

INOVATYVIŲ ŽALIUZIŲ FAKTINIO EFEKTYVUMO TYRIMAS

Giedrius ŠIUPŠINSKAS¹, Dovydas RIMDŽIUS², Rasa DŽIUGAITĖ-TUMĖNIENĖ³,
Juozas BIELSKUS⁴, Ignas ŠLAPKAUSKAS⁵

^{1,2,3,4}Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

⁵UAB „Saulės vėjo aruodai“, Laisvės pr. 117-84, Vilnius LT-06118, Lietuva

El. paštas: ¹giedrius.siupsinskas@vgtu.lt; ²dovydas.rimdzius@vgtu.lt; ³rasa.dziugaite-tumeniene@vgtu.lt;
⁴juozas.bielskus@vgtu.lt; ⁵ignas@sva.lt

Santrauka. Straipsnyje analizuojamos inovatyvios vidinės žaliuzės, kurios leidžia efektyviau panaudoti per langą gautą saulės energiją patalpoms šildyti bei didesniai oro judrumui dėl konvekcijos užtikrinti. Žaliuzės sukonstruotos taip, kad viena jų pusė padengta saulės energiją absorbuojančia medžiaga, o kita pusė yra atspindinti. Taip atsiranda galimybė reguliuoti absorbuojamos saulės spinduliuotės kiekį bei tarp lango ir žaliuzių cirkuliuojančio oro temperatūrą. Papildomai konstrukcijoje numatyti orą nukreipiantys elementai. Šaltas oras natūralios cirkuliacijos būdu patenka tarp žaliuzių ir lango, ten sušyla ir kyla į viršų. Straipsnyje pateikiamas žaliuzių veikimo empirinis ir teorinis įvertinimas. Be to, atliekama eksperimentinių tyrimų analizė, kurios metu vertinamas sukuriamas oro srauto intensyvumas ir temperatūros kitimo priklausomybė nuo išorinių (klimatinių) sąlygų.

Reikšminiai žodžiai: vidinės žaliuzės, saulės energijos absorbavimas, patalpų šildymas, temperatūros prieaugis, natūrali konvekcija, oro judrumas, faktinis efektyvumas.

Įvadas

Langų žaliuzės naudojamos dėl daugelio priežasčių, jų būna įvairių tipų bei formų, jos gali būti įrengiamos tarp lango stiklų (lango viduje), pastato išorėje ar patalpoje (Van Den Wymelenberg 2012). Šie įrenginiai suteikia vizualų ir šiluminį komfortą, leidžia pasirinkti norimą privatumo ir apšvietimo sąlygas. Kai žaliuzės yra šalia stiklo paviršiaus, jos sumažina saulės spinduliuotę ir suteikia individualias šiluminės apsaugos priemones prie lango sėdintiems žmonėms (Shahid, Naylor 2005).

Mokslininkų atlikti tyrimai (Cho *et al.* 1995; Rheault, Bilgen 1989; Ullah, Lefevbre 2000) parodė, kad automatizavus langų žaliuzių reguliavimą gali būti kontroliuojami saulės pritekiai, sumažinami šildymo ir vėsinimo poreikiai pastatuose. Kiti autoriai (Dalal *et al.* 2009; Almeida, Naylor 2011) atlikdami eksperimentinius tyrimus ir taikydami modeliavimą nagrinėjo sumontuotų tarp dviejų stiklų (stiklo pakete) žaliuzių veikimą. S. Chaiyapinunt ir N. Khamporn (2013) sudarė lango su viduje įrengtomis žaliuzėmis matematinį modelį bei atliko eksperimentinius matavimus, siekdami nustatyti šiluminį efektyvumą dėl trumpųjų bangų spinduliuotės. Mokslininkai nustatė, kad šilumos kiekio sumažėjimas labiausiai priklauso nuo stiklo

savybių, žaliuzių plokštelių savybių, plokštelių kampo ir saulės kampo profilio.

M. Collins (2004) nagrinėjo konvekcinių šilumos srauto sklaidimą aplink vienodai įšilusias horizontalias ir pakreiptas žaliuzes. Tyrimų metu žaliuzės buvo įrengtos šalia įkaitusio vertikalaus ir šiltesnio negu aplinka izoterminio paviršiaus. Analizės išvadose pristatyti įvairūs langų užtemdymo modeliai, leidžiantys sumažinti vėsinimo poreikius. Kiti mokslininkai (Cuevas *et al.* 2010) sudarė empirinį žaliuzių veikimo modelį, padedantį įvertinti konvekcinius šilumos nuostolius nuo vidinio stiklo paviršiaus. Sudarytas modelis leido skaičiuoti konvekcinių šilumos atidavimo koeficientą bei tarp stiklo ir apsaugos nuo saulės priemonių paviršių tekančio oro srauto greitį.

