

BIURŲ PASTATO MIKROKLIMATO SISTEMŲ VALDYMO ĮTAKA ENERGIJOS POREIKIAMS

Titas Maželis¹, Rasa Džiugaitė-Tumėnienė²

¹magistrantas, ²docentė

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

el. p. ¹titas.mazelis@stud.vilniustech.lt; ²rasa.dziugaite-tumeniene@vilniustech.lt

Anotacija. Europos Sąjungoje keliami tikslai, kurie skatina didinti energijos vartojimo efektyvumą. Vieną didžiausių energijos vartojimo mažinimo potencialų turi pastatų sektorius. Šiame straipsnyje aptariama kokią įtaką energijos poreikiams turi pastato mikroklimato sistemų valdymas. Tyrimas atliekamas naudojant dinaminio energinio modeliavimo programą „DesignBuilder“. Tyrimo objekto modelis sukurtas pagal realaus administracinės paskirties pastato dokumentaciją bei remiantis pastato valdymo sistemos duomenimis. Sukurtame modelyje keičiami mikroklimato sistemų komponentų darbo režimai ir parametrai. Atlikus pakeitimus vykdomos simuliacijos, kurių metu gaunami nauji pastato energijos poreikių rezultatai. Šie rezultatai lyginami tarpusavyje, analizuojamas skirtingų variantų poveikis pastato energijos sąnaudoms. Siekama rasti valdymo strategijas, kurios padėtų sumažinti energijos poreikius nedarant neigiamo poveikio patalpose esančių žmonių komfortui.

Reikšminiai žodžiai: mikroklimato sistemų valdymas, energijos vartojimas, DesignBuilder, pastato dinaminis energinis modeliavimas

Įvadas

Šiuo metu pasaulyje išskiriamos tokios pagrindinės aplinkosauginės problemos, kaip globalinis atšilimas, vandens tarša, oro tarša, resursų atsargų mažėjimas. Vienaip ar kitaip šie reiškiniai glaudžiai susiję su kylančiu energijos suvartojimu, todėl klausimas kokiais būdais sumažinti energijos naudojimą tampa vis aktualesnis.

Europos Sąjunga 2015 m. pateikė dokumentą „Atsparios energetikos sąjungos ir perspektyvios klimato kaitos politikos pagrindų strategija“, kuriame išskiriamos 5 pagrindinės priemonės užtikrinančios energijos tiekimo saugumą, tvarumą ir konkurencingumą. Vienas iš punktų yra būtent energijos vartojimo efektyvumas, kaip energijos poreikio mažinimo priemonė. Nors energijos vartojimo efektyvumą privalo didinti visi ekonomikos sektoriai, didžiausias dėmesys skiriamas transporto ir pastatų sunaudojamai energijai (COM/2015/080).

Europos Parlamento ir Tarybos direktyvoje 2016/0381 (COD), kuri iš dalies keičia direktyvą 2010/31/ES dėl pastatų energinio naudingumo, skatinama diegti komunikacines ir informacines technologijas, kurios padėtų optimizuoti pastato sistemų veikimą. Esant šiuolaikinių technologijų pažangai, galima automatizuoti pastato

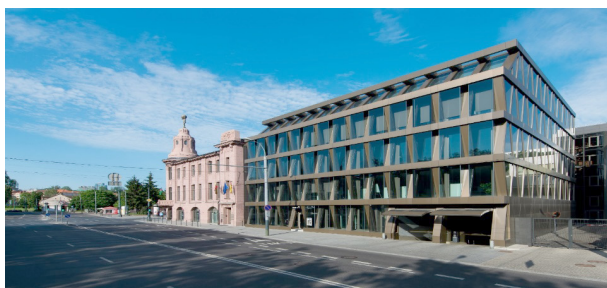
inžinerines sistemas, valdyti jų veikimą bei stebėti sistemų veikimo parametrus. Tokia technologinė pažanga suteikia galimybę efektyvinti energijos vartojimą.

