

Erasmus+ Projektas ID: 2023-1-ES01-KA220-HED-000156652

Finansuojama Europos Komisijos lėšomis. Tačiau išreiškiamas požiūris ar nuomonė yra tik autoriaus (-ių) ir nebūtinai atspindi Europos Komisijos ir Erasmus+ Nacionalinės agentūros požiūrį ar nuomonę. Nei Europos Komisija, nei Erasmus+ Nacionalinės agentūros negali būti laikomos už juos atsakinga.

BIM4Energy projektas

Pastatų EE didinti geriausių alternatyvų katalogas

Pastato apvalkalo savybių gerinimas



1. Tikslai

Šios pamokos pagrindinis tikslas suteikti dalyviams išsamų supratimą apie priemones, skirtas pastato apvalkalo savybėms pagerinti.

Šios pamokos tikslai:

- Suprasti, kas yra pastato apvalkalas.
- Suprasti pastato apvalkalo fizines savybes.
- Strategijos, kaip optimizuoti pastato apvalkalą.
- Suprasti pastato apvalkalo komponentus.
- Susipažinti su energiją taupančių langų ir durų pavyzdžiais.
- Susipažinti su energiją taupančių fasadų ir stogų pavyzdžiais.
- Sužinoti apie priemones, skirtas gerinti fasadų ir sienų izoliaciją pastato apvalkalo viduje.

2. Mokymosi metodologija

Mokytojas apie 30 min. pristatys pamokos temą.

Mokiniai perskaitys šios pamokos medžiagą žemiau nurodyta seka:

- Kaip veikia pastato apvalkalas.
- Pastato apvalkalo optimizavimo strategijos.
- Energiją taupančių langų ir durų pavyzdžiai.
- Energiją taupančių fasadų ir stogų pavyzdžiai.
- Alternatyvos, skirtos gerinti pastatų fasadų izoliaciją.

Siekiant įvertinti pamokos sėkmę, siūlome mokiniams atlikti apklausą raštu arba žodžiu.

3. Pamokos trukmė

Šis pamokų ciklas įgyvendinamas savarankiško mokymosi būdu naudojantis BIM4ENERGY projekto žiniatinklio svetaine www.bim4energy.eu.

Mokymo medžiaga sudaryta taip, kad būtų galima ją pristatyti per 3 akademines valandas.

4. Būtinai mokymo (si) ištekliai

Klasė su kompiuteriais ir prieiga prie interneto.

Reikalinga programinė įranga: .pdf dokumentus nuskaitanti įranga.

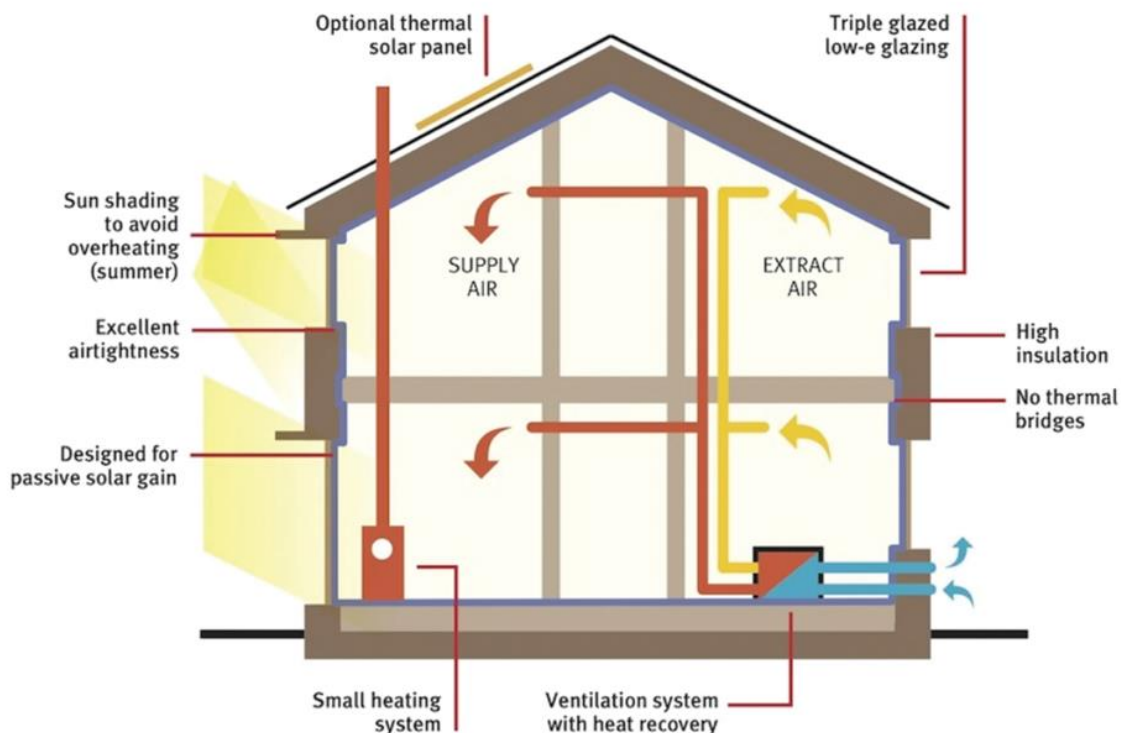
5. Turinys ir pamoka

5.1. Kas yra pastato apvalkalas

Pastato apvalkalas – tai fizinis barjeras, skiriantis klimatinę pastato aplinką nuo vidinių, kondicionuojamų patalpų. Šis apvalkalas atlieka esminį vaidmenį reguliuojant šilumos srautą, oro pratekėjimą ir drėgmės pernešimą, kas tiesiogiai veikia pastato energinį našumą, vidaus komfortą ir ilgaamžiškumą. Gerai suprojektuotas pastato apvalkalas padeda išlaikyti pastato vidinę temperatūrą, sumažina energijos suvartojimą ir mažina šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas [1].

Pagrindiniai pastato apvalkalo komponentai yra sienos, stogas, grindys, langai ir durys. Kiekviena dalis prisideda prie šiluminio mainų kontrolės ir turėtų būti įrengta naudojant tinkamas izoliacines medžiagas, oro barjerus ir drėgmės kontrolės sluoksnius. Pavyzdžiui, išorinės sienos paprastai turi termoizoliaciją ir sandarų sluoksnį, kad sumažintų šilumos nuostolius žiemą ir užkirstų kelią šilumos kaupimui vasarą. Stogai dažnai apima ventiliacijos sluoksnius ir atspindinčius paviršius, o grindys – ypač tos, kurios liečiasi su žeme – reikalauja šilumos izoliacinių intarpų (angl. *thermal break*) ir apsaugos nuo drėgmės. Langai ir durys laikomi silpnosiomis pastato apvalkalo vietomis šilumos izoliacijos atžvilgiu, todėl šiuolaikiniai projektai naudoja dvigubą arba trigubą stiklą, mažos emisijos (low-E) dangas ir šilumos izoliacinis interpus turinčius rėmus, kad pagerintų jų efektyvumą.

Yra skirtingų tipų pastatų apvalkalai, priklausomai nuo projekto tikslų ir efektyvumo standartų. Tradiciniai apvalkalai atitinka standartinius statybos reglamentus ir suteikia pagrindinę šiluminę apsaugą. Tuo tarpu aukštos kokybės apvalkalai, tokie kaip tie, kurie naudojami *Passive House* [2] projektuose, siekia minimalizuoti energijos poreikį per sandarią konstrukciją, išskirtinę izoliaciją ir šilumos tiltus šalinančius sprendinius.



1 pav. *Passivhaus* standartai praktikoje (Paveikslėlio šaltinis: John Gilbert Architects.)

Pastato apvalkalo gerinimas yra viena iš efektyviausių strategijų energijos vartojimo mažinimui. Dažniausiai taikomos gerinimo priemonės apima izoliacijos įrengimą sienose, palėpėse ir grindyse; senų langų keitimą į energiją taupančius; bei oro pratekėjimo sandarinimą aplink jungtis, vamzdžius ir elektros lizdus. Pažangesnės strategijos apima žaliųjų stogų įrengimą, išorinius saulės apsaugos įrenginius arba vėdinamus fasadus, kurie visi prisideda prie geresnio temperatūros reguliavimo ir drėgmės kontrolės.

5.2. Kaip veikia pastato apvalkalas

Pastato apvalkalas veikia kaip apsauginė sienelė, reguliuojanti šilumos, oro ir drėgmės pernešimą tarp vidinės ir išorinės aplinkos. Jį sudaro struktūriniai ir izoliaciniai elementai, tokie kaip sienos, stogai, grindys, langai ir durys, kurie kartu sumažina energijos nuostolius ir padeda išlaikyti šiluminį komfortą. Ribodamas nepageidaujamą šilumos kaupimą vasarą ir šilumos nuostolius žiemą, apvalkalas žymiai sumažina poreikį mechaniniams šildymo ir vėsinimo sistemoms [1].

Efektyvaus pastato apvalkalo pagrindinės savybės yra šiluminė varža (R vertė), oro sandarumas ir drėgmės kontrolė. Aukšta R vertė rodo geresnę izoliacijos našumą, kuris sulėtina šilumos pratekėjimą per pastato elementus. Oro sandarumas neleidžia nekontroliuojamai pratekėti orui, kas pagerina energijos efektyvumą ir vidaus oro kokybę. Drėgmės kontrolės sluoksniai, tokie kaip garų barjerai ir hidroizoliacija (arba

drenažo plokštės), apsaugo statybines medžiagas nuo susidėvėjimo dėl kondensacijos ar infiltravimosi [3]. Kiekvienas komponentas turi veikti kaip integruota sistema, kad būtų optimaliai pasiektas šiluminis našumas ir ilgaamžiškumas.