Dauguma anksčiau minėtų autorių nagrinėjo standartinės žaliuzės be natūralų konvekcinių srautų reguliuojančių priemonių. O šiame tyrime nagrinėjamos žaliuzės, kurių viena plokštelių pusė padengta saulės spinduliuotės energijos absorbciją didinančia medžiaga (naudojama šaltuoju sezonu). Už žaliuzių įrengta permatoma sienelė, kuri tarp plokštelių susidariusį šilumos srautą nukreipia vertikaliai aukštyn. Tokie sprendimai leidžia padidinti ties žaliuzėmis cirkuliuojančio oro temperatūrą ir judrumą, o tai sumažina

ant aplink esančių atitvarų paviršių kondensato susidarymo tikimybę. Kita žaliuzių plokštelių pusė yra poliruota ir atspindi saulės spinduliuotę šiltuoju metų sezonu. Šioje publikacijoje pristatomi inovatyvių žaliuzių eksperimentiniai tyrimai, kurių metu siekiama įvertinti įrenginio veikimą bei identifikuoti pagrindinių rodiklių įtaką patalpos šildymo efektyvumui.

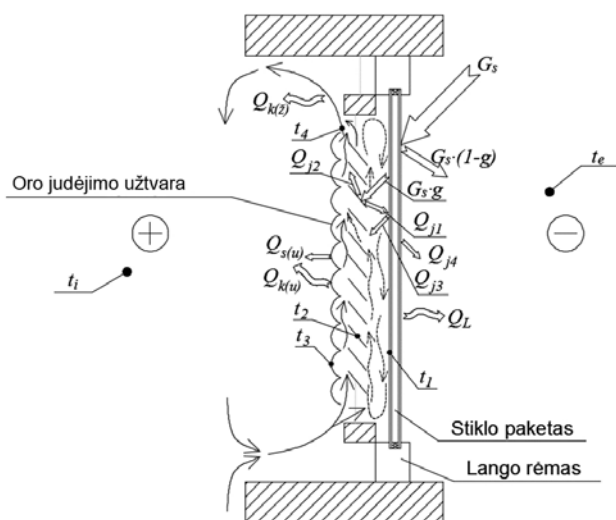
Tyrimo objektas

Darbo objektas – vidinės langų žaliuzės „Collect and Reflect“, kurių viena pusė padengta saulės energiją absorbuojančia medžiaga, o kita pusė yra poliruota. Žaliuzių paviršių padengimas skirtingomis medžiagomis leidžia reguliuoti ties langu cirkuliuojančio oro temperatūrą šiltuoju ir šaltuoju metų laiku. Šiltuoju metų laiku žaliuzės pritaikytos naudoti saulės energiją atspindintį paviršių, taip sumažinami saulės pritekiai į patalpas. O šaltuoju metų sezonu žaliuzių paviršius gali būti apsukamas į priešingą pusę. Įrenginys šiuo laikotarpiu veikia naudodamas saulės energiją sugeriantį paviršių. Šis veikimo režimas leidžia patalpos orui natūraliu būdu patekti tarp žaliuzių bei lango paviršių ir ten sušilti. Ties viršutine žaliuzių dalimi yra ertmė, todėl sušilęs oras toliau gali patekti į patalpą. Siekiant padidinti oro judrumą tarp žaliuzių ir lango paviršių, galinėje įrenginio dalyje numatyta skaidri oro judėjimo užtvara. Cirkuliuojančio oro parametrus ir šviesos praleidžiamumą reguliuoti numatytas žaliuzių pasvirimo kampo reguliavimo mechanizmas (žr. 1 pav.)

Tyrimo metodika

Čia aprašomas teorinis žaliuzių prototipo veikimo modelis, kuriame įvertinami pagrindiniai energijos virsmų procesai bei sudaromas energijos srautų balansas. Toliau esančiame 1 pav. pateikiama supaprastinta schema, kurioje vaizduojami pagrindiniai energijos srautai ties langu, žaliuzėmis bei tarp išorės ir vidaus aplinkos.

Pagal pateiktą energijos srautų schemą matyti, kad dėl stiklo paketo optinių savybių ne visa į stiklo paviršių kritusi saulės spinduliuotė (G_s) patenka į patalpą. Saulės energijos pritekiai į patalpą priklauso nuo stiklo paketo saulės energijos praleisties koeficiento g (Hee *et al.* 2015; Motuzienė 2010). Kuo didesnis šis koeficientas, tuo daugiau saulės spinduliuojamos šilumos patenka į patalpą. Įprastai saulės spinduliai patenka į patalpą, krinta ant paviršių, o šie dalį energijos sugeria, dalį atspindi. Sugertoji saulės spindulių energijos dalis didina patalpos kūnų (atitvarų, daiktų) temperatūrą, o tarp jų ir oro vyksta konvekciniai šilumos mainai. Dėl šios priežasties įkaitę kūnų paviršiai šildo patalpos orą. Naudojant „Collect and Reflect“ žaliuzes,



1 pav. Tiriamajame objekte vykstančių energijos srautų schema

Fig. 1. Energy flow diagram of the test object

energiniai srautai pasiskirsto ties kūnų paviršiumi, todėl skiriasi šildomo oro parametrai.

