



PASTATO IŠORINIŲ ATITVARŲ APŠILTINIMO TIKSLINGUMAS 2E RODIKLIŲ POŽIŪRIU

Mantas KIJEVIČIUS¹, Kęstutis VALANČIUS²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹mantas.kijevicius@vgtu.lt; ²kestutis.valancius@vgtu.lt

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjamas pastato išorinių atitvarų apšiltinimo tikslingumas 2E (energinis – pirminės energijos sąnaudų ir ekologiniu – CO₂ – išmetalų) kriterijų požiūriu. Apžvelgti teoriniai darbai, kuriuose statybinės medžiagos nagrinėjamos pirminės energijos ir poveikio aplinkai vertinimo (PAV) požiūriu. Tyrimo objektu pasirinktas gyvenamosios paskirties pastatas. Nagrinėjamos skirtingos išorinių atitvarų termoizoliacinės medžiagos, nustatomi pirminės energijos kiekiai ir CO₂ išmetalai apšiltinant atitvaras nuo F iki B ir nuo B iki A++ pastato energinės klasės. Vertinama pagal gyvavimo ciklo analizės metodiką. Pateikiama grafinė interpretacija, rodanti sutaupytos pirminės energijos ir CO₂ kiekius per 60 metų laikotarpį, identifikuojamos energetiškai ir ekologiškai priimtinausios termoizoliacinės medžiagos pastatams apšiltinti.

Reikšminiai žodžiai: išorinių atitvarų apšiltinimas, gyvavimo ciklo analizė, pirminė energija, CO₂ išmetalai, termoizoliacinės medžiagos, SimaPro.

Įvadas

Pastato išorinių atitvarų apšiltinimas – vienas dažniausiai priimamų sprendimų, siekiant sumažinti pastato šilumos sąnaudas. Ir įprastai toks pastato energinio efektyvumo didinimą lemiantis veiksnys yra ekonominis, t. y. investicijų į šilumos perdavimo koeficiento mažinimą atsiperkamumas dėl sumažėjusių išlaidų pastato šilumos poreikiams. Tačiau termoizoliacinių medžiagų kaina ne visada atspindi įdiegtos pirminės energijos, kartu ir išmetalų kiekius, reikalingus jai pagaminti. Todėl visapusiškai vertinant pastato išorinių atitvarų apšiltinimą būtina nustatyti tiek pirminės energijos, tiek CO₂ išmetalų kiekius atskirose (gamybos, naudojimo) termoizoliacinių medžiagų gyvavimo ciklo fazėse.

Remiantis energinio naudingumo reikalavimais (2010/31/ES), naujiems statomiems pastatams, kurių statybos darbai yra pradėti po 2014 m. sausio 1 d., energinio naudingumo klasė turi būti ne žemesnė kaip B. A klasė turi būti pasiekta statant naujus pastatus nuo 2016 m. sausio 1 d., o po 2021 m. sausio 1 d. pastato energinio naudingumo klasė turi būti ne žemesnė kaip A++. Vienas pagrindinių rodiklių, lemiančių pastato energinę klasę, yra išorinių atitvarų šilumos perdavimo koeficientas, todėl jo mažinimas (atitvarų apšiltinimas) išlieka pagrindiniu prioritetu siekiant minėtų tikslų. O norint visapusiškai (ne tik ekonomiškai) nagrinėti pastatų atitvarų apšiltinimo tikslingumą, būtina taikyti gyvavimo ciklo analizės (GCA) metodus.

GCA privalumas, palyginti su kitais įtakos aplinkai vertinimo metodais, yra sistemos ribų išplėtimas, įtraukiant produkto gyvavimo ciklo metu daromą poveikį aplinkai, neapsiribojant emisijomis ir atliekomis, susidariusiomis tik įmonėje. Modeliavimas yra pagrindinis metodas, atliekant GCA. Modelis formuojamas inventorinės analizės metu nagrinėjant tyrinėjamo objekto gamybos, naudojimo ir sunaikinimo fazes (Goedkoop *et al.* 2010).

Bribián *et al.* (2010) aprašė, kad pirmieji gyvenamųjų pastatų gyvavimo ciklo tyrimai buvo pradėti praėjusiame amžiuje. Autoriai nurodo, kad Adalberth dar 1978 m. pasiūlė metodiką, leidžiančią atsižvelgti į GCA fazės energijos požiūriu pastatuose nuo pastatymo iki sugriovimo, šią metodiką pritaikė viena Švedijos įmonė, statanti medinius surenkamuosius namus, ir palygino su kitomis statybinėmis medžiagomis.

Korjenic *et al.* (2011) akcentuoja energijos vartojimo efektyvumo pastatuose vertinimą ne tik pagal šilumos poreikį, bet ir atsižvelgus į pirminės energijos, ekologinių statybinių medžiagų naudojimą. Autorė perspektyvoje mato, kad pirmenybė turi būti teikiama natūralių termoizoliacinių medžiagų naudojimui, atsisakant didelę grėsmę aplinkai keliančių medžiagų, pavyzdžiui, polistireno. Tačiau daugelis natūralių termoizoliacinių medžiagų turi didesnius šilumos laidumo koeficientus ir yra jautresnės

drėgmei. Verbeeck, Hens (2010) straipsnio išvadose nurodo, kad esminis GCA vertinamų kriterijų (CO_2 ir pirminės energijos nagrinėjant statybines medžiagas) yra ekologiškų medžiagų, pavyzdžiui, ekovatos, kaip šilumos izoliacijos priemonės, naudojimas.