Pažangūs statybos standartai, tokie kaip *Passive House*, pabrėžia aukštos kokybės šilumos izoliacijos apvalkalo svarbą. Šie projektai naudoja storą termoizoliaciją, aukštos kokybės langus ir kruopštų oro sandarinimą, kad drastiškai sumažintų šildymo ir vėsinimo poreikius [2]. Apvalkalo gerinimas – tiek naujoje statyboje, tiek renovacijoje – gali lemti žymias energijos taupymo galimybes ir ilgesnį statybinių medžiagų tarnavimo laiką. Galų gale, pastato apvalkalas yra vienas iš svarbiausių tvaraus ir energiją efektyviai veikiančio pastato projektavimo veiksnių.

5.3. Pastato apvalkalo optimizavimo strategijos

Vienas efektyviausių būdų pagerinti pastato apvalkalą – tai izoliacijos atnaujinimas stoge, sienose ir grindyse. Izoliacija sulėtina šilumos perdavimą, padedant išlaikyti komfortabilias vidines temperatūras visais metų laikais ir sumažinant energijos suvartojimą. Šaltuose klimatuose, tokiuose kaip Šiaurės Europa, dažnai naudojamos aukštos R vertės medžiagos, tokios kaip mineralinė vata arba putų poliuretanas, storais sluoksniais, siekiant sumažinti šilumos nuostolius [1]. Karštesė, sausringose vietovėse (pvz., pietų Ispanijoje) po stogu papildomai naudojama atspindinti izoliacija arba spindulių barjerai, kurie atspindi saulės spinduliuotę [4].

Kita svarbi gerinimo sritis – langų ir durų našumas, nes jie atsakingi už didelę šilumos nuostolių ar kaupimo dalį. Keičiant senus langus į dvigubo ar trigubo stiklo langus su mažos emisijos (low-E) danga ir argono dujų užpildu, žymiai pagerinamas šiluminis našumas [2]. Šaltuose regionuose pietų pusėje orientuoti langai gali būti projektuojami taip, kad sugautų pasyviąją saulės šilumą, tuo tarpu tropiniuose klimatuose būtina riboti langų dydį ir naudoti saulės apsaugos priemones, kad sumažintų perkaitymą. Šilumos izoliaciniai intarpai aliuminio rėmuose ir izoliuotos išorinės durys taip pat padeda vengti šilumos nuostolių [3].

Oro sandarinimas – tai kritinis gerinimas, taikomas visų klimato zonų pastatuose. Oro pratekėjimai gali sudaryti iki 30% šildymo ir vėsinimo nuostolių įprastame pastate [1]. Užsandinus tarpus naudojant hermetikus, putas ir sandarinimo juostas, sumažinama infiltracija ir pagerinamas energijos efektyvumas. Drėgnuose klimatuose taip pat užkertamas kelias šiltam drėgnam orui patekti į sienas ir kondensuotis jose, kas gali sukelti pelėsį. Oro nuotėkio vietoms nustatyti dažnai atliekamas pūtimo durų testas.

Galiausiai, klimato sąlygoms pritaikytos pasyvios strategijos gali žymiai pagerinti pastato apvalkalo efektyvumą. Šiltuose, drėgnuose regionuose vėdinami fasadai padeda pašalinti saulės šilumą ir drėgmę, taip išlaikydami pastatą vėsesnį. Žalieji stogai yra veiksmingi tiek vidutinio klimato, tiek karštuose klimatuose, suteikdami izoliaciją ir mažindami miesto šilumos salos efektą. Išoriniai saulės šešėliavimo įrenginiai, tokie kaip

žaliuzės ar pergolos, vasarą blokuoja tiesioginius saulės spindulius, tačiau leidžia jiems patekti žiemą, sezoniniuose klimatuose. Šie elementai ne tik pagerina pastato apvalkalo našumą, bet ir prisideda prie gyventojų komforto bei aplinkos tvarumo.

5.4. Energiją taupančių langų ir durų pavyzdžiai

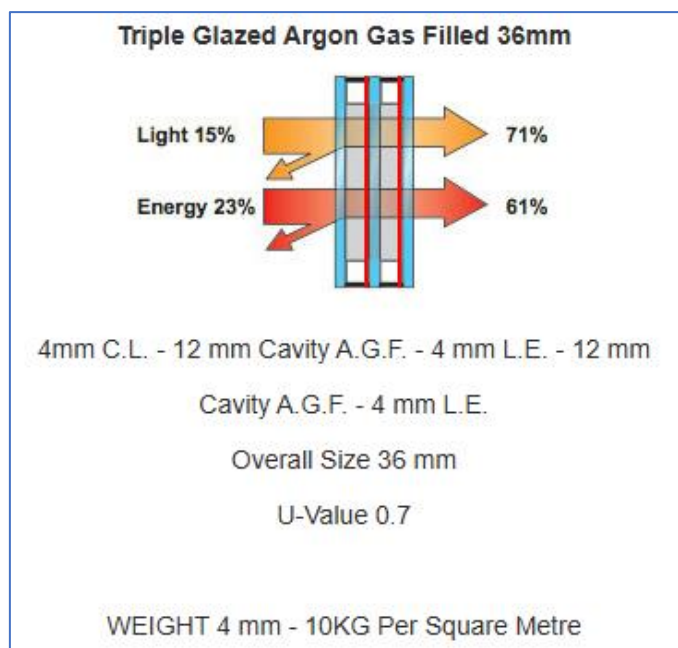
5.4.1. Langų tipai: stiklo ir rėmų medžiagos

Langai yra svarbi pastato apvalkalo dalis ir turi žymią įtaką pastato energijos efektyvumui, ypač klimatuose, kur daugiausia reikia šildymo ar vėsinimo. Du svarbiausi veiksniai, lemiantys lango šiluminį našumą, yra stiklo tipo ir rėmo medžiagos pasirinkimas. Kartu jie įtakoja U vertę, kuri matuoja šilumos perdavimo greitį – kuo mažesnė U vertė, tuo geresnė izoliacija.

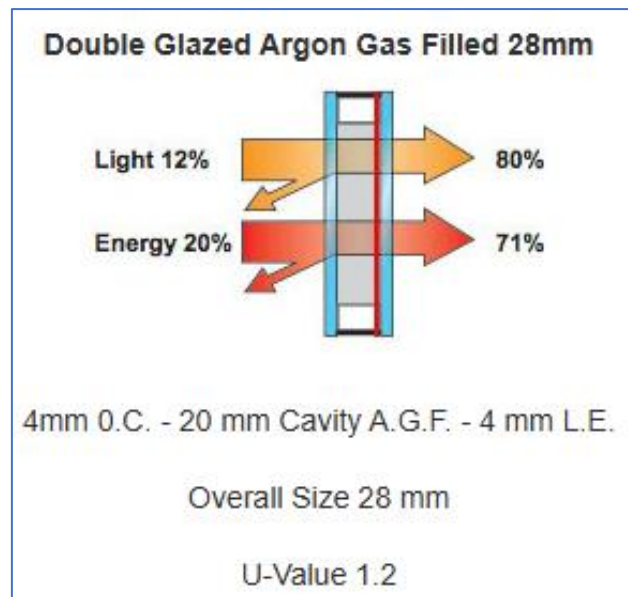
Stiklo tipai skiriasi nuo vieno stiklo sluoksnio (kuris šiandien retai naudojamas) iki dvigubo ir trigubo stiklo. Dvigubas stiklas susideda iš dviejų stiklo plokščių su oro arba dujomis užpildytu tarpu (argonas arba kryptas), o trigubas stiklas prideda trečią plokštę, dar labiau pagerindamas izoliaciją.

Apytikslės U vertės yra:

- Viengubas stiklas: $5.0\text{--}6.0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (labai prasta izoliacija)
- Dvigubas stiklas (užpildytas oro): $2.7\text{--}3.0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- Dvigubas stiklas (argonas, mažos emisijos - low-E): $1.4\text{--}1.6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- Trigubas stiklas (argonas/kryptonas, mažos emisijos - low-E): $0.8\text{--}1.0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ [5]



2 pav. 36 mm storio trigubo stiklo su argono dujomis savybės.



3 pav. Dvigubo stiklo su argono dujomis, 28 mm, savybės.

Rėmų medžiagos taip pat atlieka svarbų vaidmenį šilumos perdavime. Dažniausiai naudojamos medžiagos yra šios:

- Aliuminis (lango rėmas, pagamintas iš vienos laidžios medžiagos, kuriame nėra izoliacinio sluoksnio tarp vidinės ir išorinės pusės, angl. *non-thermally broken*): Aukšta šilumos laidumo savybė, U vertės apie 5.5–6.0 W/m²·K
- Šilumą pertraukiantis aliuminis: su šiluminiais barjeriais, U vertės sumažėja iki 1.8–2.5 W/m²·K
- PVC/viniliniai rėmai: geras izoliavimas, U vertės svyruoja nuo 1.2–1.6 W/m²·K
- Mediniai rėmai: natūraliai izoliuojantys, U vertės nuo 1.4–1.8 W/m²·K
- Medžio ir aliuminio kompozitas: sujungia estetiką ir našumą, U vertės svyruoja 1.0–1.4 W/m²·K [6].



