūs projektuotojams, investuotojams, sertifikavimo ekspertams ir kitiems statybos dalyviams. Esant kitokioms pirminėms prielaidoms (skirtingoms medžiagoms, energijos kainai ir pan.), ši tyrimą reiktų patikslinti.

Raktiniai žodžiai: pamato ilginis šilumos tiltelis, A+ energinio naudingumo klasė, juostinis pamatas.

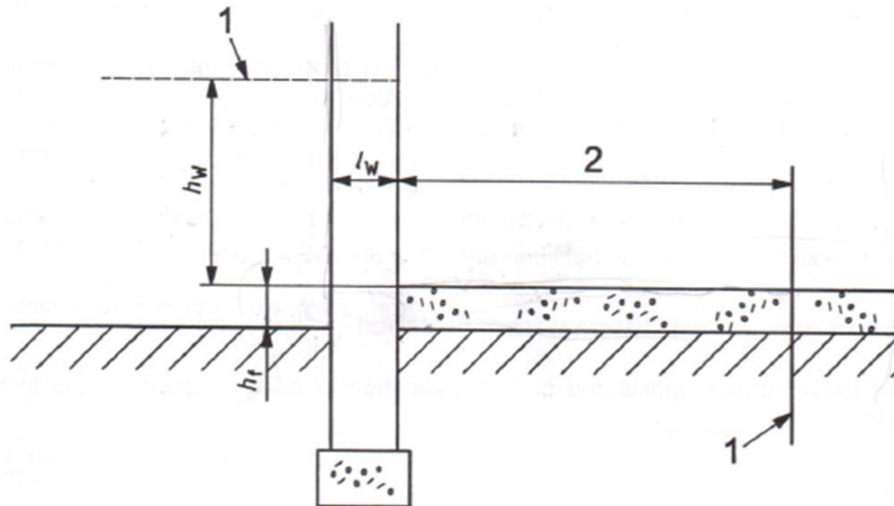
ĮVADAS

Pagal šiuo metu galiojančią statybos techninę reglamentą STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ (STR, 2016) visi naujos statybos šildomi pastatai, turi būti ne žemesnės kaip A+ energinio naudingumo klasės (žr. 1 pav.).



1 pav. Pastatų energinio naudingumo klasifikavimas į klases (Aviža, Turskis, 2014)

Remiantis norminiais reikalavimais A, A+, A++ energinio naudingumo klasės pastatų (jų dalių) ilginių šilumos tiltelių šilumos perdavimo koeficientų vertės turi būti pagrįstos skaičiavimais pagal LST EN ISO 10211:2008 „Statybinių konstrukcijų šiluminiai tilteliai. Šilumos srautai ir paviršiaus temperatūros. Detalieji skaičiavimai“ (LST, 2008a). reikalavimus. Modelio kontūro apribojimai pateikti 2 paveikslėlyje.



2 pav. Pastato pamato-išorinės sienos šiluminio tiltelio skaičiuojamoji schema (LST, 2008a).

Pastaba: Modelio kontūro išmatavimai $2,5 \times B'$ arba 20 m žemyn į gruntą ir į išorinę pastato pusę. Čia: 1- pjūvio zonos, 2- $0,5 \times B'$ arba 4 m , h_f - atstumas nuo žemės paviršiaus iki $\pm 0,00$ altitudės (grindų ant grunto viršaus), h_w - skaičiuojamasis sienos aukštis $3 \times l_w$ arba 1 m , l_w - sienos storis.

Ilginio šiluminio tiltelio šilumos perdavimo koeficientas (Ψ) – šilumos srauto tankis, tenkantis šiluminio tiltelio ilgio vienetui, kai oro temperatūrų skirtumas abiejose atitvaros pusėse $1 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$) (STR, 2016).

Siekiant suprojektuoti mažai energijos vartojančius pastatus, būtina apskaičiuoti visus ilginius šiluminius tiltelius. Pastate yra 8 vietos kuriose galimi nuostoliai per ilginius šiluminius tiltelius (žr. 1 lentelę). Realiose projektuose, jų skaičius dažnai būna didesnis.