Dylewski straipsnyje (2011) vertina termoizoliacines medžiagas ekonominiu ir ekologiniu požiūriu. Poveikiui aplinkai vertinti (PAV) naudojama SimaPro 7.1 programinė įranga, kurioje yra 11 PAV kategorijų ir trijų poveikių žalos vertinimo kriterijai: poveikis žmogui, aplinkai ir ištekliams.

Kneifel (2009) nagrinėjo pastatų renovaciją, vertinant gyvavimo ciklą, CO_2 išmetalus. Straipsnyje autorius publikuoja studiją, atliktą JAV. Buvo nagrinėjami komercinės paskirties pastatai iš 16 skirtingų miestų. Atliekant renovaciją, vidutiniškai 20–30 % sumažėjo pastato šilumos nuostoliai (šie procentai priklauso nuo izoliacijos sluoksnio storio), nustatyta, kad šiltnamio išmetamųjų dujų sumažėjo vidutiniškai 16 %, nes sumažėjo pastato šilumos nuostoliai.

Tuo atveju, kai nagrinėjami funkcinio požiūriu panašūs objektai, gali būti pasirinktas lyginamasis GCA metodas, kuris leidžia objektus lyginti tarpusavyje. Tokie rodikliai naudojami visiems numatomiems lyginti objektams. Bribián *et al.* (2010) šaltinyje esamų objektų renovacijos lyginamos vienu ar keliais požiūriais. Šaltinyje lyginamos naudojamos medžiagos pagal pasirinktas įtakos kategorijas. Kategorijos – pirminės energijos suvartojimo, vandens suvartojimo atžvilgiu, klimato kaitos ir kt. Svarstoma medžiagų, naudojamų renovuojamų pastatų konstrukcijose, įtaka aplinkai, kokios pasirinktos medžiagos, medžiagų gamybos proceso pakeitimai galėtų sumažinti poveikį aplinkai (Bribián *et al.* 2010).

Nagrinėjant detaliau, viena iš GCA pritaikymo sričių gali būti ne pačių sistemų, bet atskirų jų elementų ar net medžiagų įvertinimas įvairiais požiūriais per jų gyvavimo ciklą. Blengin, Di Carlo (2010) vertina atskirų nagrinjamų sistemų (šiais atvejais – pastato), sudarančių elementų, ir jų medžiagų įtaka aplinkai per jo gyvavimo ciklą. Atliekant tyrimus tokiu metodu, neanalizuojamos tos gyvavimo ciklo fazės, kurios yra identiškos arba labai panašios tų medžiagų atžvilgiu.

Dalį termoizoliacinių medžiagų, nagrinėdama administracinio tipo pastatą, ištyrė Komskytė (2012). Gauti rezultatai parodė, kad šiltinant išorines sienas polistirenu išskiriama 423,77 kg $\text{CO}_{2\text{eq}}$ dujų į 1 m² pastato šildomo ploto. Naudojant akmens vatą išskiriama 34,25 kg, stiklo vata – 49,24 kg, korku – 35,54 kg, celiulioze – 57,88 kg mažiau $\text{CO}_{2\text{eq}}$ į 1 m² šildomo ploto nei šiltinant polistirenu. Naudojant neoporą išskiriama 36,16 kg $\text{CO}_{2\text{eq}}$ į 1 m² šildomo ploto. Per visą pastato gyvavimą laikotarpį pirminės energijos kiekis, suvartotas renovacijos metu pasirinktoms medžiagoms gaminti, naudoti, sunaikinti, transportuoti bei

pastato patalpoms šildyti ir vėdinti 1 m² šildomo pastato ploto, skiriasi. Pavyzdžiui, pirminės energijos pasiskirstymas, kai išorinėms sienoms apšiltinti naudojamos skirtingos izoliacinės medžiagos, yra: celiuliozei 15,15 MWh/m² iš atsinaujinančiųjų ir 1,79 MWh/m² iš neatsinaujinančiųjų, korkui 15,92 MWh/m² iš atsinaujinančiųjų ir 2,23 MWh/m² iš neatsinaujinančiųjų, neoporui 14,74 MWh/m² iš atsinaujinančiųjų ir 1,97 MWh/m² iš neatsinaujinančiųjų, stiklo vatai 14,91 MWh/m² iš atsinaujinančiųjų ir 1,94 MWh/m² iš neatsinaujinančiųjų, akmens vatai 15,12 MWh/m² iš atsinaujinančiųjų ir 1,92 MWh/m² iš neatsinaujinančiųjų, polistirenui 15 MWh/m² iš atsinaujinančiųjų (augalinė kilmė, vanduo, saulė) ir 2,04 MWh/m² iš neatsinaujinančiųjų (nafta, dujos ir t. t.).