4 pav.: PVC, aliuminio ir mediniai langų rėmai.

5.4.2. Rekomenduojamos langų šiluminės perdavimo (U) vertės pagal klimato zonas

Rekomenduojama langų šiluminės perdavimo (U) vertė priklauso nuo vietinio klimato ir statybos reglamentų:

- Šaltas klimatas (pvz., Skandinavija, Kanada): rekomenduojama U vertė yra ≤ 1.0 W/m²·K langams; *Passive House* standartai rekomenduoja ≤ 0.8 W/m²·K ekstremalioms šaltoms sąlygoms [2].
- Vidutinio klimato zonos (pvz., Centrinė Europa, Šiaurės JAV): tikslinga siekti ≤ 1.4 W/m²·K, kad būtų užtikrintas geras našumas.
- Šiltas klimatas (pvz., Viduržemio jūros regionas, Pietų JAV): šiek tiek aukštesnės U vertės, iki 1.8–2.0 W/m²·K, gali būti priimtinos, tačiau saulės šilumos pralaidumo koeficientas tampa svarbesnis siekiant sumažinti perkaitimą.

Svarbu atsižvelgti ir į langų orientaciją bei šešėliavimą: šaltuose klimatuose pietų pusėje orientuoti langai su aukštesniu šilumos perdavimo koeficientu gali padėti natūraliai sušildyti vidų, o šiltuose klimatuose geriau rinktis žemo šilumos perdavimo koeficiento stiklus ir išorinius šešėliavimo sprendimus.

Norint užtikrinti aukštą energijos efektyvumą, langų sistemos turi būti pasirenkamos atsižvelgiant tiek į U vertę, tiek į šilumos perdavimo koeficientą, ir pritaikomos vietinėms klimato sąlygoms. Trigubas stiklas, mažos emisijos (low-E) langai su šilumos izoliaciniu intarpu arba kompozitiniais rėmais pasižymi puikiu našumu šaltuose klimatuose. Šiltesniuose regionuose dažniausiai tinkamesni ir ekonomiškesni yra dvigubo stiklo low-E langai su saulės kontrolės dangomis ir šešėliavimo sistemomis.

5.4.3. Langų katalogai

Toliau pateikiami kai kurie pagrindiniai tinklalapiai anglų kalba, kuriuose galima rasti aukšto efektyvumo langų katalogus, įskaitant PDF ir brošiūras:

➤ **Alpen High Performance Products**

Alpen specializuojasi stiklo languose, sertifikuotuose pagal *Passive House* ir *ENERGY STAR* standartus. Jų kataloguose pateikiamos pažangios stiklo technologijos, izoliuoti rėmai ir integruotos šešėliavimo galimybės.

www.thinkalpen.com

➤ **Marvin (Essential & Ultrex® serija)**

Siūlo išsamius katalogus, kuriuose pateikiami *ENERGY STAR* sertifikuoti low-E stiklo langai, argono užpildai ir *Ultrex* stiklo pluošto rėmai. Kataloguose pateikiami našumo duomenys, tokie kaip U vertės ir saulės šilumos pralaidumo koeficientai.

[Marvin catalog](#)

➤ **REHAU**

Brošiūroje pristatomos WER A klasės polimerinių langų sistemos su puikiomis šiluminėmis ir akustinėmis izoliacinėmis savybėmis, pritaikytos Jungtinės Karalystės ir Europos Sąjungos klimatui.

window.rehau.com

➤ **SUNCE Marinkovic**

Katalogas, kuriame pateikiami energiją taupantys PVC langai su apsaugos mechanizmais ir šiluminėmis savybėmis.

<https://suncemarinkovic.com/>

➤ **SILKA**

Pateikta informacija apie trigubus stiklo paketus su *Thermafill*® izoliaciniais rėmais, kurių U vertė yra tik 0,8 W/m²K – viena iš geriausių rinkoje.

silkawindows.com

5.4.4. Pagrindinių įėjimo durų šiluminės savybės gyvenamosiose namuose

Pagrindinių įėjimo durų šiluminės savybės labai priklauso nuo jų medžiagų ir vidinės konstrukcijos. Kietmedžio durys, nors natūraliai izoliuojančios ir vizualiai patrauklios, paprastai turi U vertes, svyruojančias nuo 0.35 iki 0.70 W/m²·K, kas yra mažiau efektyvu, palyginti su izoliuotomis alternatyvomis [7]. Plieno ir stiklo pluošto durys, turinčios poliuretano putų šerdį, pasižymi puikiomis izoliacinėmis savybėmis, pasiekdamos U vertes, kurios gali būti netgi nuo 0.15 iki 0.30 W/m²·K [8]. Be to, stiklinės įėjimo durys gali pasiūlyti gerą šiluminę izoliaciją, kai jos yra įrengtos su dvigubo arba trigubo stiklo *low-emissivity* danga ir užpildytos inertinėmis dujomis, tokiomis kaip argonas [9]. Svarbu naudoti oro sandarinimo juosteles, izoliuotas šerdeles ir šilumos izoliacinius tarpus, kad būtų sumažintas oro pralaidumas ir išlaikytas energijos efektyvumas [9].

Reglamentavimo standartai nustato maksimaliai leidžiamas U vertes, atsižvelgiant į regioninius energijos efektyvumo tikslus. Šaltuose Europos regionuose reglamentai paprastai reikalauja, kad durų U vertės būtų mažesnės nei 1.4–1.8 W/m²·K, priklausomai nuo to, ar durys yra naujos, ar keičiamos [7]. Griežtesnėse sertifikavimo sistemose, tokiose kaip *Passive House* standartas, reikalauja, kad U vertės būtų ≤ 1.0 W/m²·K, kad būtų kuo labiau sumažintas šilumos nuostolis [2]. Šiaurės Amerikoje *ENERGY STAR* gairės taip pat pabrėžia viso durų komplekso našumą, su maksimaliomis U vertėmis, kurių dydis paprastai yra apie 0.28 W/m²·K, priklausomai nuo klimato zonos ir durų-stiklo santykio [9].

Šaltuose klimatuose durys turėtų turėti U vertes, ne didesnes nei $1.0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, kad būtų sumažintas šildymo poreikis ir pagerintas šiluminis komfortas [2]. Vidutinio klimato zonose U vertės iki $1.4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ yra tinkamas balansas tarp izoliacijos ir kainos efektyvumo [1]. Šiltesniuose klimatuose, tokiuose kaip Viduržemio jūra ar tropinės zonos, U vertės iki $1.8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ gali būti priimtinos, ypač kai jos derinamos su žemo saulės šilumos pralaidumo savybėmis [9]. Nepriklausomai nuo vietovės, būtina pasirinkti duris su tinkamais sandarikliais, šilumos izoliacijos tarpais ir sertifikuotomis izoliacinėmis medžiagomis, kad būtų užtikrintos ilgalaikės energijos taupymo ir vidaus komforto sąlygos [8].

Čia pateikiamos kelios aukštos kokybės, energiją taupančios pagrindinio įėjimo durys kartu su jų apytikriais šilumos perdavimo koeficientais (U vertėmis):

- Izoliuotos stiklo pluošto durys su „Low-E“ stiklu – dažniausiai turi putų šerdį stiklo pluošto duryse, dvigubo stiklo langus su low-E danga ir argono dujų užpildą. Tokios durys pasiekia U vertes nuo 0.17 iki $0.30 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, pasižymėdamos puikia izoliacija ir šiuolaikišku estetiniu dizainu.
- Plieninės durys su poliuretano šerdimi – tvirtas plieninis išorinis korpusas su poliuretano izoliacija. Šie modeliai dažnai turi šilumos izoliacijos rėmus ir sandarinimo juostas, o jų U vertės svyruoja nuo $0,15$ iki $0,25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, todėl jos yra vienos iš šiluminiu požiūriu efektyviausių.
- Masyvus medis su kompoziciniu vidumi – šis stilius išlaiko elegantišką medžio išvaizdą, bet turi kompozicinį arba izoliuotą vidų, kuris pagerina savybes. Jų tipinės U vertės svyruoja nuo $0,30$ iki $0,50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, o tai yra geriau nei vien masyvaus medžio, bet blogiau nei visiškai izoliuotų modelių.
- Visiškai stiklinės durys su trigubais „Low-E“ stiklais – elegantiškas, modernus dizainas su trigubais „Low-E“ stiklais, užpildytais inertinėmis dujomis (pvz., argonu arba kriptonu). Šių durų U vertės dažnai siekia $0,70$ – $1,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, priklausomai nuo stiklo specifikacijų ir rėmo kokybės.

Minėti pavyzdžiai parodo, kaip įvairios medžiagos — stiklo pluoštas, plienas, kompozitinė mediena ir stiklas — derina estetiką su pažangia šiluminės izoliacijos technologija.



5 pav. Namų durų pavyzdžiai (Šaltinis: Constellaion.com).

5.5. Energiją taupančių fasadų ir stogų pavyzdžiai

5.5.1. Ventiliuojamas fasadas ir įprastas fasadas

Ventiliuojami fasadai (dar vadinami dvigubo sluoksnio fasadais) veikia įrengiant išorinį apdailos sluoksnį, oro tarpą ir izoliaciją ant pastato konstrukcinės sienos. Oro srautas tarp apdailos sluoksnio ir izoliacijos sumažina šilumos prieaugį vasarą ir drėgmės kaupimąsi žiemą, taip pagerindamas šiluminę izoliaciją. Tyrimai rodo, kad ventiliuojami fasadai gali sumažinti aušinimo apkrovas 20–55 % ir pagerinti U reikšmę apie 30–40 % palyginti su įprastinėmis izoliacijos sistemomis [10].