Vienos didžiausių energijos vartotojų pastatuose yra šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo sistemos, todėl valdymo klausimas ypatingai aktualus būtent šioms elementų grupėms. Panašios tematikos straipsniuose pabrėžiamas pačios patalpos optimalios temperatūros radimas. Nežymiai pakeista temperatūra gali turėti įtakos mažesnėms energijos sąnaudoms, tačiau neturėti jokios neigiamos įtakos žmonių komfortui ir darbingumui (Kim, et al. 2020, Papadopoulos, et al. 2019). Kai kuriais atvejais siekiant mažesnio energijos suvartojimo ŠVOK sistemose kartais užtenka tiesiog peržiūrėti pastato užimtumo grafikus ir pagal tai koreguoti, pagrindinių sistemų įjungimo ir išjungimo laikus (Granderson, et al. 2018). Pagrindinis energijos vartojimo mažinimo akcentas yra tai, jog reikia ieškoti būdų kaip mažinti energijos poreikius nemažinant komforto (Ignjatovič et al., 2016).

Tyrimo tikslas – įvertinti kokią įtaką energijos sąnaudoms turi mikroklimato sistemų valdymo bei parametru pakeitimai. Siekiama sumažinti pastato energijos vartojimą, nedarant neigiamos įtakos patalpose esančių žmonių komfortui.

Tiriamasis objektas

Tyrimo objektas – administracinės paskirties pastatas, esantis Gedimino pr. 35 ir J. Tumo-Vaižganto g. 1, Vilniuje. Pastatą sudaro dvi dalys – naujoji ir senoji, kurios yra atitinkamai kairėje ir dešinėje paveikslų pusėse (1 pav.). Senoji pastato dalis susideda iš 4 aukštų: pirmasis aukštas skirtas komercinei veiklai, o likusieji aukštai numatyti biurams, pasitarimų salėms bei koncertų salei. Naujoji pastato dalis sudaryta iš 5 aukštų: pirmasis aukštas skirtas daugiausiai techninėms patalpoms, o nuo antro iki penkto aukšto esančios patalpos yra administracinės paskirties. Naujojo pastato fasadas yra dvigubas. Išorinis sluoksnis sudarytas iš stiklo konstrukcijos be šiluminės izoliacijos, o už jos, 0,75 m gylyje yra varstomi langai ir konstruktyvinės apšiltintos sienos. Tarp senosios ir naujosios statinio dalių yra dengtas vidinis kiemas – atriumas. Po žeme įrengtas 3 aukštų parkingas. Pastatas atitinka energinio naudingumo B klasei keliamus reikalavimus.



1 pav. Tiriamasis objektas

Pastatui šiluma tiekama iš miesto šilumos tinklų. Tiriamajame objekte yra trys šildymo kontūrai: vienas skirtas vėdinimo įrenginių kaloriferiams, antrasis skirtas radiatoriams bei ventiliatoriniams konvektoriams, o trečiasis tiekia šilumą perdangose esantiems vamzdeliams t. y. šildomoms luboms.

Pastato vėdinimui įrengti 5 atskiri vėdinimo įrenginiai. Vėdinimo įrenginiuose naudojamos vandeninės vėsinimo ir šildymo sekcijos. Vėdinimo įrenginių darbas paremtas tiekiamo oro temperatūros korekcija nustatytoje ribose pagal šalinamo oro temperatūrą.

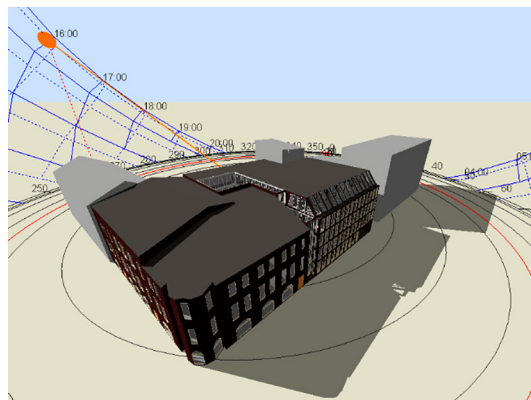
Vėsa ruošiama dvejose šalčio mašinose: viena jų yra su „free coling“ funkcija bei hidromoduliu ventiliatorinių konvektorių sistemai, o kita su šilumos siurbliu ir hidromoduliu vėdinimo įrenginiams, vėsinamų lubų bei grindų sistemoms.