1 lentelė

Norminės ilginių šilumos tiltelių vertės (STR, 2016)

Ilginiai šiluminiai tilteliai	Ilginių šiluminių tiltelių šilumos perdavimo koeficientų $\Psi_{(A+)}$ ($\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$) vertės
Tarp pastato pamatų ir išorinių sienų	0,10
Apie langų angas sienose	0,05
Apie išorinių įėjimo durų angas sienose	0,05
Tarp pastato sienų ir stogo	0
Fasadų išoriniuose ir vidiniuose kampuose	0
Balkonų grindų susikirtimo vietose su išorinėmis sienomis	0,01
Tarp perdangų, kurios ribojasi su išore, ir sienų	0
Stoglangių, švieslangių ir kitų skaidrių atitvarų angų perimetru	0,05

Šiame tyrime toliau bus nagrinėjamas A+ klasės gyvenamojo pastato tipinis cokolio mazgas, keičiant juostinio pamato apšiltinimo tipus ir pozicijas. Termodinamikos metodais sumodeliuoti juostinio pamato ilginiai šiluminiai tilteliai bei nustatytas efektyviausias apšiltinimo variantas.

TYRIMO MODELIS

Atliekant juostinio pamato ilginio šiluminio tiltelio efektyvumo tyrimus, parinktas A+ klasės gyvenamasis namas. Modelio techniniai-ekonominiai rodikliai pateikti 2 lentelėje.

Parinkto modelio techniniai-ekonominiai rodikliai

Rodiklio pavadinimas ir matavimo vienetai	Skaitinė vertė
Juostinio pamato perimetras l, m	1,0
Lauko temperatūra žiemą θ_e , °C	0,6
Vidaus temperatūra žiemą θ_i , °C	20
Šildymo sezonas t, d	220
Šildymo laikas per parą, val.	24
Šildomų grindų plotas, m ²	150,0
Grindų perimetras, m	50,0
Pamato plotis, m	0,30
Šiluminės energijos kaina, E (CŠT), €/kWh	0,061
Ekstruzinio polistireninio putplasčio (XPS 200) kaina, €/m ³	105,0
Polistireninio putplasčio (EPS 100) kaina, €/m ³	62,99

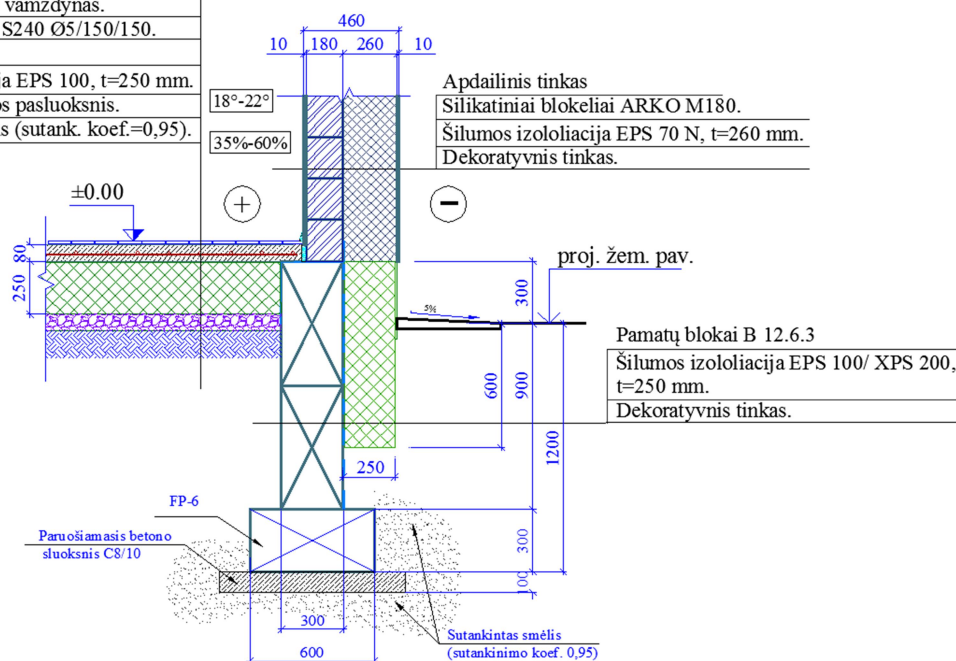
Tyrimo modelį sudaro tipinis cokolio mazgas (3 pav.). Tirti septyni juostinio pamato apšiltinimo variantai (3 lentelė).