Gyvenamo pastato Alikantėje, Ispanijoje, atvejo analizėje, buvo palyginta šiaurės kryptimi orientuotas ventiliuojamas fasadas (mūro blokai, 3 cm storio izoliacija, 7 cm oro tarpas, akmens apdaila) (1 lentelė) su įprastiniu izoliuotu fasadu (2 lentelė). Ventiliuojama sistema pasiekė U reikšmę apie 0,20 W/m²·K, tuo tarpu įprastas fasadas turėjo U reikšmę 0,33 W/m²·K, tai rodo 40 % šilumos perdavimo gerinimą [11].

Table 1: Constructional features of the housing façade. [11]

F_1_ Ventilated façade _Total thickness = 0.355 m		
Vertical construction and horizontal flow		Thickness
Inside environment		(m)
1	Trim and plaster	0.015
2	Hollowed ceramic brick	0.115
3	Perforated ceramic brick	0.115
4	Thermal insulation: PUR projection [0.033 W/[mK]]	0.03
5	Metallic structure	–
6	Air gap ventilated	0.07
7	Outer discontinuous ceramic façade	0.01
Outside environment		

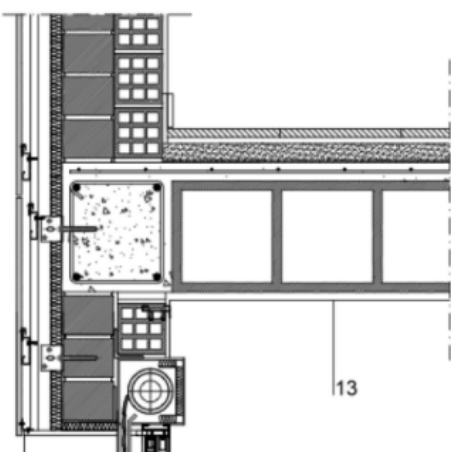
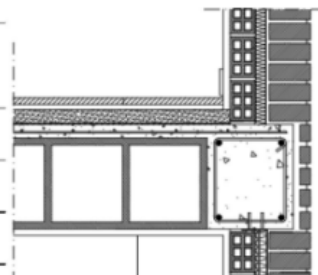
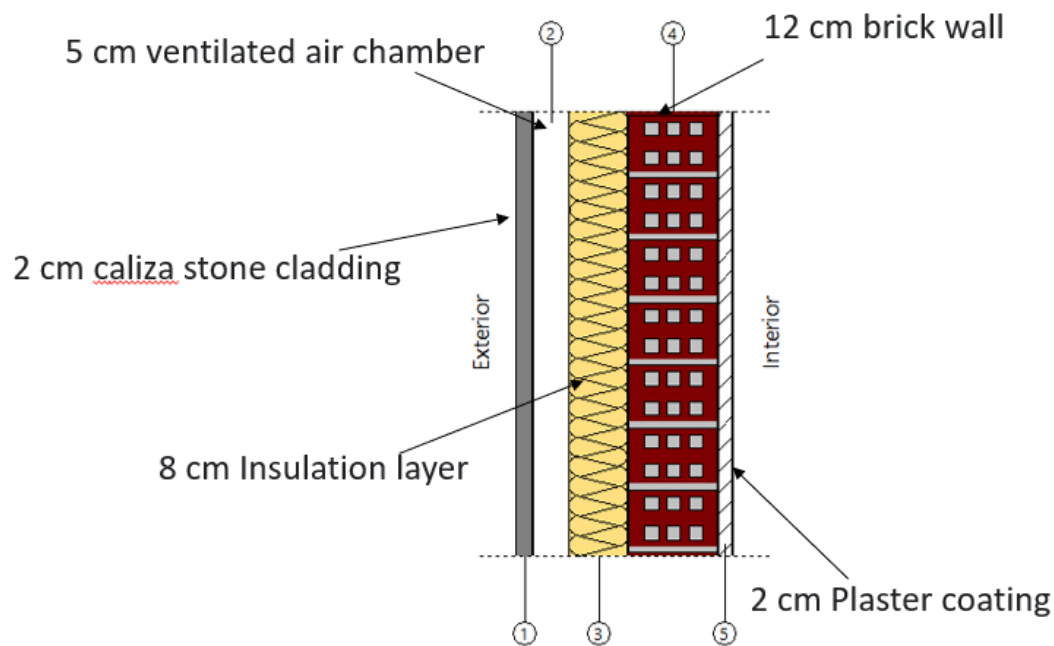


Table 2: Constructional features of the conventional façade. [11]

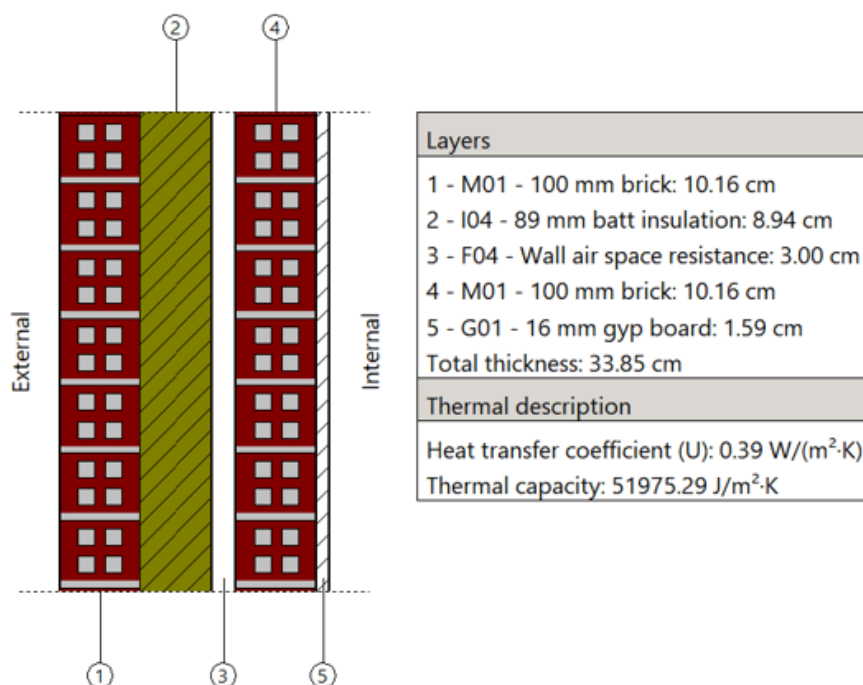
F_2_ Conventional façade _Total thickness = 0.24 m		
Vertical construction and horizontal flow		Thickness (m)
Inside environment		
1	Trim and plaster	0.015
2	Hollowed ceramic brick	0.07
3	Thermal insulation: mineral wool [0.033 W/[mK]]	0.03
4	Mortar bed	0.01
5	Perforated ceramic brick	0.115
Outside environment		



Kiti ventiliuojamo fasado ir įprasto fasado pavyzdžiai pateikiami šiuose paveiksluose:



6 pav. Ventiliuojamas fasadas ($U = 0,33 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$).



7 pav. Įprastas fasadas ($U = 0,39 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$).

5.5.2. Kiti fasadų tipai

Kitas realaus pasaulio pavyzdys yra Indira Paryavaran Bhawan, pastatas, atitinkantis *Net Zero Energy Buildings* (NZEB) standartus, įsikūręs Delhėje, Indijoje. Pastato apvalkalas (fasadas) yra suformuotas naudojant sunkiąją konstrukciją. Išorinė siena susideda iš 30cm storio akyto betono (AAC) blokų, 7cm storio mineralinės vilnos izoliacijos, 12cm storio oro tarpo ir 12cm storio *Fal-G* blokų (tai yra specialus mišinio, sudaryto iš pelenų (Fa), kalkių (L) ir gipso (G), kompozitas). Šio fasado U reikšmė yra 0,22 W/m²·K [12].



8 pav. Indira Paryavaran Bhawan [12].

Kitas pavyzdys, kurį verta paminėti, yra dvigubo sluoksnio fasadai. Aukštos kokybės dvigubo sluoksnio fasadai su stikliniais paviršiais ir ventiliuojamais tarpais – tokie kaip Pearl River Tower arba 30 St Mary Axe – gali pagerinti U reikšmes ir pasiekti 0,40–0,80 W/m²·K, priklausomai nuo oro tarpo pločio ir stiklo rūšies [13]. Nors šie fasadai yra stikliniai, jie protingai naudoja natūralų arba mechaninį vėdinimą, kad sureguliuotų saulės radiaciją ir kontroliuotų oro srautą.



9 pav. Dvigubo sluoksnio fasadas.