Šiuo atveju pro stiklą patekę saulės spinduliai krinta tiesiogiai ant aliumininių žaliuzių plokštelių. Viena plokštelių pusė padengta tamsiais dažais, kurie padidina saulės spinduliuotės įgerties dydį šaltuoju laikotarpiu. Kitas plokštelių pusės paviršius yra nedažytas ir poliruotas, jo paskirtis atspindėti kuo daugiau saulės energijos šiltuoju laikotarpiu. Šiame darbe aprašomas žaliuzių veikimas tik šaltuoju metų periodu.

Visa saulės spinduliuotė, patekusi pro langą, krinta ant žaliuzių paviršiaus, nes daroma prielaida, kad dviatomės (oras) ir vienantomės dujos praleidžia beveik visus šiluminius spindulius (Drobavičius *et al.* 1974). Dalis ant paviršiaus kritusios saulės spindulių energijos yra sugerama, todėl kyla žaliuzių paviršiaus temperatūra. Kita energijos dalis, kuri nebuvo sugerta, yra atspindima. Priklausomai nuo žaliuzių plokštelių pasvirimo kampo, dalis šios energijos atspindima į patalpą (Q_{j2}) ir atgal į langą (Q_{j1}), tačiau dėl stiklo paketo optinių savybių dalis į langą krintančio atspindžio vėl atspindima atgal (Q_{j3}) į žaliuzes (ir į patalpą), o kita dalis išspinduliuojama į aplinką (Q_{j4}). Žaliuzių paviršiaus temperatūrai pakilus daugiau už patalpos oro temperatūrą ($t_2 > t_1$), susidaro natūralus konvekcinis šilumos srautas ($Q_{k(z)}$), kuris juda vertikaliai aukštyn. Dalis šio konvekcinio srauto (temperatūra t_4) patenka į patalpą apeidama atitvarą virš lango, o kita dalis apeina stiklo paketą. Įrenginio galinėje pusėje įrengta užtvara, kurios tikslas neleisti žaliuzių plokštelių sušildytam orui iškart patekti į patalpą, todėl susidaręs konvekcinis srautas priverčiamas kilti aukštyn. Įrengtą barjerą aptekantis konvekcinis šilumos srautas kartu šildo ir patį užtvaramą, todėl, jam sušilus, dalį

šilumos nuo šio konstrukcinio elemento patalpa gauna per konvekcijos ($Q_{k(u)}$) ir spinduliavimo ($Q_{s(u)}$) šilumos srautus.

Įrenginio fizikinių procesų modelis rodo, jog įrengus tiriamojo tipo žaliuzes susidaro sudėtingi šilumos mainai tarp žaliuzių ir jas supančios aplinkos. Šie mainai apima visus šilumos sklidimo būdus (spinduliavimą, konvekciją ir laidumą), todėl, remiantis supaprastinta 1 pav. schema, galima sudaryti bandomojo objekto energinį balansą:

$$G_s = G_s \cdot (1 - g) + Q_{j4} + Q_L + Q_{k(u)} + Q_{s(u)} + Q_{k(z)}, \quad (1)$$

čia G_s – saulės spindulių energijos srautas, krintantis į lango paviršių, W; g – stiklo paketo saulės energijos praleisties koeficientas; Q_{j4} – šilumos nuostoliai dėl spinduliuojamos energijos pro langą, W; Q_L – laidumo būdu patiriami šilumos nuostoliai, W; $Q_{k(u)}$ – konvekcinis šilumos srautas nuo žaliuzių oro užtvaros, W; $Q_{s(u)}$ – spindulinis šilumos srautas nuo žaliuzių oro užtvaros, W; $Q_{k(z)}$ – konvekcinis šilumos srautas dėl žaliuzių sušildyto oro, W.