Risholtn, Berker (2013) darbe nagrinėjama Šveicarijos pastatų renovacija ir mikroklimatą užtikrinančių sistemų pakeitimas naujomis efektyvesnėmis sistemomis. Nagrinėjamuose pastatuose buvo padidinta šiluminė izoliacija, pakeisti vėdinimo sistemos šilumogrąžos įrenginiai į efektyvesnius ir atsinaujinančiųjų energijos išteklių (AeŠ) naudojimas, t. y. saulės kolektorių ir fotoelementinių plokščių. Buvo žiūrima į tris pagrindinius aspektus: globalinio šiltėjimo potencialas (GVP), rūgštėjimas ir fotocheminiai oksidantai (RFO) bei neatsinaujinančiosios (tradicinės) energetikos (NEŠ) energijos išteklių kitimas. Rezultatai buvo gauti tokie: GVP sumažėjo 62 %, įvertinus atskirus kriterijus nuo RFO sumažėjo 10–29 %, NEŠ sumažėjo net 33 %. Taip buvo pasiektas akivaizdus rezultatas, kad pastato šiluminės charakteristikos pagerėjo, taip pat sumažėjo energijos kiekis, užtikrinantis mikroklimato parametrus.

Pastatų GCA atlikti būtina apibrėžti pastato gyvavimo laikotarpį, dažniausiai jis imamas nuo 50 iki 100 metų. Daugelyje šalių pastatų gyvavimo trukmė vertinama skirtingai, pavyzdžiui, Olandijoje gyvenamojo namo gyvavimo trukmė dažniausiai numatoma 75 metai, o biuro, istaigų – 20 metų. Didžiojoje Britanijoje tiek komercinės, tiek gyvenamosios paskirties pastatų gyvavimo trukmė numatyta 60 metų, Suomijoje pastato gyvavimo trukmė laikoma 100 metų, Šveicarijoje – 80 metų (Bribián *et al.* 2010). Pastato gyvavimo trukmė – svarbus rodiklis ieškant šilumos sąnaudų mažinimo variantų, nes jo amžius turi įtakos pastato inžinerinėms sistemoms, išorinėms atitvaroms, jų savybėms ir šilumos energijos vartojimui.

GCA analizės metodo taikymas

Gyvavimo ciklo analizė – tai metodas, apimantis veiksmų etapus, įvertinant galimus veiksmus ir interpretuojant rezultatus, kurie susiję su produkto ar proceso įtaka žaliavoms, energijai ir aplinkai nuo jų atsiradimo iki sunaikinimo (angl. *from-cradle-to-grave*). Remiantis šiuo apibrėžimu, bendras

GCA teiginys – pakartotinio žaliavų naudojimo galimybės. EN ISO 14040 (2006) standarte išskiriami keturi GCA etapai, kuriais tikslinga remtis atliekant analizę: tikslo ir apimties nustatymas, inventorinė analizė, poveikio įvertinimas, interpretavimas.

Tikslo ir apimties nustatymas. Šiame etape apibūdinamas nagrinėjamas objektas, nustatomos sistemos ribos, analizės prielaidos, apribojimai ir eiga, kuria remiantis bus atliekamas tolesnis tyrimas. Kadangi gyvavimo ciklo analizė – tai tam tikrų objektų palyginimas, nustatant tikslą ir apimtį, yra labai svarbu parinkti funkcinį vieneta – bendrą lyginamųjų objektų funkciją. Funkcinis vienetas apibrėžia sistemos įeigos ir išeigos srautus, užtikrina lygiavertiškumą lyginant alternatyvias sistemas.

Inventorinės analizės etape nustatomi visi gyvavimo ciklo analizei atlikti reikalingi duomenys – šaltiniai, kiekiai, sudaromas kiekvieno elemento medžiagų ir energijos balansas. Šiame gyvavimo ciklo analizės etape nustatomi įeigos ir išeigos srautai, susiję su tiriamuoju objektu, atspindintys procesus, vykstančius sistemoje, medžiagų, energijos įeigos, atliekų ir teršalų išeigos srautus ir jų mainus. Inventorinės analizės etapu renkami duomenys, aprašomi procesai, kurie turi būti susiję su tikslo ir apimties etape nustatytu funkcinio vieneta.

Poveikio įvertinimo etape siekiama suprasti ir įvertinti tiriamosios sistemos galimo poveikio aplinkai reikšmę bei svarbą. Šio etapo tikslas – konvertuoti inventorinės analizės rezultatus į tinkamos formos (įtakos) rodiklius, kurie leistų įvertinti tiriamos sistemos specifinį poveikį aplinkai. Poveikio įvertinimo etape pirmiausia inventorinės analizės rezultatai suskirstomi į įtakos kategorijas, kurios turi atitikti analizės tikslo ir apimties etapo reikalavimus. Poveikiui įvertinti naudojamos įtakos kategorijos. Lyginant įtakų kategorijas labai prieštaringas dalykas yra jų svoris. Įtakos kategorijos rodiklis, atspindintis poveikio dydį, gali būti nustatomas bet kurioje vietoje tarp inventorinės analizės rezultatų ir galutinio taško. Šiuo metu yra du pagrindiniai poveikio įvertinimo metodai:

- orientuoti į problemą metodai nenagrinėja poveikio kelio į galutinį tašką ir nukreipia inventorinės analizės rezultatus į tarpinį tašką (aplinkosaugos problemą);
- orientuoti į žalą metodai nagrinėja priežastinę grandinę iki galutinio taško arba žalos aplinkai ir nukreipia inventorinės analizės rezultatus į galutinį tašką.