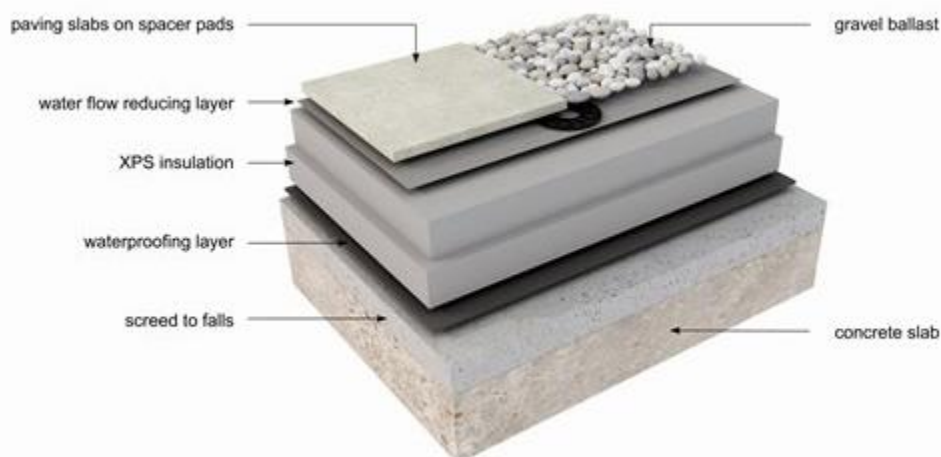
5.5.3. Aukšto energijos efektyvumo pastatų stogų pavyzdžiai

Plokščias stogas

Plokščias stogas – tai stogo tipas, pasižymintis minimalia nuolydžio kampo dalimi (paprastai mažesniu nei 5 %) ir dažnai naudojamas šiuolaikiniuose ir komerciniuose pastatuose dėl paprastos struktūros ir efektyvaus erdvės panaudojimo. Įprasta plokščio stogo sistema susideda iš kelių sluoksnių: konstrukcinio pagrindo, garų izoliacijos, šilumos izoliacijos, vandeniui atsparios membranos ir kartais apsauginio ar užbaigiamojo sluoksnio, pvz., žvyro, plytelių ar augalijos.

Šilumos izoliacijos savybės:

1. Nuolatinės izoliacijos galimybė: plokšti stogai leidžia įrengti nuolatinę ir nenutrūkstamą šilumos izoliacijos sistemą, taip sumažinant šilumos tiltelius. Dažniausiai naudojamos izoliacinės medžiagos: polizocianuratas (PIR), ekstruduotas polistirenas (XPS) ir mineralinė vata. Gerai suprojektuotos sistemos gali pasiekti šilumos perdavimo (U reikšmės) rodiklius, svyruojančius nuo 0,15 iki 0,25 $W/m^2 \cdot K$, priklausomai nuo izoliacijos tipo ir storio.
2. Didelis energijos efektyvumas: plokščias, vienodas paviršius leidžia lengviau užtikrinti vienodą izoliacijos storį, o tai pagerina bendrą šiluminę varžą. Tai padeda sumažinti šilumos nuostolius žiemą ir perkaitimą vasarą, pagerina patalpų šiluminį komfortą ir sumažina šildymo, vėsinimo ir vėdinimo energijos
3. Suderinamumas su pasyviosiomis sistemomis: plokščios stogai yra idealios platformos papildomoms energiją taupančioms sistemoms, pvz., žaliems stogams, saulės kolektoriams ar atspindžioms dangoms (vėsinantys stogai), integruoti. Pavyzdžiui, atspindintys plokšti stogai gali sumažinti saulės sugėrimą daugiau nei 70 %, papildydami šilumos izoliaciją ir pagerindami sistemos našumą karštosiose klimato sąlygose.



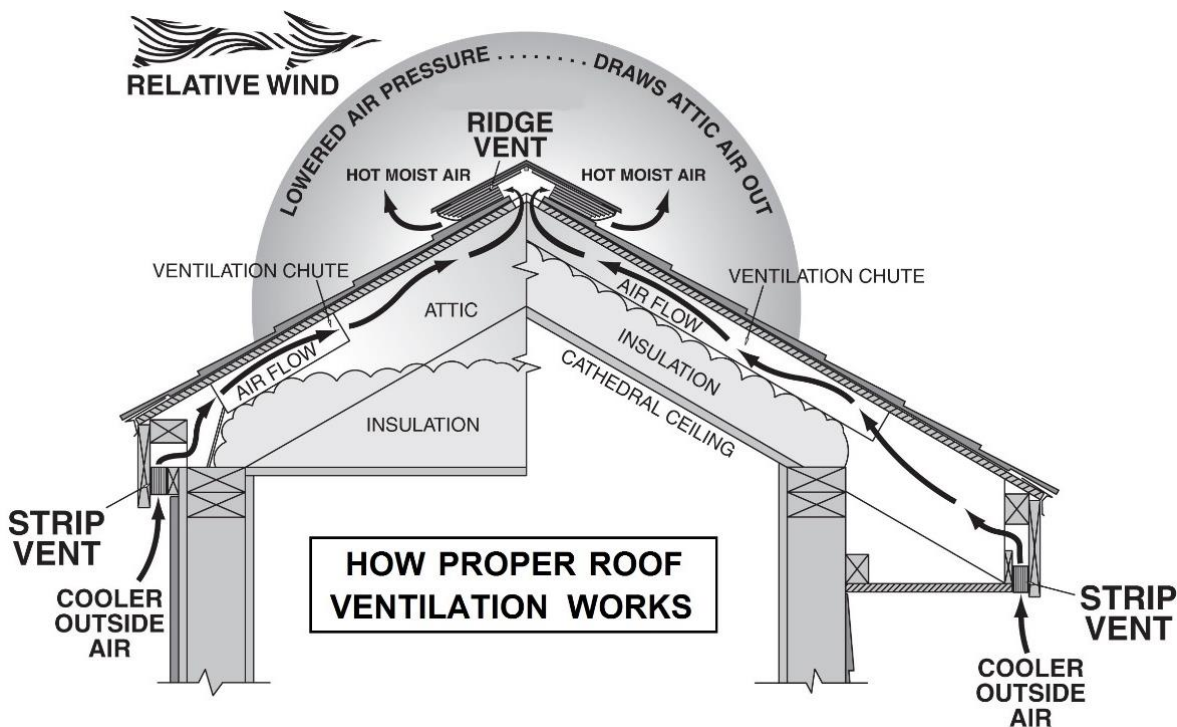
10 pav.: Plokščias stogas

Ventiliuojami vėsūs stogai

Apibrėžimas ir veikimo principas: ventiliuojami vėsūs stogai yra sudaryti iš didelio atspindžio išorinio sluoksnio (saulės atspindžio koeficientas nuo 0,65 iki 0,85) ir po juo esančiu vėdinamu oro tarpu. Tokia konstrukcija užtikrina natūralų oro srautą, kai šiltas oras išeina per aukštas ventiliacijos angas, o šaltesnis oras patenka iš apatinių įsiurbimo angų, taip veiksmingai sumažinant šilumos perdavimą į vidaus patalpas [14]. Šis pasyvus vėdinimo procesas taip pat padeda išlaikyti stabilesnę stogo temperatūrą visą dieną.

Įprasta konstrukcija ir šilumos perdavimo koeficientas (U reikšmė): standartinė konstrukcija susideda iš stogo pagrindo, garų izoliacijos, šilumos izoliacijos sluoksnio ir ventiliuojamos tarpo apie 25–50 mm gylio, kuris uždengiamas išorine stogo danga (plytelėmis, metaliniais lakštais ir kt.). Izoliuojantis sluoksnis paprastai pasiekia U reikšmes nuo 0,20 iki 0,30 $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$, priklausomai nuo izoliacijos tipo ir storio [15]. Ventiliuojama tarpą suteikia papildomą šilumos izoliacijos naudą, efektyviai sumažindama bendrą U reikšmę apie 0,1 $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ sumažinus laidų ir konvekcinį šilumos perdavimą [15].

Šalčio poveikis ir energijos efektyvumas: dėl saulės atspindžio ir ventiliacijos derinio ventiliuojami atšaldyti stogai gali išlaikyti paviršiaus temperatūras 30–40 °C žemesnes nei tamsūs, neventiliuojami stogai [16]. Šis šiluminis našumas lemia iki 30–50 % energijos taupymą vėsinimui, priklausomai nuo klimato, stogo konfigūracijos ir pastato tipo. Vieno aukšto pastatuose buvo užfiksuota, kad pereinant prie ventiliuojamų atspindinčių stogų HVAC (šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo) poreikis sumažėjo net iki 15 % [16].



11 pav. Vėdinamo stogo principas.

Kiti privalumai: be energijos efektyvumo, ventiliuojami atšaldyti stogai suteikia kelis papildomus privalumus:

- Ilgesnis medžiagų tarnavimo laikas, nes žemesnė paviršiaus temperatūra sumažina terminį poveikį ir nusidėvėjimą.
- Drėgmės kontrolė, kondensato susidarymo ir pelėsių atsiradimo rizikos sumažinimas dėl nuolatinės oro cirkuliacijos [15].
- Sumažintas miesto šilumos salų efektas, nes šie stogai išskiria mažiau šilumos spindulių į aplinką [14].



12 pav. Dengtas stogas su plytų sienomis (ventiliuojamas stogas).

Žalieji stogai



13 pav. Žaliasis stogas.