Pagrindinė šių žaliuzių paskirtis – ant paviršiaus kritusią saulės spinduliuotę transformuoti į konvecinį srautą bei padidinti ties žaliuzėmis cirkuliuojančio oro temperatūrą ir judrumą šaltuoju sezonu. Remiantis pateiktu energiniu balansu matoma, jog, norint įvertinti tiriamų žaliuzių veikimą, svarbu atlikti temperatūros, oro judėjimo greičio, saulės spinduliuotės ir medžiagų fizikinių rodiklių matavimus. Tyrime žaliuzių prototipo matavimai atliekami natūraliomis gamtinėmis sąlygomis, todėl, siekiant įvertinti įrenginio veikimo rodiklius, sudaroma bandomo schema, kurioje matuojamos oro judėjimo greičių, temperatūrų bei saulės spinduliuočių vertės. Šiuo atveju tiriamasis objektas įrengtas ties vidine pietinio lango puse, o matavimo prietaisai

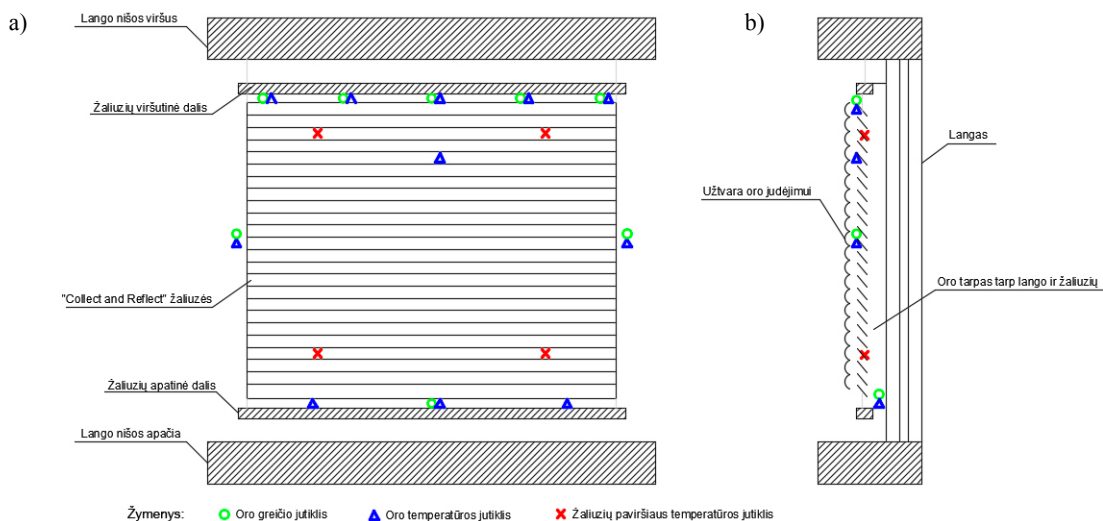
išdėstomi atsižvelgiant į žaliuzių padėtį ir nurodytus prietaisų montavimo aspektus (žr. 2 pav.).

Atliekant matavimus, bandomoje schemoje naudojami 8 oro judėjimo greičio jutikliai (Almemo FVA-TH4 2008, Almemo FVA605 TA1/10 2008, Almemo FV A915 S120 2008), 11 oro temperatūros jutiklių ir 4 žaliuzių paviršiaus temperatūros jutikliai (Almemo NiCr-Ni Type T 2008) (Ahlborn 2008a, 2008b, 2011, 2013). Matavimais siekiama nustatyti žaliuzių sukuriamo oro srauto intensyvumą. Šiuo atveju daroma prielaida, jog intensyviausias oro srautas susidarys viršutinėje žaliuzių dalyje, todėl šioje zonoje parenkamas didžiausias matavimo prietaisų išdėstymo tankis (5 oro judėjimo greičio ir oro temperatūros jutikliai).

Žaliuzių prototipas įrengtas 7 cm atstumu nuo stiklo paketo, todėl jų šonai lieka atviri. Dėl šios priežasties, šylant įrenginio paviršiams, ties šonais vyksta oro judėjimas, todėl šiose vietose taip pat svarbu nustatyti oro srautų parametrus. Ties žaliuzių šonų vidurinėmis dalimis įrengiama po vieną oro judėjimo greičio ir oro temperatūros jutiklį, todėl matuojami parametrai bus taikomi tik preliminariai įvertinant šiose zonose vykstančius procesus.

Žaliuzių prototipo tyrimai atliekami natūraliomis gamtinėmis sąlygomis, todėl bandomų laikotarpiu nuolat kinta saulės spinduliuotės srautas. Dėl šios priežasties įrenginio rodikliams nustatyti atliekami saulės spinduliuotės matavimai lauke ir patalpos viduje. Atsižvelgiant į tai, kad tiriamosios žaliuzės įrengtos vertikaloje padėtyje, saulės spindulių energijos srauto matavimo prietaisai (Onset S-LIB-M003, 2015) taip pat įrengiami šia kryptimi.