Interpretavimas – paskutinė gyvavimo ciklo analizės fazė. Analizės rezultatai ir priimti sprendimai dėl sistemos ribų nustatymo ir padarytos prielaidos įvertinami atsižvelgiant į jų patikimumą. Interpretuojant gautus rezultatus atliekama jautrumo analizė.

Gyvavimo ciklui galima priskirti tris fazes:

- Sukūrimas.
- Naudojimas.
- Sunaikinimas.

Sukūrimui priklauso gamyba, transportavimas ir montavimas (įrengimas), naudojimui – naudojimas ir priežiūra (prevencinė, korekcinė, avarijų likvidavimas), sunaikinimui – išardymas (nugriovimas) ir atliekų tvarkymas (utilizavimas, perdėbimas). Kadangi kiekvienos gyvavimo ciklo fazės metu sunaudojamas tam tikras energijos kiekis, yra nustatyti keturi energijos vartojimo etapai:

- Energija gaminiui pagaminti (ir įrengti).
- Periodinis energijos vartojimas gaminio remontams ir priežiūrai.
- Energija produktui veikti (šiluma, elektros energija).
- Energija, suvartota produktui demontuoti ir teritorijai sutvarkyti.

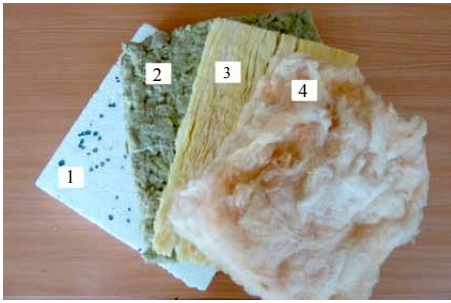
Atliekant GCA ne visada gali būti gauti visų etapų duomenys, todėl skirtingos analizės skiriasi ne tik duomenų rinkimo metodu, bet ir savo išsamumu.

Nagrinėjamas tyrimo objektas

Pasirinktas tyrimo objektas yra tipinis gyvenamasis pastatas, kuriame vyrauja aiškios geometrinės formos. Pagrindiniai pastato fasadai orientuoti į pietus ir šiaurę. Visos poilsio ir laisvalaikio zonos parinktos taip, kad būtų galima palankiai išnaudoti natūralią saulės šviesą, taip pat tikslingai panaudoti saulės pritėkius. Bendras pastato plotas – 280,85 m². Vietovė – Druskininkai. Nagrinėjama išorinė siena konstruojama iš 1 lentelėje išvardytų elementų.

1 lentelė. Analizei naudotos medžiagos
Table 1. Materials used for analysis

Medžiaga	Šilumos laidumo koeficientas, W/mK
Tinkas	0,4
Klijų skiedinys	0,8
Molinės plytos	0,4
Celiuliozės pluoštas	0,04
Kamštienos plokštė	0,043
Putstiklis	0,04
Stiklo vatos dembliai	0,04
Polistireninis putplastis	0,038
Akmens vata	0,036
Karbomido formaldehido plokštė	0,035
Mineralinė vata	0,038
Pučiamoji termoizoliacija	0,03



1 pav. Dalis nagrinėtų termoizoliacinių medžiagų:
1 – polistereninis putplastis; 2 – akmenų vata; 3 – mineralinė vata; 4 – stiklo vata

Fig. 1. Some examples of thermal insulation materials:
1 – polystyrene; 2 – rockwool; 3 – mineral wool;
4 – fiberglass mats

Dalis nagrinėtų termoizoliacinių medžiagų pavaizduota 1 pav. Nustatant termoizoliacinių medžiagų storius pasirinkta tokia išorinės sienos konstrukcija iš vidaus į išorę: dažai, tinkas, molinės plytos, klijų skiedinys, termoizoliacinė medžiaga, tinkas.

Tyrimo eiga ir gauti rezultatai

Termoizoliacinės medžiagos pasirinktos nagrinėti pirminės energijos požiūriu ir atsižvelgiant į išmetamų CO₂ dujų, darančių poveikį aplinkai, kiekius per nagrinėjamąjį 50 metų laikotarpį. Pirminės energijos požiūriu vertinama, kiek reikėjo papildomai energijos apšiltinant atitvaras nuo B iki A++ ir nuo F iki B klasių, taip pat nustatytas pirminės energijos sutaupytais kiekiais, deginant gamtines dujas nagrinėjamu laikotarpiu.