Tyrimo metodika

Pastato energinis dinaminis modelis sukurtas naudojantis „DesignBuilder“ programa. Tai yra patogi dinaminio energinio modeliavimo programa, kuri leidžia analizuoti

pastato energinį naudingumą ir optimizuoti alternatyvius sprendinius. Pagrindinės modeliavimui naudojamos funkcijos: detalus ŠVOK sistemų veikimo modeliavimas, šiluminis komfortas, metinių energijos poreikių šildymui, vėsinimui, vėdinimui ir apšvietimui simuliacijos (Džiugaitė-Tumėnienė et al. 2021).

Pastato modelio geometrija kuriama remiantis dvi- mačiais architektūriniais planais, pjūviais bei trimačiu pastato modeliu. Sukūrus pastato geometriją, atskiros erdvės priskiriamos tam tikroms zonoms. Parkingas nustatomas kaip nekondicionuojama erdvė. Prie standartinių zonų priskiriamos patalpos, kuriose būna žmonės ir yra užtikrinami nustatyti mikroklimato parametrai. Šios patalpos išskaidomas pagal paskirtį: biurai, pasitarimų kambariai, komercinės patalpos, techninės patalpos ir t. t. Dvigubo fasado erdvės priskiriamos ertmės zonoms. Tokiose zonose programa pritaiko algoritmą, kuris skaičiuoja konvekcijos koeficientus pritaikytus siauroms, sandarioms ertmėms. Šių koeficientų skaičiavimas paremtas ISO 15099:2003 standartu. Taip pat šio tipo zonoms taikomas kitoks saulės spindulių pasiskirstymo algoritmas. Programa vietoj prielaidos, kad visi saulės spinduliai patenka ant grindų, apskaičiuoja spinduliuotės kiekį krentantį į kiekvieną paviršių: langus, grindis, sienas. Taip pat atsižvelgiama į dvigubo fasado išorinės pusės šešėliavimo įtaką.



2 pav. Pastato modelis „DesignBuilder“ aplinkoje

Programoje sukurto modelio iliustracijoje (2 pav.) matomi šalia esantys pilki blokai, kurių matmenys atitinka šalia esančių pastatų geometriją. Taip yra įvertinama aplink tiriamąjį objektą esančių pastatų įtaka šešėliavimui. Sienos, kurios jungia tiriamąjį objektą su šalia esančiais pastatais, priimamos kaip adiabatiniai paviršiai t. y. per šias atitvaras nevyksta šilumos mainai. Modelio orientacija pasaulio šalių atžvilgiu nukreipta 285° nuo šiaurės, pagal realią situaciją.

Sukūrus pastato geometriją, įvedami duomenys apie patalpų mikroklimato rodiklius, atitvarų savybes, darbo grafikus. Taip pat sukuriama šildymo, vėdinimo ir oro

kondicionavimo sistemų schema bei suvedami sistemų parametrai. Atlikus šiuos pagrindinius žingsnius, prognozeje pradedamos simuliacijos ir gaunami pirminiai energijos poreikių rezultatai. Modelis kalibruojamas tam, kad simuliacijos rezultatai būtų kuo artimesni realioms pastato energijos vartojimo reikšmėms. Sukalibravus modelį, galima keisti patalpų mikroklimato parametrus, ŠVOK sistemų veikimo režimus. Po modelio pakeitimų, atliekamos pakartotinės simuliacijos. Nauji duomenys analizuojami, vertinama kokią įtaka tam tikras pakeitimas modelyje turi pastato energijos poreikiams.