Atliekant žaliuzių veikimo vertinimą, tikslinga nagrinėti laikotarpį, kai saulės spinduliuotė intensyviausia. Kitu



2 pav. Žaliuzių bandomo principinės schemas vaizdas iš priekio (a) ir iš šono (b)

Fig. 2. Front view (a) and side view (b) of principal diagram of blinds test

atveju, veikiant įrenginiui, susidaro nežymūs temperatūros ir oro greičių prieaugiai, todėl tyrimo rezultatų tikslumas bus mažesnis. Šiuo atveju tyrimo rezultatų analizė atliekama pagal vienos paros laikotarpį, kai buvo užfiksuotas didžiausias saulės spinduliuotės energijos srautas. Kadangi saulės spinduliuotė paros metu plačia amplitudė svyruoja ir kinta, prieš atliekant duomenų analizę eliminuojami mažo saulės intensyvumo laikotarpiai. Pateiktame tyrime eliminuojami nakties, ryto ir vakaro laikotarpiai, todėl nagrinėjami tik 10⁰⁰–18⁰⁰ val. matavimų duomenys.

Temperatūros prieaugis

Tiriamų žaliuzių plokštelių paviršius padengtas saulės spinduliuotės energijos įgertį stiprinančiais dažais, todėl šiame poskyryje pateikiami matavimų rezultatai, rodantys tokio sprendimo įtaką žaliuzių paviršiaus ir oro srautų temperatūroms. Reikėtų pastebėti, kad per visą matavimo laikotarpį klimato sąlygos nebuvo visiškai palankios eksperimentui, nes nebuvo nei vienos dienos, kai saulės spinduliuotės intensyvumas būtų tolygus, t. y. diena būtų visiškai giedra. 3 pav. pateikiamos oro temperatūros kitimo kreivės patalpos viduje ir prie žaliuzių viršutinės dalies (kreivė rodo vidutinę matavimo prietaisų registruojamą oro temperatūrą prieš orui patenkant į patalpą). Grafike taip pat pavaizduotas saulės spinduliuotės kitimas (brūkšniuota kreivė), todėl, įvertinus temperatūrų kreivių sąveiką, aiškiai matoma saulės spinduliuotės įtaka oro temperatūros kitimui. Didėjant saulės intensyvumui, iškart didėja oro temperatūra tarp žaliuzių ir lango paviršiaus, o intensyvumui mažėjant procesas priešingas, t. y. temperatūra iškart mažėja.

Vertinant temperatūros kreivių kitimą paros laikotarpiu galima pastebėti, kad ties žaliuzių paviršiumi vyrauja aukštesnė temperatūra už patalpos oro temperatūrą. Todėl, atsižvelgiant į šių rodiklių skirtumą, galima teigti, jog esama įrenginio konstrukcija leidžia padidinti tarp

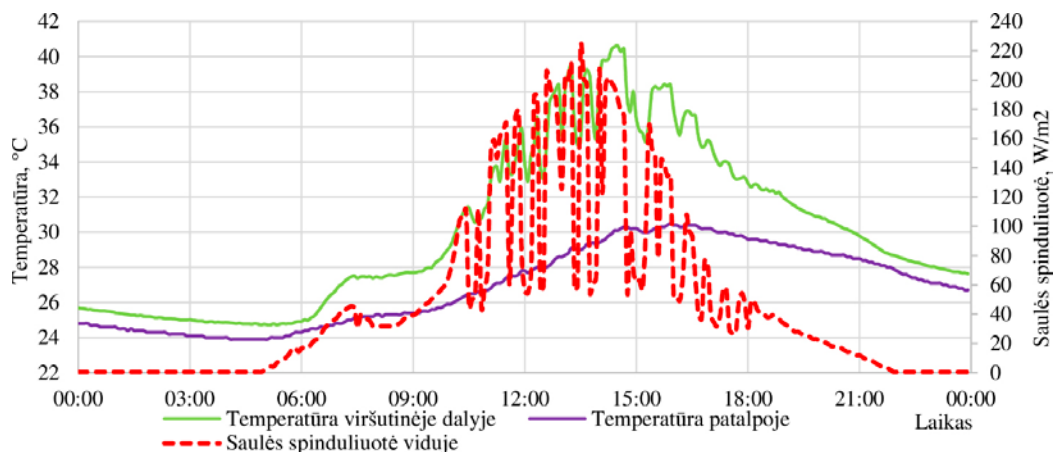
žaliuzių plokštelių paviršių pratekančio oro temperatūrą. Atkreipiamas dėmesys, kad grafike taip pat matomas temperatūros skirtumas naktį. Šiuo atveju daroma prielaida, jog nesutapimas galėjo susidaryti dėl skirtinguose aukščiuose įrengtų matavimo prietaisų. Analizuojant oro temperatūros patalpoje ir oro temperatūros ties žaliuzių paviršiumi kitimą, nagrinėjamu laikotarpiu didžiausias skirtumas siekė iki 10,5 °C, o vidutinis energijos srauto tankis, patenkantis pro langą, vidutiniškai buvo 200 W/m². Vertinant laikotarpį nuo 10⁰⁰ iki 18⁰⁰ val., vidutinis energijos srauto tankis, patenkantis pro langą, siekė 107 W/m², o vidutinis temperatūros prieaugis buvo 6,5 °C.