Naudojant SimaPro 7.2 programinę įrangą, nustatytas gamybos fazėje reikalingas energijos poreikis bei CO₂ emisijų kiekiai (1 formulė), įvertinus medžiagų transportavimą į statybos vietą. Nustatytas 30 km atstumas, kur,

remiantis programinės įrangos duomenų baze, reikalinga energija 1 km sudaro 1,25 MJ. Taip pat, vertinant įkūnytą energiją, nustatoma, kokia termoizoliacinių medžiagų masė reikalinga F, B ir A++ reikalavimams. „MS Excel“ programa nustatoma reikalinga šiltinimo medžiagų masė, įvertinant šilumą izoliuojančių medžiagų storį, tankį ir tūrį viso pastato mastu:

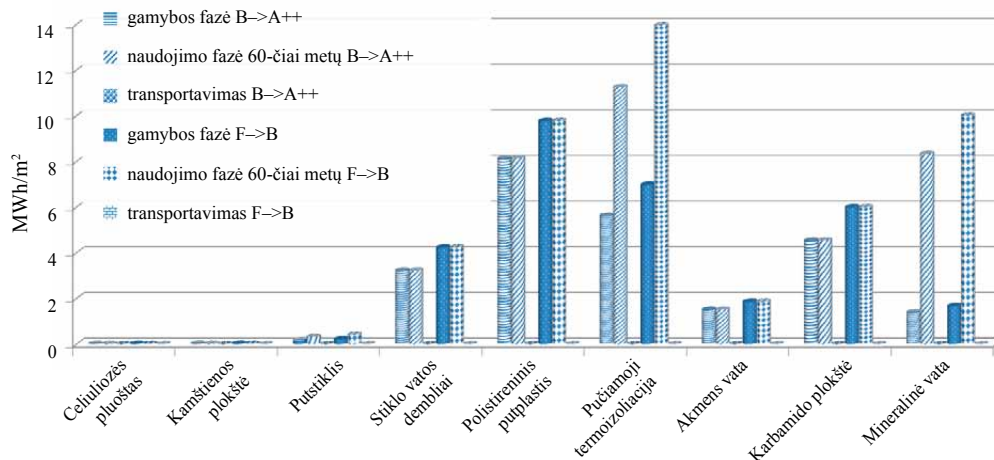
$$PE(\text{CO}_2) = d \cdot A \cdot q \cdot P(C), \quad (1)$$

čia d – termoizoliacinių medžiagų storis m; A – apšiltintas plotas, m²; q – tankis, kg/m³; P – pirminė energija, MJ/kg; C – CO₂ išmetalai, CO₂/kg.

Grafinė interpretacija, rodanti, kiek pirminės energijos (lyginamosios charakteristikos į atitvaros ploto vienetą) naudojama gamybos, naudojimo fazėse, įvertinus transportavimą, pateikta 2 pav. Stulpelinėje diagramoje galima palyginti, kiek pirminės energijos reikia atitvaroms apšiltinti nuo F iki B ir nuo B iki A++ atitvaros (pastato) energinio efektyvumo klasių.

Naudojimo fazėje įvertintas termoizoliacinių medžiagų gyvavimo laikas (Bučius *et al.* 2004) ir pateikta medžiagų naudojimo trukmė. Kadangi nagrinėjama medžiaga nėra technologinis procesas, prevencinė priežiūra nevertinama, tačiau gamybos fazėje įvertintas medžiagų transportavimas. Sunaikinimo fazė šiuo atveju nevertinama. 3 pav. rodoma nagrinėtų termoizoliacinių medžiagų grąža ir sutaupyti kiekiai pirminės energijos požiūriu šiltinant atitvaras nuo B iki A++ klasės pagal pastatų energinio efektyvumo klasifikavimą.

PE grąža šiuo atveju susijusi su sutaupytu PE kiekiu deginant gamtines dujas ir apšiltinant pastatą nuo žemesnės energinės klasės iki aukštesnės, įvertinant įdiegtą PE. Analogiškai grąža skaičiuojama ir CO₂ išmetalams, įvertinant sutaupytus kiekius deginant gamtines dujas priklausomai nuo apšiltinimo lygio.

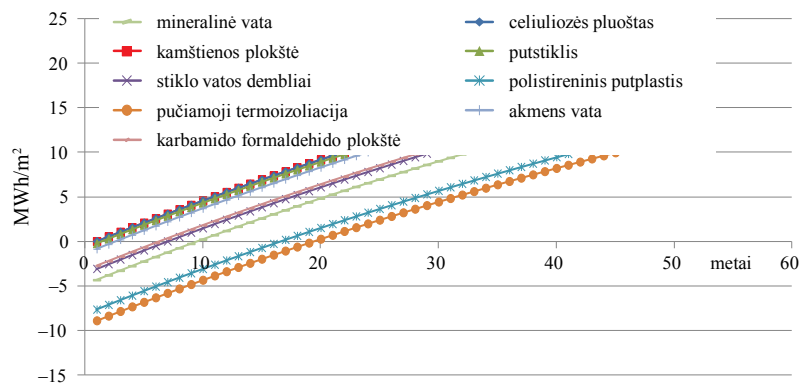


2 pav. Pirminės energijos pasiskirstymas tarp fazių
Fig. 2. Primary energy distribution between phases