Siena – dvisluoksnis silikatinių blokelių mūras apšiltintas neoporo plokštėmis EPS 70 N. Sienos šilumos perdavimo koeficientas $U=0,11 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Grindys apšiltintos 250 mm storio polistireninio putplasčio EPS100 plokštėmis. Grindų ant grunto šilumos perdavimo koeficientas $U=0,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Juostinio pamato cokolio apšiltinimui parinkta ekstruzinio polistireninio putplasčio XPS 200 plokštė, kurios deklaruojamas laidumo koeficientas yra $\lambda_D = 0,033 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ir polistireninis putplastis EPS100, kurio deklaruojamas laidumo koeficientas yra $\lambda_D = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

Grindų danga

Armuotas išlyginamasis sluoksnis; betonas C25/30 S3 -80mm.
Grindinio šildymo vamzdynas.
Armaturės tinklas S240 Ø5/150/150.
Hidroizoliacija.
Šilumos izoliacija EPS 100, t=250 mm.
Sutankintas skaldis pasluoksnis.
Sutankintas gruntas (sutank. koef.=0,95).


3 pav. Tipinis cokolio mazgas (V2/V3 variantai)

Taigi, cokolis šiltintas skirtingomis medžiagomis ir skirtingais išdėstymo variantais. Modeliuota, kuris ilginis šiluminis tiltelis yra efektyviausias ekonomiškumo požiūriu.

SKAIČIAVIMO METODOLOGIJA

Remiantis standarto LST EN ISO 10211:2008 „Statinių konstrukcijų šiluminiai tilteliai. Šilumos srautai ir paviršiaus temperatūros. Detalieji skaičiavimai“ (LST, 2008a) reikalavimais, ilginio šiluminio tiltelio šilumos perdavimo koeficientas buvo skaičiuojamas pagal (1) formulę:

$$\psi = L_{2D} - U_1 \cdot l_1 - U_{fg} \cdot l_2; \quad (1)$$

čia: ψ – juostinio pamato ilginio šiluminio tiltelio šilumos perdavimo koeficientas $W/(m \cdot K)$; L_{2D} – linijinio šiluminio tiltelio savitieji šilumos nuostoliai, nustatyti skaičiuojant dvimatį temperatūrinį lauką komponentui, kuris skiria dvi aplinkas (vidų ir išorę); U_1 – sienos šilumos perdavimo koeficientas; l_1 – dvimačio geometrinio modulio ilgis, kuriam paskaičiuota šilumos perdavimo koeficiento U_1 vertė; U_{fg} – grindų ant grunto šilumos perdavimo koeficientas (žr. 2 formulę); l_2 – dvimačio geometrinio modulio ilgis, kuriam paskaičiuota šilumos perdavimo koeficiento U_{fg} vertė.

Bendrieji duomenys ir bendrosios formulės atitvarų, turinčių sąlytį su gruntu, skaičiavimams pateikti STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“ ir LST EN ISO 13370:2008 „Šiluminės pastatų charakteristikos. Šilumos pernaša gruntu. Skaičiavimo metodai (ISO 13370:2007)“ dokumentuose (LST, 2008b).

Grindų ant grunto projektinis šilumos perdavimo koeficientas U_{fg} , $W/(m^2 \cdot K)$, apskaičiuotas pagal formulę:

$$U_{fg} = U_0 + \frac{2 \cdot \Delta\Psi}{B'} \quad (2)$$

čia: U_0 – grindų ant grunto šilumos perdavimo pagrindinė dedamoji, priklausanti nuo grindų, ploto, jų formos ir grindis ribojančių sienų storio, $W/(m^2 \cdot K)$; $\Delta\Psi$ – pataisa, įvertinanti pakraščių vertikalojo apšiltinimo įtaką;

B' – būdingasis grindų matmuo.