Apibrėžimas ir sudedamosios dalys: žalieji stogai – tai daugiasluoksnė sistema, įrengta ant įprastinių stogų, kurią sudaro vandeniui nelaidžios membranos, šaknų barjerai, drenažo sluoksniai, auginimo terpė (dirvožemis) ir augmenija. Juos galima skirstyti į

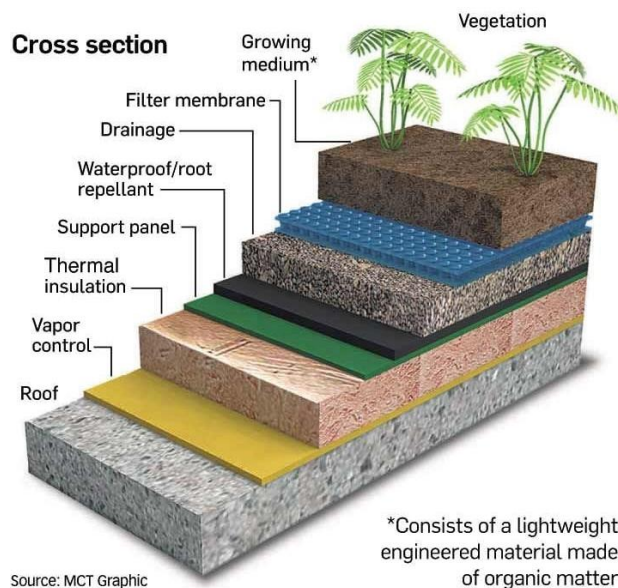
ekstensyvius (6–20 cm gylio, nereikalaujančius daug priežiūros, lengvesnius) ir intensyvius (20 cm ir gilesnius, kuriuose auga medžiai ir krūmai, sunkesnius ir sudėtingesnius) [17]. Šios sistemos užtikrina izoliaciją ir klimato reguliavimą, tuo pačiu suteikdamos estetinę ir ekologinę vertę miesto struktūroms.

Šilumos perdavimo koeficientas ir savybės: žalieji stogai veikia kaip natūralūs šilumos buferiai. Vasarą evapotranspiracija ir pavėsis sumažina šilumos perdavimą, o žiemą dirvožemio masė ir sulaikytas drėgnis sulėtina šilumos praradimą. Žaliųjų stogų U vertės skiriasi, bet paprastai svyruoja nuo 0,25 iki 0,35 W/m²·K, priklausomai nuo storio ir prisotinimo [18]. Palyginti su tradiciniais plokščiais stogais (U ≈ 0,50–0,60 W/m²·K), žali stogai gali pagerinti izoliaciją iki 50 %, ypač vasarą.

Energijos vartojimo efektyvumas ir patalpų komfortas: šiltame klimato žali stogai gali sumažinti patalpų temperatūrą 2–5 °C, o vasaros karščiausiu metu – 30–70 % [18, 19]. Vidutinio klimato sąlygomis bendras energijos sutaupymas per metus siekia 5–10 %. Žiemą izoliacijos privalumai yra mažesni, bet vis tiek reikšmingi – tyrimai rodo, kad šildymo energijos suvartojimas sumažėja iki 10 % [18].

Nauda aplinkai ir ilgaamžiškumas: be šiluminių privalumų, žali stogai siūlo:

- Iki 80 % lietaus vandens sulaikymą, palengvinantį drenažo sistemų darbą.
- Miestų šilumos salų mažinimą, aplinkos oro temperatūrą tankiai apstatytose vietovėse sumažinant iki 2–3 °C [17].
- Ilgesnį stogo tarnavimo laiką: apsaugodami vandeniui nelaidžias membranas nuo UV spindulių ir temperatūrų svyravimų, žali stogai gali padvigubinti stogo tarnavimo laiką iki 40–50 metų [20].



14 pav. Žaliasis stogas (Šaltinis: MCT grafika).

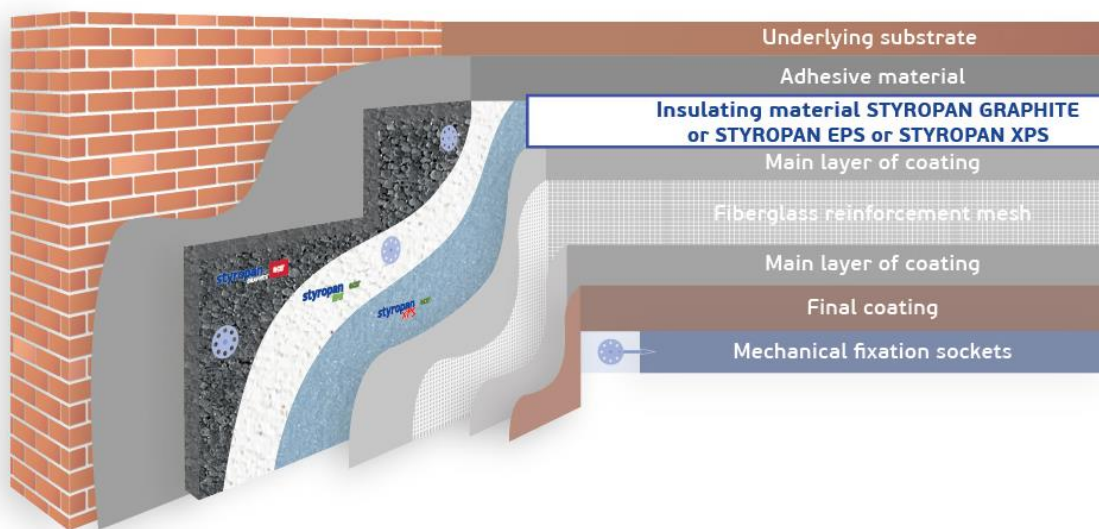
5.6. Alternatyvos, skirtos gerinti pastatų fasadų izoliaciją

5.6.1. Įvadas ir kontekstas

Fasadų izoliacijos gerinimas yra viena iš efektyviausių strategijų mažinant energijos suvartojimą ir didinant vidaus komfortą esamuose pastatuose. Fasadai dažnai sudaro 20–35% šilumos nuostolių pastatuose, ypač šaltuose ir vidutinio klimato regionuose [21]. Šių pastato apvalkalo elementų atnaujinimas gali reikšmingai sumažinti pastato U vertę ir energijos poreikį, nesukeliant didelių struktūrinių pokyčių.

5.6.2. Išorinės šilumos izoliacijos kompozicinės sistemos (ETICS)

ETICS, taip pat žinomos kaip išorinės sienų izoliacijos sistemos, apima izoliacinių plokščių (pvz., putų polistireno, mineralinės vatos arba PIR) montavimą ant sienų išorės, tada jų dengimą tinkleliu ir apdailos tinku. Šios sistemos gali sumažinti sienų U vertę nuo maždaug $1,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (neizoliuotas mūrinis namas) iki $0,20\text{--}0,25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, priklausomai nuo naudojamos medžiagos ir storio [22]. ETICS taip pat padeda išvengti šilumos tiltelių susidarymo ir pagerina fasado ilgaamžiškumą, apsaugodamos konstrukciją nuo atmosferos poveikio ir UV spindulių [22].



15 pav. ETIC (Šaltinis: Styropan).

ETICS naudojimo renovacijoje privalumai

- Geresnės šiluminės savybės: ETICS gali sumažinti tipinių mūro sienų šilumos perdavimo koeficientą (U vertę) nuo maždaug $1,2\text{--}1,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (neizoliuotos) iki $0,20\text{--}0,30 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, priklausomai nuo izoliacijos storio ir medžiagos. Tai pagerina patalpų komfortą ir sumažina šildymo bei vėsinimo poreikį iki 40% vidutinio klimato sąlygomis.

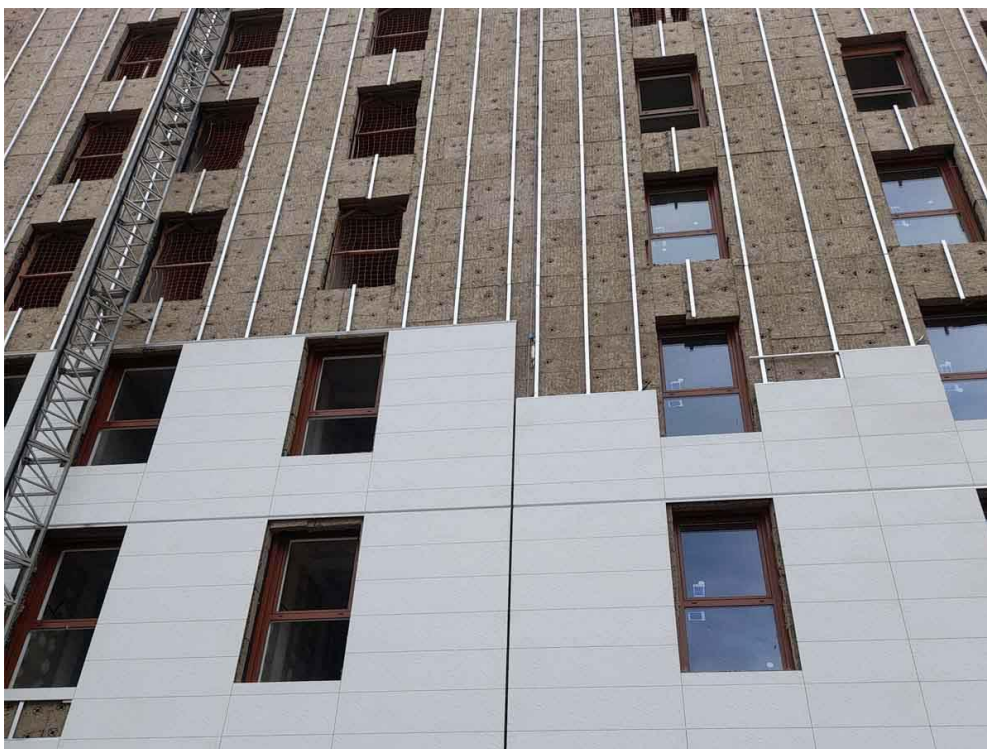
- Sumažinti šilumos tiltai: kadangi izoliacija yra ištisinė visame sienos paviršiaus plote, ETICS padeda pašalinti linijinius šilumos tiltus (pvz., grindų plokštėse ar langų sąramose), kurie yra dažni šilumos nuostolių šaltiniai senuose pastatuose.
- Išsaugota vidaus erdvė: kadangi izoliacija yra montuojama išorėje, neprarandama vidaus ploto, o gyventojai montavimo metu neturi išsikraustyti.
- Padidintas fasado patvarumas: ETICS apsaugo pagrindinę konstrukciją nuo atmosferos poveikio, temperatūros svyravimų ir UV spindulių, prailgina sienų tarnavimo laiką ir sumažina priežiūros išlaidas.
- Estetiškas atnaujinimas: sistema leidžia naudoti įvairias apdailos medžiagas, tekstūras ir spalvas, suteikiant galimybę modernizuoti pastato išvaizdą ir pagerinti jo eksploatacines savybes.