Kitas bandymų metu siekiamas įvertinti rodiklis – žaliuzių plokštelių paviršiaus temperatūra (žr. 4 pav.).

Grafike pavaizduota žaliuzių paviršiaus temperatūros kitimo kreivė rodo 4 matavimo taškų (pagal 2 pav. schemą) aritmetinį vidurkį. Kartu palyginus saulės spinduliuotės ir oro temperatūros viršutinėje žaliuzių dalyje svyravimus matyti, jog šiuo atveju taip pat yra aiški temperatūrų kitimo tendencija dėl saulės spinduliuotės poveikio.

Pagal pateiktus matavimų duomenis galima pastebėti, kad pro langą patekus net ir minimaliam saulės spinduliuotės energijos srautui, žaliuzių plokštelių paviršius greitai įšyla. Bandymo dieną matavimo prietaisais nustatyta, jog į patalpą patenkant apie 200 W/m² saulės energijos srautui, žaliuzių plokštelių paviršius gali įkaisti iki 50 °C.

Vertinant žaliuzių plokštelių paviršiaus temperatūros ir oro temperatūros ties viršutine žaliuzių dalimi kitimą, matyti, kad šios kreivės turi tiesioginę tarpusavio sąveiką, tačiau didėjant saulės spinduliuotei temperatūrų skirtumas taip pat didėja. Šio bandymo metu žaliuzių paviršiaus temperatūrai pakilus iki 50 °C, oro temperatūra padidėjo iki 40 °C. Patalpos oro temperatūra tuo metu buvo apie 30 °C, todėl apskaičiuavus nustatyta, jog esant 20 °C skirtumui tarp patalpos oro ir žaliuzių paviršiaus,



3 pav. Oro temperatūros prieaugis dėl žaliuzių veikimo
Fig. 3. Air temperature increase due to the operation of blinds

oro temperatūros prieaugis analizuojamu laiko momentu siekė apie 10 °C.

Natūralios konvekcijos efektas

Siekiant nustatyti natūralios konvekcijos intensyvumą ties žaliuzių ir lango paviršiais reikia įvertinti oro judėjimo greičius. Šiam tikslui ties įrenginio charakteringais taškais (žr. 2 pav.) buvo įrengti 3 tipų oro judėjimo greičio matavimo prietaisai. Toliau esančiame 5 pav. grafike pateikiami atliktų matavimų rezultatai.

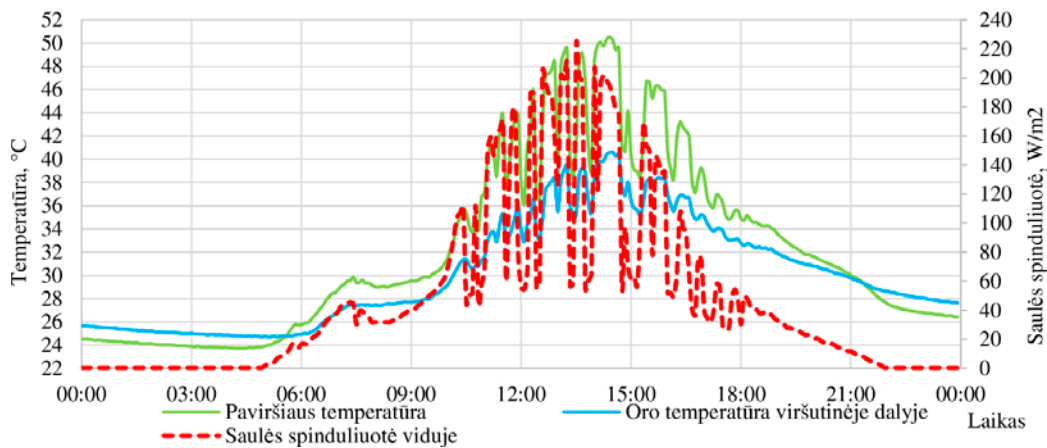
Atliekant tyrimą oro judėjimo greičio kitimas ties bandomuoju objektu buvo fiksuotas 3 zonose: greitis ties viršutine žaliuzių dalimi, ties apatine žaliuzių dalimi bei ties abiem šonais.

Didžiausias oro judėjimo greičio pokytis pastebimas viršutinėje dalyje. Kartu pažvelgus į saulės spinduliuotės viduje kitimo kreivę matyti, kad šiuo atveju yra itin didelis tarpusavio ryšys. Pagal matavimų duomenis nustatyta, kad į patalpą patekus didesniai kaip 50 W/m² saulės spindulių energijos srautui, pradeda žymiai didėti oro judėjimo greitis

(kitimo riba iki 0,23 m/s). O bandymo metu į patalpą patekus maksimaliam 220 W/m² saulės energijos srautui, oro judėjimo greitis ties žaliuzių viršutine dalimi siekė apie 0,31 m/s.