Šilumos nuostoliai (Q) ir metinės išlaidos (I) dėl sienos-pamato ilginio šiluminio tiltelio poveikio skaičiuojami pagal (3) ir (4) formules:

$$Q = \psi \cdot l \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot 24 \cdot t \quad (3)$$

$$I = Q \cdot E \quad (4)$$

čia: formulių (3) ir (4) nariai pateikti 2 lentelėje.

Paprastasis atsipirkimo laikas apskaičiuotas pagal (5) formulę:

$$PS = \frac{I_0}{\Delta S} \quad (5)$$

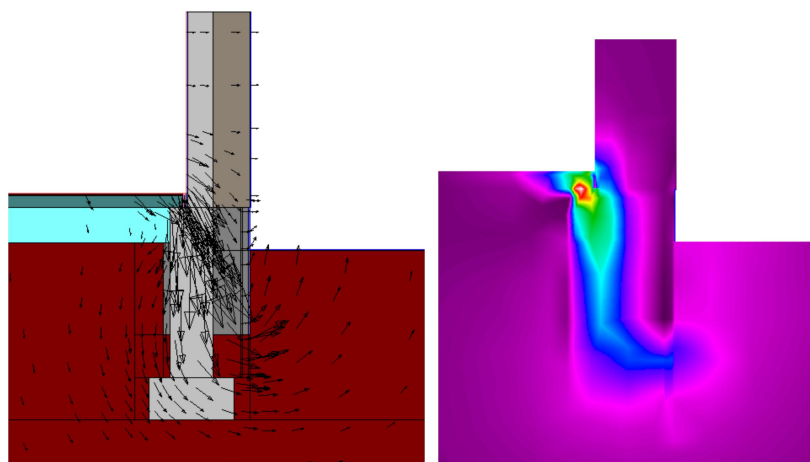
čia: I_0 – pradinė investicija, €/m²;

ΔS – kasmetiniai sutaupymai, pirmųjų metų verte, $€/(m^2 \cdot \text{metai})$.

Tolimesniems skaičiavimams buvo parinktas tas pats cokolio mazgas, keičiamas tik apšiltinimo medžiagos tipas ir pozicija.

TYRIMO REZULTATAI

Pagal sudarytą modelį, *THERM 7.4* programine įranga buvo atlikti ilginių šiluminių tiltelių termodinaminiai skaičiavimai. Jų rezultatai pateikti 4 paveiksle ir 3 lentelėje.



4 pav. Juostinio pamato ilginių tiltelių modeliavimas THERM 7.4 programa

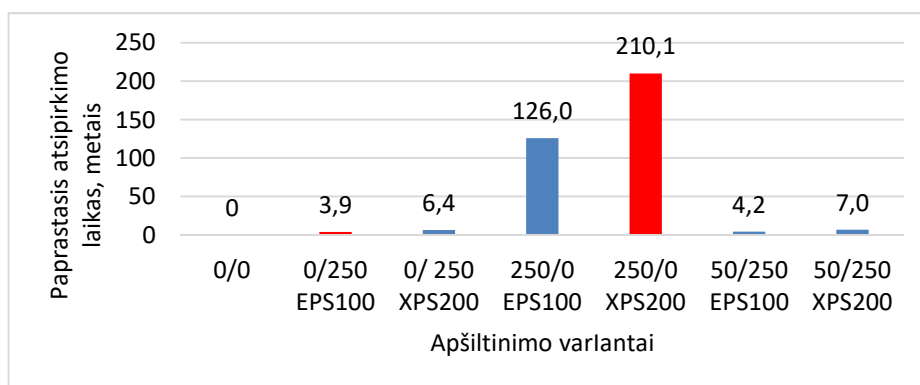
Pagal gautus ilginių šiluminių tiltelių rezultatus, buvo apskaičiuoti vieno šildymo sezono šiluminiai nuostoliai, sąnaudos ir sutaupymai (3 lentelė).