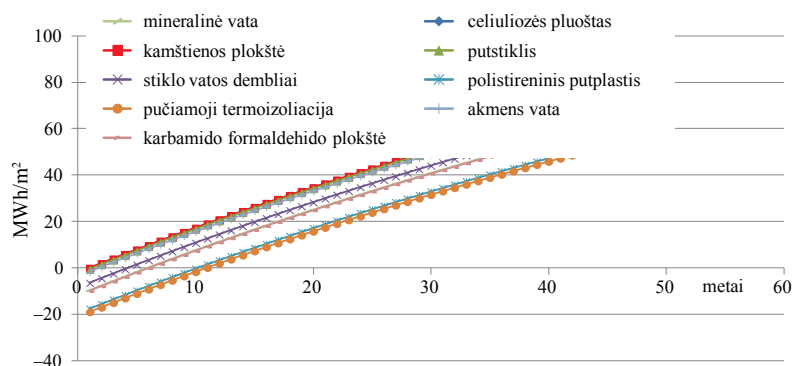
Analizei pasirinktas iki 60 metų gyvavimo ciklo laikotarpis. Priklausomai nuo naudojamos termoizoliacinės medžiagos PE grąža laikotarpis kinta nuo vienerių iki dvidešimties metų. Izoliacinių medžiagų PE grąža nustatyta (4 pav.) ir nuo F klasės (beveik visiškai neapšiltintų atitvarų) iki B klasės (dabar galiojantys normatyvai) šiltinamoms atitvaroms.

Šiuo atveju PE grąžos laikotarpis atitinkamai sutrumpėja ir sudaro nuo vienerių iki 11,5 metų, priklausomai nuo apšiltinti naudojamų termoizoliacinių medžiagų.

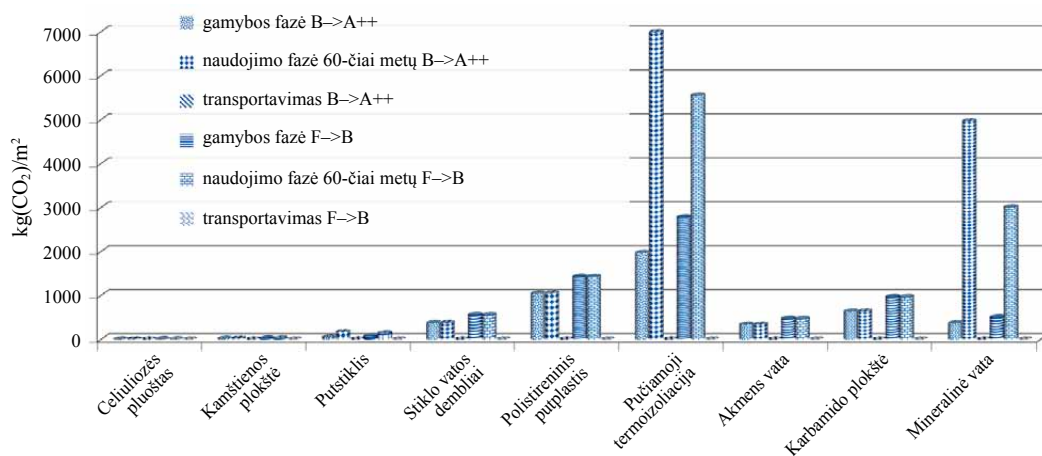
Analogiškai kaip ir pirminės energijos analizės atveju, pateikiamas ir nagrinėtų termoizoliacinių medžiagų CO₂ išmetalų kiekių kg/m² pasiskirstymas tarp GC fazių (5 pav.).



3 pav. Termoizoliacinių medžiagų PE grąža MWh/m² (į atitvaros ploto vienetą), šiltinant nuo B iki A++ energinės klasės
Fig. 3. Payback of primary energy MWh/m² of insulation materials from energy class B to A++



4 pav. Termoizoliacinių medžiagų PE grąža MWh/m² (į atitvaros ploto vienetą), šiltinant nuo F iki B energinės klasės
Fig. 4. Fig. 4. Payback of primary energy MWh/m² of insulation materials from energy class F to B



5 pav. kg(CO₂)/m² išmetalų pasiskirstymas tarp GC fazių
Fig. 5. Distribution of kg(CO₂)/m² emissions from metals between LC phases

Kiekviename pavaizduotame stulpelyje atskirai pateikiami CO₂ išmetalai gamybos, naudojimo ir transportavimo fazėse skirtingo energinio efektyvumo pastatų klasėms.

Analogiškai kaip ir pirminės energijos analizės atveju, nagrinėjama CO₂ išmetalų grąža ir sutaupyti kiekiai, įvertinant įdiegtą CO₂ kiekį gamybos, naudojimo ir transportavimo fazėse. 6 pav. pateikiama CO₂ (kg/m² (atitvaros)) išmetalų grąžos ir sutaupyti kiekių tendencijos šiltinant atitvaras nuo B iki A++ energinės klasės.