Įvesties duomenys

Modelio kūrimo proceso metu, informacija įvedama atsižvelgiant į techninę dokumentaciją bei pastato valdymo sistemos duomenis. Pagrindinė tiriamojo objekto informacija:

- Pastato ativarų šilumos perdavimo charakteristikos atitinka energinio naudingumo B klasės reikalavimus;
- Langų ir stoglangių šilumos perdavimo koeficientas $U = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, saulės energijos praleisties koeficientas $g = 0,52$, visuminis šviesos praleisties koeficientas $LT = 0,85$;
- Sandarumas (esant slėgių skirtumui 50 Pa) $3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$;
- Vidutinė patalpų temperatūra vasarą $24,5 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Vidutinė patalpų temperatūra žiemą $22 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Pastato darbo laikas 07:00 – 17:00;
- Vėdinimo sistemų darbo laikas 07:00–19:00;
- Vėsinimo sistemų darbo laikas 08:00–19:00;
- Šildymo sistemos veikia visą parą.

Pastato vėdinimo sistemos darbo metu veikia 90 % pajėgumu, o ne darbo metu yra išjungiamos. Vėdinimo oro kiekiai įvedami pagal projekto techninėje dokumentacijoje pateiktas vertes, kurios atitinka STR 2.09.02:2005 „Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas“ reikalavimus. Pastato šildymo ir vėsinimo sistemos veikimas reguliuojamas pagal poreikius.

Straipsnyje pagrindinis dėmesys skiriamas biuro paskirties patalpoms. Šios patalpos vėsinamos ventiliatoriniais konvektoriais bei vėsinamomis lubomis. Prioritetas teikiamas vėsinamoms luboms, o esant vėsos trūkumui, įsijungia ventiliatoriniai konvektoriai. Pagal projektinę dokumentaciją, ventiliatorinių konvektorių sistemos šaltnešio parametrai $14/19 \text{ }^\circ\text{C}$, lubinės sistemos šaltnešio parametrai $16/21 \text{ }^\circ\text{C}$. Šaltuoju metų laiku ventiliatoriniai konvektoriai ir lubinė sistema naudojamos patalpų šildymui. Į lubose esančius vamzdelius tiekiamas $40/35 \text{ }^\circ\text{C}$ šilumnešis. Paminėtus parametrus galima stebėti pastato valdymo sistemoje. Ventiliatorinių konvektorių veikimo greitis priklauso nuo patalpos temperatūros. Stebimas

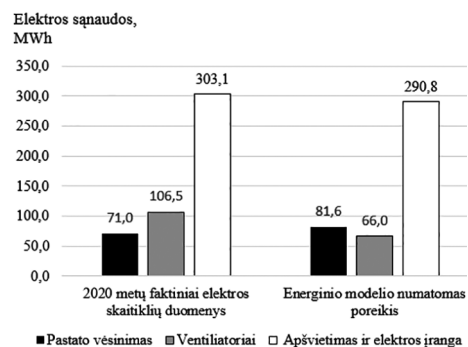
patalpos temperatūros nukrypimas nuo užduotos palai-komos temperatūros reikšmės. Pagal projektinę dokumentaciją vasaros metu biuro patalpų temperatūra $24 \text{ }^\circ\text{C}$, o žiemos metu $22 \text{ }^\circ\text{C}$.

Modeliavimas

Sukūrus pastato geometrinį modelį ir įvedus mikroklimato sistemų duomenis, atliekamos pirmosios energijos poreikių simuliacijos. Pirminiai pastato energijos poreikių rezultatai nesutampa su realiomis pastato sąnaudomis, todėl modelis kalibruojamas. Įvesties duomenys keičiami pagal pastato valdymo sistemos rodiklius, kad modelis, kiek įmanoma, atitiktų realią situaciją.