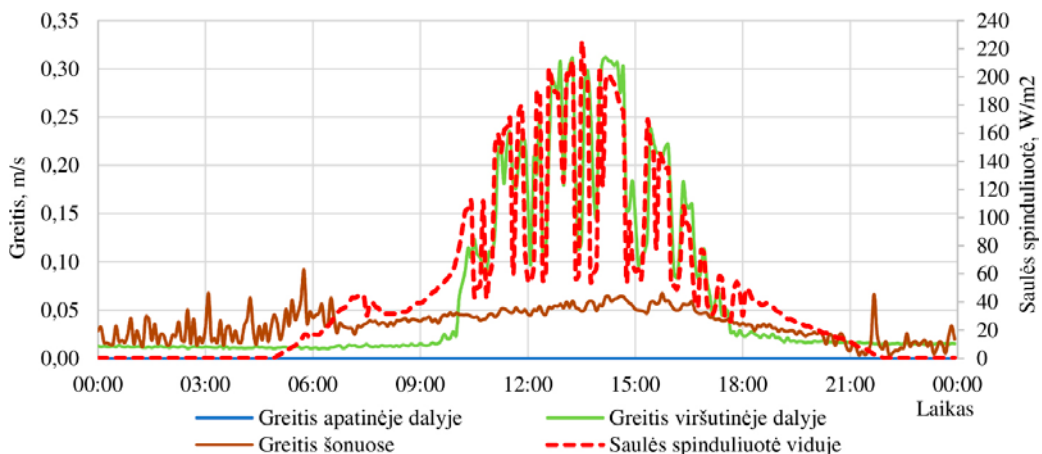
Vertinant oro judėjimo greitį apatinėje žaliuzių dalyje matyti, jog šioje vietoje jis buvo itin mažas (įrengtais matavimo prietaisais tikrosios vertės nustatyti nebuvo galima), todėl daroma prielaida, kad nemaža oro srauto dalis patenka pro atvirus žaliuzių šonus. Dėl matavimo prietaisų kiekio trūkumo, oro judėjimo greičio matavimai ties žaliuzių šonais atlikti įrengus po vieną anemometrą, todėl šiuo atveju žaliuzių šonų zonose vykstantys procesai įvertinti tik preliminariai. Vertinant turimus duomenis matyti, kad oro judėjimo greitis šonuose dienos metu gana pastovus ir bandymo metu šviečiant saulei siekia iki 0,06 m/s. Na o tamsioju paros metu pastebima, jog oro judėjimo greičio svyravimų amplitudės yra didesnės ir momentais siekė iki 0,9 m/s. Šio reiškinio priežastis galėjo būti dėl tuo metu atvėsusio stiklo paviršiaus arba patalpoje susidariusių oro gūsių.

Apibendrinant visose bandymo zonose matuotų oro judėjimo greičių kitimą, galima teigti, jog į patalpą



4 pav. Žaliuzių paviršiaus temperatūros kitimas

Fig. 4. Temperature variation of blinds surface



5 pav. Oro judėjimo greičio kitimas ties žaliuzėmis

Fig. 5. Air velocity variation at blinds

patenkant saulės spinduliams ties žaliuzėmis suaktyvėja oro srautas, todėl akivaizdu, kad srityje ties lango ir žaliuzių paviršiais vyksta konvekciniai šilumos mainai.

Išvados

1. Įrenginio konstrukcija leidžia padidinti tarp žaliuzių plokštelių paviršių pratekančio oro temperatūrą. Analizuojamuoju laikotarpiu maksimalus temperatūros prieaugis (į žaliuzių paviršių krintant 200 W/m² saulės spindulių srautui) siekė iki 10,5 °C.
2. Pro langą patekus saulės spinduliams žaliuzių plokštelių paviršius greitai įšyla. Nustatyta, jog į patalpą patenkant apie 200 W/m² saulės energijos srautui, žaliuzių plokštelių paviršius gali įkaisti iki 50 °C.
3. Tyrimų metu esant 20 °C skirtumui tarp patalpos oro ir žaliuzių paviršiaus, oro temperatūros prieaugis analizuojamu laiko momentu siekė apie 10 °C.
4. Į patalpą patenkant saulės spinduliams ties žaliuzėmis suaktyvėja oro srautas, todėl šioje srityje vyksta konvekciniai šilumos mainai. Tyrimų metu maksimalus oro judėjimo greitis ties žaliuzių viršutine dalimi siekė apie 0,31 m/s.