Išskyrus pučiamosios termoizoliacijos atvejį, kai sutaupyta CO₂ nepadengia įdiegto medžiagos kiekio, atskirų medžiagų CO₂ išmetalų grąžos laikotarpis kinta nuo vienerių iki trisdešimt vienerių metų.

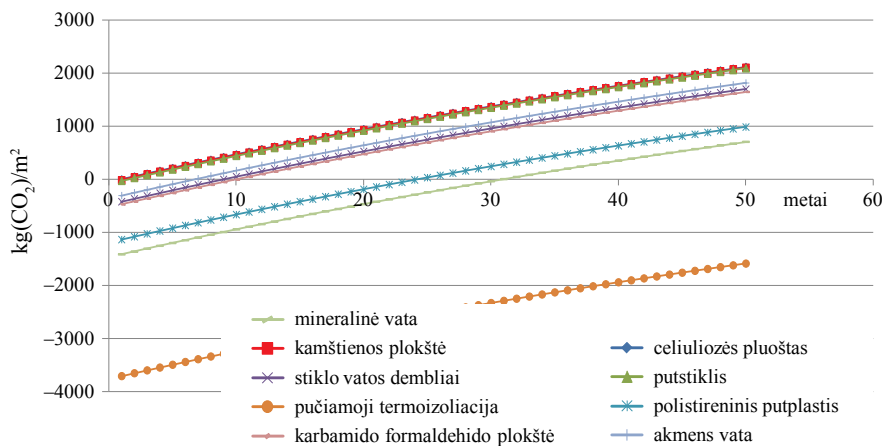
7 pav. pateikiami CO₂ išmetalų grąžos ir sutaupyti kiekių rezultatai šiltinant atitvaras nuo F iki B energinės klasės. Grąžos laikas sutrumpėja, nors termoizoliacinių me-

džiagų storis šiuo atveju yra didesnis, tačiau ir sutaupyti kiekiai nuo F iki B energinės klasės yra didesni, nei prieš tai nagrinėtu atveju (nuo B iki A++ energinės klasės).

Išskyrus pučiamosios termoizoliacijos atvejį, kai sutaupyta CO₂ kiekis padengia įdiegtą medžiagos kiekį tik po 50 metų, atskirų medžiagų CO₂ išmetalų grąžos laikotarpis kinta nuo vienerių iki devyniolikos metų.

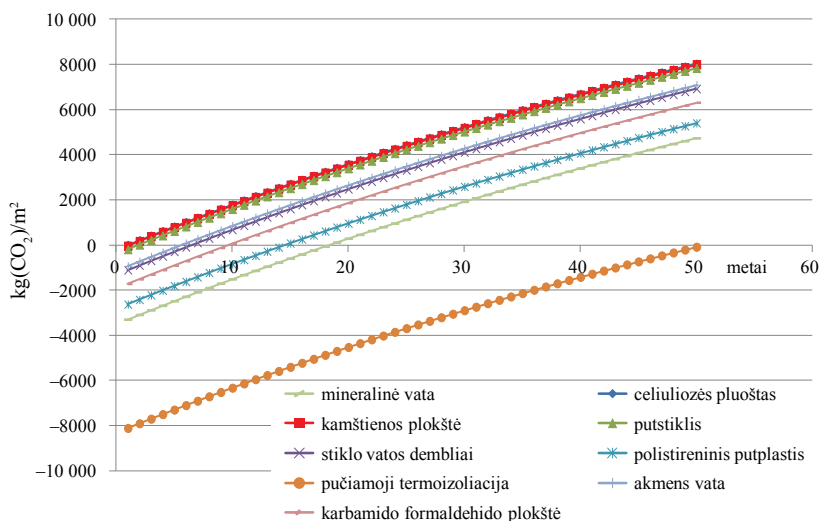
Išvados

1. Pirminės energijos požiūriu iš pateiktų rezultatų matyti, kad, apšiltinant pastatus nuo B iki A++ energinės klasės, trumpiausias grąžos laikas yra ekologiškų medžiagų, tokių kaip celiuliozės pluoštas ar kamštienos plokštės, – vieneri metai, ilgiausias – polistireninio putplasčio ir pučiamosios termoizoliacijos, atitinkamai 16 ir 19 metų, ir 10 metų apšiltinant nuo F iki B energinės



6 pav. Termoizoliacinių medžiagų sutaupyta CO₂ kiekis kg/m², šiltinant atitvaras nuo B iki A++ energinės klasės

Fig. 6. CO₂ kg/m² savings of insulation materials insulating from energy class B to A++



7 pav. Termoizoliacinių medžiagų sutaupyta CO₂ kiekis kg/m² (atitvaros), šiltinant nuo F iki B energinės klasės

Fig. 7. CO₂ kg/m² savings of insulation materials insulating from energy class F to B

nės klasės. Polistireninis putplastis ir pučiamoji termoizoliacija gaminamos iš neatsinaujančiųjų energijos išteklių (didžioji dalis), todėl pirminės energijos grąžos atžvilgiu yra nepalankiausias, nors jų šiluminės savybės yra geresnės nei ekologinių medžiagų.