3 lentelė

Ilginiai šiluminiai tilteliai, šiluminiai nuostoliai per šildymo sezono laikotarpį, išlaidos ir sutaupymai

Tiltelio numeris	Apšiltinimo storis (vidus/išorė), mm	Ilginis tiltelis ψ , W/(mK)	Šiluminiai nuostoliai, kWh/m	Išlaidos, €/m	Pradinė investicija (apšiltinimo medžiagų kaina), €/m	Sutaupymai, €/m
V1	0/0	0,938	96,08	5,86	0,00	0,00
V2	0/250 EPS100	0,354	36,26	2,21	14,17	3,65
V3	0/250 XPS200	0,349	35,75	2,18	23,63	3,68
V4	250/0 EPS100	0,925	94,75	5,78	10,24	0,08
V5	250/0 XPS200	0,925	94,75	5,78	17,06	0,08
V6	50/250 EPS100	0,326	33,39	2,04	16,22	3,82
V7	50/250 XPS200	0,318	32,57	1,99	27,04	3,87

Atlikus ekonominę vertinimą, nustatytas kiekvieno pamato apšiltinimo varianto paprastas atsipirkimo laikas (žr. 5 pav.).



5 pav. Paprastas atsipirkimo laikas

Atlikus modelio simuliaciją, nustatyta, kad efektyviausia juostinio pamato jungtis atitinka V2 poziciją, kadangi paprastais atsipirkimo laikas yra lygus 3,9 metai. Blogiausias variantas – V5 pozicija, kai atsipirkimas siekia net 210 metų, todėl nerekomenduojama pamatų šiltinti vien tik iš vidinės pusės.

IŠVADOS

1. Atlikus termodinaminio modeliavimo tyrimą, nustatyta, kad A+ klasės gyvenamojo namo juostinį pamatą efektyviausia iš išorinės pusės apšiltinti 250 mm storio EPS100 polistireninio putplasčio plokštėmis (V2 variantas). Šioje pozicijoje šiluminio ilginio tiltelio vertė yra lygi 0,354 W/(mK).
2. Metiniai šilumos nuostoliai per šildymo sezoną per 1 metrą tokio tipo jungties yra $Q = 36,26$ kWh/m, išlaidos sudaro 2,21 €/m. Nustatytas paprastasis atsipirkimo laikas – 3,9 metai.
3. Blogiausias variantas – pamatą šiltinti iš vidinės pastato pusės ekstruzinio polistireninio putplasčio plokštėmis, atsipirkimo laikas – 210 metų.
4. Atlikus modelio simuliaciją, nustatyta, kad šiluminių nuostolių skirtumas tarp šilumos izoliacijos EPS100 ir XPS200 yra neženklus bei sudaro 1,4 proc., tačiau medžiagų pabrangimas naudojant XPS200 sudaro iki 40 proc.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

- Aviža, D., Turskis, Z. (2014). An empirical analysis of correlation of floor's thermal isolation layer thickness with time of payback. *Journal of Civil Engineering and Management*. 20(5): 760–766. Thomson Reuters Web of Knowledge (ISI Web of Science), IF2012=2,016.
- LST. (2008a). LST EN ISO 10211:2008 „Statinių konstrukcijų šiluminiai tilteliai. Šilumos srautai ir paviršiaus temperatūros. Detalieji skaičiavimai“. Vilnius, 2008.
- LST. (2008b). LST EN ISO 13370:2008 „Šiluminės pastatų charakteristikos. Šilumos pernaša gruntu. Skaičiavimo metodai (ISO 13370:2007)“. Vilnius, 2008.
- STR. (2016). STR 2.01.02:2016 „Pastatų energinio naudingumo projektavimas ir sertifikavimas“. Vilnius, 2016.

Summary

Study on linear shallow foundation thermal bridge efficiency in A+ class buildings

In this article, the authors carried out a research on a typical linear shallow foundation thermal bridge of class A+ residential building, based on the principles of energy and economic efficiency. The thermodynamic study showed that the most economical way to heat the shallow foundation of a A + class residential building is with a continuous insulation thickness of 250 mm EPS100 (V2 position). In this position the linear foundation thermal bridge is equal to 0.354 W/(mK). The annual cost per 1 meter of this connection is 2.21 €/m. The simple payback period is 3.9 years. By heating the foundation with extruded polystyrene foam panels (from the inside of the building) is the worst option, and the payback can reach 210 years.