ETICS trūkumai:

- Reikalingos fasado modifikacijos: dėl padidėjusio storio (paprastai 8–20 cm) gali prireikti pritaikyti langų apvadus, palanges, karnizus ir balkonus, o tai padidina darbo sudėtingumą ir išlaidas.
- Mechaninis pažeidžiamumas: nepaisant sustiprinto išorinio sluoksnio, ETICS gali būti pažeidžiama mechaninių poveikių (pvz., smūgių, vandalizmo), ypač pirmame aukšte, ir gali prireikti periodinių remonto darbų.
- Reglamentavimo ar paveldo apribojimai: istoriniuose ar architektūriškai saugomuose pastatuose išorės pakeitimai gali būti ribojami, todėl ETICS gali būti netinkamas arba draudžiamas pasirinkimas.
- Pradinės investicijos: pradinės išlaidos, įskaitant pastolius, kvalifikuotą darbo jėgą ir detalų projektavimą, yra palyginti didelės, lyginant su kai kuriais kitais sprendimais, tačiau ilgalaikės sutaupytos išlaidos dažnai pateisina išlaidas.

5.6.3. Ventiliuojami fasadai

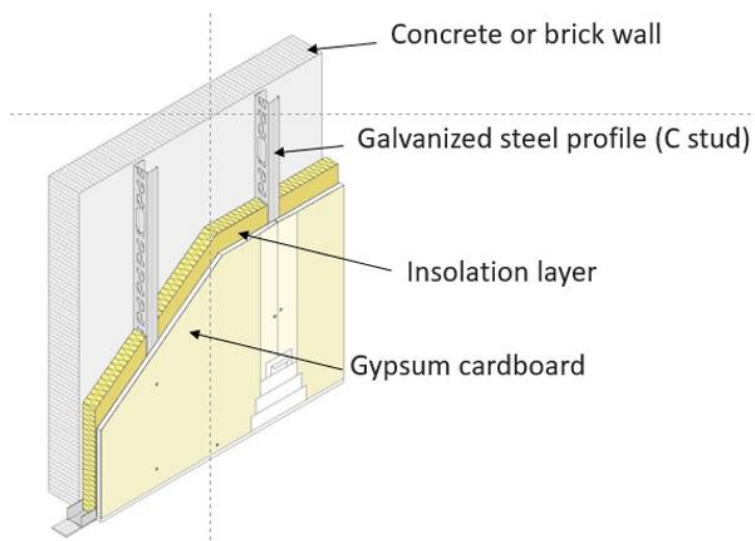
Ventiliuojami fasadai yra daugiasluoksnė sienų sistema, kurią sudaro išorinė apdaila (pvz., keramika, metalas, pluoštinis cementas), oro tarpas ir po juo esantis šilumos izoliacijos sluoksnis. Ši sistema leidžia oro srautui judėti tarp izoliacijos ir apdailos, taip gerinant higrotermines (medžiagos gebėjimas reaguoti į drėgmės ir temperatūros pokyčius) savybes ir mažinant drėgmės kaupimąsi. Ventiliuojamas oro sluoksnis veikia kaip šiluminis buferis ir gali sumažinti U vertes iki 0,15–0,30 W/m²·K, priklausomai nuo izoliacijos medžiagos ir oro tarpo gylio [23]. Šios sistemos plačiai naudojamos tiek renovacijoje, tiek estetiško fasado atnaujinime.



16 pav. Fasado atnaujinimas. Vėdinamas fasadas.

5.6.4. Vidaus izoliacijos sprendiniai

Kai išorinė izoliacija nėra įmanoma (pvz., paveldo objektuose), vidinė sienų izoliacija tampa veiksminga alternatyva. Tokios medžiagos kaip vakuumo izoliacijos plokštės (VIP), aerogeliai arba mineralinės vatos plokštės montuojamos ant sienos vidinės pusės. Nors šias sistemas lengviau įrengti iš vidaus, jos gali šiek tiek sumažinti naudingą patalpų plotą ir reikalauti garų kontrolės sluoksnių, kad būtų išvengta kondensacijos. Priklausomai nuo produkto, vidiniai atnaujinimai gali sumažinti U vertes iki 0,30–0,45 W/m²·K [24].



17 pav. Vidaus izoliacijos sprendimas.

Vidinės sienų izoliacijos dažniausiai naudojamos, kai neįmanoma izoliuoti pastato išorės – paprastai dėl miesto apstatymo apribojimų, architektūros paveldosaugos reikalavimų arba biudžeto ribojimų. Šios sistemos apima izoliacinių medžiagų (pavyzdžiui, mineralinės vatos, poliuretano plokščių, aerogelių arba kompozicinių plokščių) uždėjimą ant esamų išorinių sienų vidinio paviršiaus.

Vidaus izoliacijos sprendimų privalumai:

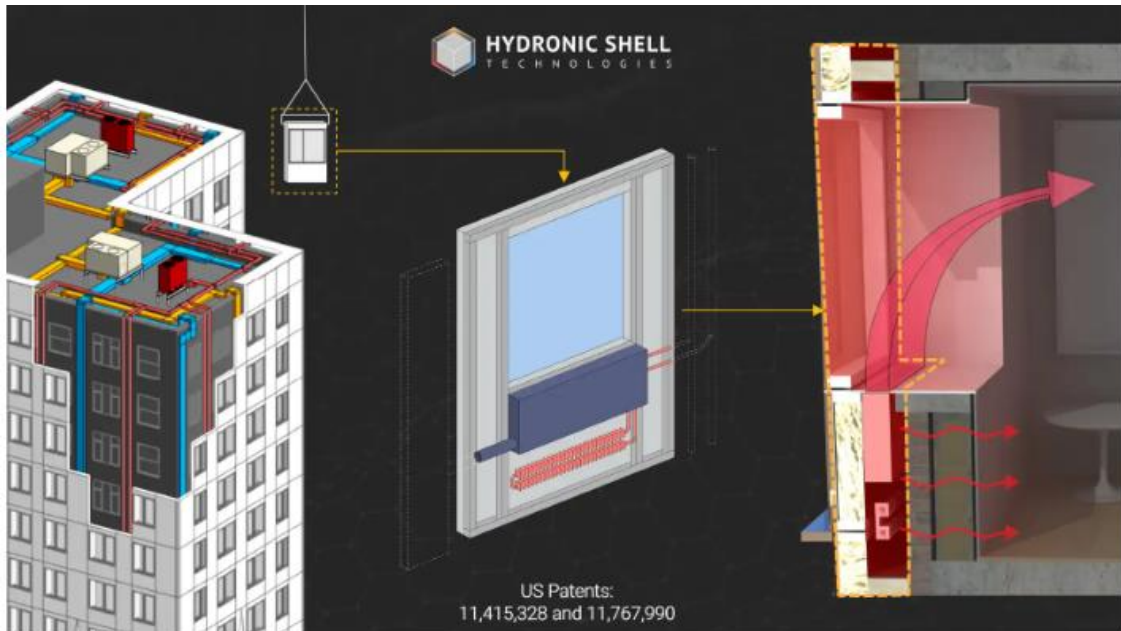
- Pastato išorės išsaugojimas: vienas iš pagrindinių privalumų yra tai, kad pastato išorinis vaizdas išlieka nepakitęs. Dėl to vidinė izoliacija ypač tinka paveldo pastatams, kur fasado pakeitimai dažnai yra ribojami.
- Supaprastintas montavimas: vidinė izoliacija paprastai gali būti montuojama kambarys po kambario, todėl renovaciją galima atlikti etapais. Tai naudinga gyvenamosiose patalpose, kur gyventojai gali toliau naudotis dalimi pastato renovacijos metu.
- Mažesnės pradinės išlaidos: palyginti su išorinėmis izoliacijos sistemomis, vidinės izoliacijos sprendimai gali būti pigesni, ypač pastatuose su sudėtingomis fasadų konstrukcijomis, ornamentais arba sunkiai prieinamose vietose, kur neįmanoma pastatyti pastolių.
- Geresnis patalpų komfortas: tinkamai įrengta vidinė izoliacija gali žymiai sumažinti šilumos nuostolius, padidinti paviršių temperatūrą ir sumažinti kondensato susidarymą ant vidinių sienų, taip pagerindama šiluminį komfortą žiemos mėnesiais.