- CO₂ išmetalų požiūriu iš pateiktų rezultatų matyti, kad, apšiltinant atitvaras nuo B iki A++ energinės klasės, trumpiausias grąžos laikotarpis – vieneri metai – yra ekologinių medžiagų, tokių kaip celiuliozės pluoštas, kamštienos plokštės ir putstiklis, ilgiausias – polistireninio putplasčio (24 metai) ir mineralinės vatos (30 metų). Naudojant pučiamąją termoizoliaciją sutaupyta CO₂ kiekis nepadengia įdiegtojo medžiagos kiekio. Atitinkamai apšiltinant nuo F iki B energinės klasės, grąžos laikas: celiuliozės pluošto, kamštienos plokštės, putstiklio, stiklo vatos demblių ir akmens vatos – vieneri metai, polistireninio putplasčio – 14 metų, mineralinės vatos – 18 metų. Pučiamosios termoizoliacijos grąžos laikotarpis siekia daugiau nei 50 metų. Rezultatai parodė, kad mažiausią poveikį aplinkai daro ekologiškos medžiagos, taip pat putstiklis, akmens vata, o daugiausia CO₂ išmetalų gyvavimo cikle išskiria pučiamoji termoizoliacija
- Analizės rezultatai parodė, kad tiek pirminės energijos, tiek CO₂ išmetalų požiūriu grąžos laikotarpis yra ilgesnis ir sutaupyti kiekiai yra mažesni apšiltinant atitvaras nuo energinės klasės, nei nuo F iki B klasės. Tai galima paaiškinti tuo, kad pirmu atveju (nuo B iki A++ klasės) įdiegtos energijos ir sutaupyto kiekio santykis yra didesnis nei antruoju (apšiltinant atitvaras nuo F iki B energinės klasės).

Literatūra

- 2010/31/ES Europos parlamento ir tarybos direktyva „Dėl pastatų energinio naudingumo“ (nauja redakcija). Briuselis, 2010. 67 p.
- Blengin, G. A.; Di Carlo, T. 2010. The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings, *Energy and Buildings* 42(6): 869–880. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.12.009>
- Bríbián, I.; Capilla, A. V.; Usón, A. A. 2010. Life cycle assessment of building materials: comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential, *Building and Environment* 46(5): 1133–1140. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.12.002>
- Bučius, A.; Juškevičius, P.; Vitkauskas, A.; 2004. *Rekomendacijos statinių ir jo dalių gyvavimo skaičiuojamosios trukmės įvertinimas R27-01*. Viešojo įstaiga Būsto ir urbanistikos plėtros fondas, Aplinkos ministerija, Vilnius. 68 p.
- Dylewski, R.; Adamczyk, J. 2011. Economic and environmental benefits of thermal insulation of building external walls, *Building and Environment* 46(12): 2615–2623. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.06.023>

EN ISO 14040:2006 *Aplinkos vadyba. Būvio ciklo įvertinimas. Principai ir sandara (ISO 14040:2006), direktyvos 1221/2009/REGL; 765/2008/REGL; 768/2008/EB*. Vilnius, 2006. 87 p.

- Goedkoop, M.; An De Schryver, A. D.; Oele, M.; Durksz, S.; de Roest, D. 2010. *Introduction to LCA with SimaPro 7*. PRÉ Consultants. 88 p.
- Kneifel, J. 2009. Life-cycle carbon and cost analysis of energy efficiency measures in new commercial buildings, *Energy and Buildings* 42(3): 333–340. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.09.011>
- Komskytė, G. 2012. *Pastato šilumos sąnaudų mažinimo variantų gyvavimo ciklo analizė*: magistro darbas. VGTU, Vilnius. 88 p.
- Korjenic, A.; Petranek, V.; Zach, J.; Hroudova, K. 2011. Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources, *Energy and Buildings* 43(9): 2518–2523. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.06.012>
- Risholtn, B.; Berker, T. 2013 Success for energy efficient renovation of dwellings – Learning from private homeowners, *Energy Policy* 61(10): 1022–1030. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.011>
- Verbeeck, G.; Hens, H. 2010. Life cycle inventory of buildings: a calculation method, *Building and Environment* 45(4): 1037–1041. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.10.012>

INSULATION EXPEDIENCY OF THE EXTERNAL ENVELOPES OF THE BUILDING IN TERMS OF 2E CRITERIA

M. Kijevičius, K. Valančius

Abstract

The paper analyses the insulation expediency of the external envelopes of the building with reference to 2E (energy – primary energy consumption and environmental – CO₂ emissions) criteria and presents an overview of thermal insulation and studies on other structural elements based on life cycle analysis. The object of research is a typical residential building. The article determines different insulation materials of external envelopes, primary energy consumption and CO₂ emissions by insulating walls from F to B and from B to A++ class. Graphical interpretation shows primary energy, CO₂ and the payback period of 60 years. Also, the paper considers primary energy and CO₂ emissions distributed at various life cycle stages.

Keywords: insulation materials, life cycle analysis, 2E criteria, primary energy, CO₂ emissions, SimaPro.