Literatūra

- Ahlborn. 2008a. *Almemo FVA605 TAI/10* [interaktyvus], [žiūrėta 2016 m. birželio 19 d.]. Prieiga per internetą: http://www.upc.edu/sct/documents_equipment/d_63_id-476.pdf
- Ahlborn. 2008b. *Almemo FVA-TH4* [interaktyvus], [žiūrėta 2016 m. birželio 19 d.]. Prieiga per internetą: http://www.upc.edu/sct/documents_equipment/d_63_id-476.pdf
- Ahlborn. 2011. *Almemo FV A915 S120* [interaktyvus], [žiūrėta 2016 m. birželio 19 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.ahlborn.com/getfile.php?1429.pdf>
- Ahlborn. 2013. *Almemo NiCr-Ni Type T* [interaktyvus], [žiūrėta 2016 m. birželio 19 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.cebit.se/images/cebit/documents/ahlborn/sensors/temperature.pdf>
- Almeida, F.; Naylor, D. 2011. Experimental study of free convection in a window with a heated between-panes blind, *Energy and Buildings* 43(10): 2647–2655. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.06.010>
- Chaiyapinunt, S.; Khamporn, N. 2013. Shortwave thermal performance for a glass window with a curved venetian blind, *Solar Energy* 91: 174–185. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2013.02.007>
- Cho, S.-H.; Shin, K.-S.; Zaheer-Uddin, M. 1995. The effect of slat angle of windows with venetian blinds on heating and cooling loads of buildings in South Korea, *Energy* 20(12): 1225–1236. [http://dx.doi.org/10.1016/0360-5442\(95\)00074-Q](http://dx.doi.org/10.1016/0360-5442(95)00074-Q)
- Collins, M. 2004. Convective heat transfer coefficients from an internal window surface and adjacent sunlit Venetian blind, *Energy and Buildings* 36(3): 309–318. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2003.12.014>
- Cuevas, C.; Fissore, A.; Fonseca, N. 2010. Natural convection at an indoor glazing surface with different window blinds, *Energy and Buildings* 42(10): 1685–1691.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.05.003>

- Dalal, R.; Naylor, D.; Roeleveld, D. 2009. A CFD study of convection in a double glazed window with an enclosed pleated blind, *Energy and Buildings* 41(11): 1256–1262. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.07.024>
- Drobavičius, A., et al. 1974. *Bendroji šiluminė technika*. Vilnius: Mintis, 561–562.
- Hee, W., et al. 2015. The role of window glazing on daylighting and energy saving in buildings, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 42: 323–343. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.09.020>
- Motuzienė, V. 2010. *Istiklinimo įtakos viešųjų pastatų energijos poreikiams kompleksinė analizė: daktaro disertacija*. Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius.
- Onset. 2015. *Silicon Pyranometer Smart Sensor (S-LIB-M003) Manual* [interaktyvus], [žiūrėta 2016 m. birželio 19 d.]. Prieiga per internetą: http://www.onsetcomp.com/files/manual_pdfs/6708-E%20MAN-S-LIB.pdf
- Rheault, S.; Bilgen, E. 1989. Heat transfer analysis in an automated Venetian blind window system, *Journal of Solar Energy Engineering* 111(1): 89–95. <http://dx.doi.org/10.1115/1.3268291>
- Shahid, H.; Naylor, D. 2005. Energy performance assessment of a window with a horizontal Venetian blind, *Energy and Buildings* 37(8): 836–843. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.11.008>
- Ullah, M. B.; Lefebvre, G. 2000. Estimation of annual energy-savings contribution of an automated blind system, *ASHRAE Transactions*, 2000, Minneapolis, MN, 106(2): 408–418.
- Van Den Wymelenberg, K. 2012. Patterns of occupant interaction with window blinds: a literature review, *Energy and Buildings* 51: 165–176. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.05.008>

ACTUAL PERFORMANCE ANALYSIS OF INNOVATIVE BLINDS

G. Šiupšinskas, D. Rimdžius, R. Džiugaitė-Tumėnienė, J. Bielskus, I. Šlapkauskas

Abstract

The paper analyses the innovative internal blinds, which allow to use the solar energy, received through a window for a heating, more efficiently and to ensure a greater air velocity due to the convection. Blinds are constructed that one side is covered with material, which absorbs the solar energy and the other side is reflective. Thus, there is an ability to control an amount of absorbed solar radiation and air supply temperature between the window and the blinds. In addition, the construction of the air to provide locating elements. The elements for air deflection are additionally foreseen in the construction. Due to the natural circulation cold air falls between the blinds and the window, then warms up and rises to the top. The paper presents an empirical and theoretical assessment of an operation of the blinds. In addition, the analysis of the experimental researches of an air flow intensity and a dependency of temperature increase from external (climatic) conditions is performed.

Keywords: internal blinds, solar energy absorption, heating, temperature increase, natural convection, air velocity, actual performance.