Vidaus izoliacijos sprendimų trūkumai

- Sumažėjęs vidaus plotas: vienas iš žymiausių trūkumų yra naudingo ploto praradimas, ypač kai siekiant atitikti šiluminius reikalavimus naudojama storesnė izoliacija. Tai gali būti problema mažesnėse patalpose ar butuose.
- Šilumos tiltelių rizika: vidinė izoliacija neapima konstrukcinių jungčių, pvz., grindų plokščių ar vidinių pertvarų. Dėl to susidaro šilumos tilteliai, kurie gali sumažinti bendrą energijos vartojimo efektyvumą ir sukelti vietinį kondensato susidarymą ar pelėsio augimą.
- Kondensato susidarymo ir drėgmės rizika: jei vidinė izoliacija nėra tinkamai suprojektuota su garų kontrolės sluoksniais arba kvėpuojančiomis medžiagomis, ji gali sulaikyti drėgmę sienose, o tai gali sukelti rasos taško susidarymą ir pastato konstrukcijų irimą.
- Neatitikimai gyventojams: vidaus izoliacijos montavimas reikalauja dirbti pastato viduje, dėl to gali prireikti perkelti baldus, atlikti elektros darbus ir remontą. Tai gali trukdyti gyventojams renovacijos metu.

- Reikalingos sudėtingos detalės: labai svarbu tinkamai atlikti darbus, ypač aplink langų apvadus, lizdus, radiatorius ir jungtis. Netinkamai atliktos detalės gali pakenkti šiluminiam efektyvumui ir drėgmės kontrolei.

5.6.5. Kitos sistemos: hidroninės apvalkalo sistemos



18 pav. Hidroninės apvalkalo sistemos [25].

Hidroninės apvalkalo sistema yra novatoriškas fasado integruotas sprendimas, sukurtas esamų pastatų giluminiam energijos atnaujinimui, ypač pastatų, kuriuose yra ribota izoliacija ir pasenę šildymo sistemų sprendimai. Ji susideda iš prefabriuoto išorinio apvalkalo, į kurį įtraukiama aukštos kokybės izoliacija ir integruotas hidroninis radiacinis šildymo ir vėsinimo tinklas. Šis tinklas cirkuliuoja vandenį per fasade įmontuotus vamzdžius arba plokštes, užtikrindamas žemos temperatūros šildymą žiemą ir pasyvų arba aktyvų vėsinimą vasarą. Sistema ne tik gerina šiluminę izoliaciją (su U vertėmis, paprastai žemesnėmis nei $0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$), bet ir pakeičia arba papildo tradicines ŠVOK sistemas, taip pasiekiant reikšmingų energijos taupymo ir vidaus komforto pagerinimo rezultatų.

Vienas iš pagrindinių *Hydronic Shell* privalumų yra tai, kad ją galima montuoti neardant pastato, nes moduliai montuojami išorėje ir juos galima įrengti beveik netrikdant pastato gyventojų. Be energijos vartojimo efektyvumo gerinimo, sistema suteikia naują vėdinamą fasadą, kuris atveria architektūros atnaujinimo galimybes. Jos suderinamumas su atsinaujinančiais energijos šaltiniais (tokiais kaip šilumos siurbiai ar saulės šilumos kolektoriai) dar labiau padidina jos tvarumą. Nors tai vis dar naujas sprendimas didelio masto įgyvendinimui, jis yra perspektyvi strategija siekiant beveik nulinės energijos pastatų (nZEB) standartų esamuose pastatuose.

6. Rezultatai

Siekiant įvertinti pamokos sėkmę, siūlome mokiniams atlikti apklausą raštu arba žodžiu.

7. Ko išmokome

Kas yra pastato apvalkalas.

Pastato apvalkalo fizines savybes.

Pastato apvalkalo optimizavimo strategijas.

Pastato apvalkalo komponentus.

Energiją taupančių langų ir durų tipus ir jų pavyzdžius.

Energiją taupančius fasadų ir stogų sprendinius.

Priemonės, skirtas pastato apvalkalo fasadų ir sienų izoliacijai pagerinti.

Šaltiniai

- [1] JAV Energetikos departamentas, „Pastato apvalkalas“, Energy.gov. [Internete].
Prieinama: <https://www.energy.gov/energysaver/design/energy-efficient-home-design/building-envelope>
- [2] Pasyviųjų namų institutas, „Kas yra pasyvus namas?“ [Internete]. Prieinama:
<https://passivehouse.com>
- [3] Amerikos šildymo, šaldymo ir oro kondicionavimo inžinierių asociacija (ASHRAE),
ASHRAE vadovas – pagrindai, Atlanta, GA: ASHRAE, 2021.
- [4] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz ir C. Pout, „A review on buildings energy consumption
information“ (Pastatų energijos suvartojimo informacijos apžvalga), *Energy and
Buildings*, t. 40, nr. 3, p. 394–398, 2008.
- [5] JAV Energetikos departamentas, „Langų tipai“, „Energijos taupymas“,
<https://www.energy.gov/energysaver/types-windows>
- [6] NFRC (Nacionalinė langų ir durų vertinimo taryba), „Langų eksploatacinių savybių
vertinimas“, <https://www.nfrc.org>
- [7] Urban Front, „U vertės ir jūsų durys: vadovas“, *Urban Front*, 2025. [Internete].
Prieinama: <https://www.urbanfront.com/blog/u-values-and-your-front-door/>
- [8] King Locksmiths, „Geriausias R vertės ir U koeficiento palyginimas durims“, *King
Locksmiths Blog*, 2024. [Internete]. Prieinama: <https://www.kingdoorandlock.com/r-value-vs-u-factor-door-insulation/>
- [9] A. Biro, „A Guide to Energy-Efficient Doors in 2025“ (Energiją taupančių durų vadovas
2025 m.), *Green Building & Design (gb&d)*, 2025 m. balandžio 22 d.
[Internete]. Prieinama: <https://gbdmagazine.com/energy-efficient-doors/>
- [10] Camila Prieto, „Ventiliuojamos fasadinės sienos energiją taupančiam pastatų
renovacijai“, *ArchDaily*, 2023 m. birželio mėn. [Internete]. Prieinama:
<archdaily.com>
- [11] A. Espinosa-Fernández et al., „Ventiliuojamų fasadų energijos vartojimo
efektyvumas“, *WIT Transactions on The Built Environment*, t. 171, p. 41–52, 2017.
- [12] „Indira Paryavaran Bhawan“, *Vikipedija*, 2025 m. balandžio mėn. [Internete].
Prieiga: <wikipedia.org/wiki/Indira_Paryavaran_Bhawan>
- [13] „Dvigubo sluoksnio fasadas“, *Vikipedija*, 2023 m. [Internete]. Prieinama:
<wikipedia.org/wiki/Double-skin_facade>
- [14] JAV Energetikos departamentas, „Cool Roofs“, *Energy.gov*, 2021 m. [Internete].
Prieinama: <https://www.energy.gov/energysaver/cool-roofs>

- [15] AIVC, „Ventiliuojamų stogų šiluminės savybės“, *Oro infiltracijos ir ventiliacijos centras*, 2006 m. [Internete]. Prieinama: https://www.aivc.org/sites/default/files/members_area/medias/pdf/Inive/epic2006/VOLUME_1_Epic06/E06/040_Borg.pdf
- [16] M. Singh et al., „A comparative review of cool roof thermal performance“ (Šaltų stogų šiluminės savybės palyginimas), *Journal of Building Engineering*, t. 43, 2021. [Internete]. Prieinama: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666123321000209>
- [17] JAV Aplinkos apsaugos agentūra, „Žaliųjų stogų naudojimas šilumos salų mažinimui“, EPA, 2022. [Internete]. Prieinama: <https://www.epa.gov/heatislands/using-green-roofs-reduce-heat-islands>
- [18] A. Niachou, K. Papakonstantinou, M. Santamouris, A. Tsangrassoulis ir G. Mihalakakou, „Žaliųjų stogų šiluminių savybių analizė ir energijos vartojimo efektyvumo tyrimas“, *Energy and Buildings*, t. 33, nr. 7, p. 719–729, 2001. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00062-7](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00062-7)
- [19] Living Roofs, „Žalieji stogai ir energijos taupymas“, *LivingRoofs.org*, 2023. [Internete]. Prieinama: <https://livingroofs.org/energy-conservation/>
- [20] Urban Greening, „Žaliųjų stogų privalumai“, *Žalieji stogai sveikoms miestams*, 2023. [Internete]. Prieinama: <https://greenroofs.org/resources/benefits-of-green-roofs/>
- [21] Europos Komisija, „Pastatų energijos vartojimo efektyvumas“, *Europos Sąjunga*, 2023 m. [Internete]. Prieiga: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings_en
- [22] Baunit, „ETICS išorinė šilumos izoliacijos kompozicinė sistema“, *Baunit techniniai duomenų lapeliai*, 2022 m. [Internete]. Prieinama: <https://www.baunit.com/products/facade/etics>
- [23] Knauf Insulation, „Ventiliuojamos fasadų sistemos“, *Knauf techninis vadovas*, 2023 m. [Internete]. Prieinama: <https://www.knaufinsulation.com/en/products-solutions/facades>
- [24] Historic England, „Energijos vartojimo efektyvumas ir istoriniai pastatai: vidinių sienų izoliacija“, 2016 m. [Internete]. Prieiga: <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/eehb-internal-wall-insulation/>
- [25] Hydronic Shell, „Kaip tai veikia – Hydronic Shell“, *HydronicShell.com*, žiūrėta 2025 m. birželio mėn. [Internete]. Prieinama: <https://www.hydronicshell.com/>