Išnagrinėjus pastato valdymo sistemą pastebėtos problemos, kurios turi įtakos neefektyviam energijos naudojimui. Viena jų – per aukšta patalpų temperatūra žiemos metu. Šildomosios bei vėsinamosios lubos užtikrina nustatytas patalpų oro temperatūras didesnę laiko tarpą, tačiau dažniausiai vienu metu papildomai veikia ventiliatoriniai konvektoriai (1-uuju greičiu, 33 % našumu), nes juos rankiniu būdu įjungia darbuotojai dėl oro trūkumo. Taigi, ventiliatoriniai konvektoriai dažniausiai dubliuoja šildymo arba vėsinimo funkcijas, kurias užtikrina lubos. Pagal projektinius duomenis biuruose temperatūra žiemos metu turėtų būti $22 \text{ }^\circ\text{C}$, o realybėje dėl aprašytų veiksnių siekia $24\text{--}25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Modelyje keičiama ne tik patalpų temperatūra pagal pastato valdymo sistemos rodmenis, bet ir tikslinamas žmonių intensyvumo rodiklis bei elektros įrenginių instaliuotas galingumas, apšvietimo intensyvumas. Faktinių ir modelio elektros poreikių palyginimas pateiktas 3 pav. Modelio elektros kiekiai vėsinimui, elektrinei įrangai, apšvietimui yra pakankamai artimi faktinėms sąnaudoms. Ventiliatorių elektros poreikiai neatitinka apie 38 %. Tačiau tai nevertinama kaip klaida, kadangi modelyje neįvesti virtuvių bei parkingo zonos ventiliatoriai.



3 pav. Pastato elektros sąnaudos

Šildymo poreikiai modelyje gauti $273,4 \text{ MWh}$. Pagal faktinius šilumos suvartojimo duomenis, $104,7 \text{ MWh}$ šilumos gaunama iš centralizuotų tinklų. Antrasis šilumos

šaltinis yra šilumos siurblys, tačiau žinoma informacija tik apie jo elektros suvartojimą, kuris yra 109,27 MWh. Vertinant tai, jog yra problemų su šilumos siurblio veikimu bei pats įrenginys yra eksploatuojamas jau 10 metų, daroma prielaida, jog SCOP = 1,6. Esant tokiai sezoninio naudingumo reikšmei modeliavimo metu gautas šilumos poreikis apytiksliai lygus centralizuotų šilumos tinklų ir šilumos siurblio faktinių sąnaudų sumai.

Sukalibravus modelį, esamas valdymo strategijos atvejis naudojamas kaip bazinis variantas. Numatomi trys alternatyvūs sprendiniai. Pirmojoje lentelėje pateiktos pagrindinės valdymo strategijų charakteristikos.

1 lentelė. Valdymo strategijų suvestinė

Valdymo strategija	Patalpos / tiekiamo oro temp., °C (žiema)	Patalpos / tiekiamo oro temp., °C (vasara)	Vėdinimo sistemos tiekiamo / ištraukiamo oro našumas, %
A	24 / 24	24,5 / 24	+90 / -90
B.1	23 / 22	24,5 / 22	+90 / -90
B.2	20 / 18	26 / 22	+25 / -25
C.1	23 / 22	24,5 / 22	+90 / -90
C.2	20 / -	26 / -	Neveikia
D.1	21 / 20	24 / 22	+90 / -90
D.2	18 / -	28 / -	Neveikia

Didžiosios raidės žymi atskiras valdymo strategijas, o prie raidės esantis skaičius, nurodo koku metu naudojami nustatyti parametrai (1 – darbo metu, 2 – nedarbo metu). Valdymo strategija (A) – bazinis variantas. B atveju sumažinama patalpos bei tiekiamo oro temperatūra, numatomas temperatūros žeminimas ne darbo metu. Taip pat ne darbo metu įjungiamas vėdinimo sistema 25 % pajėgumu. C variantas skiriasi nuo B varianto tuo,

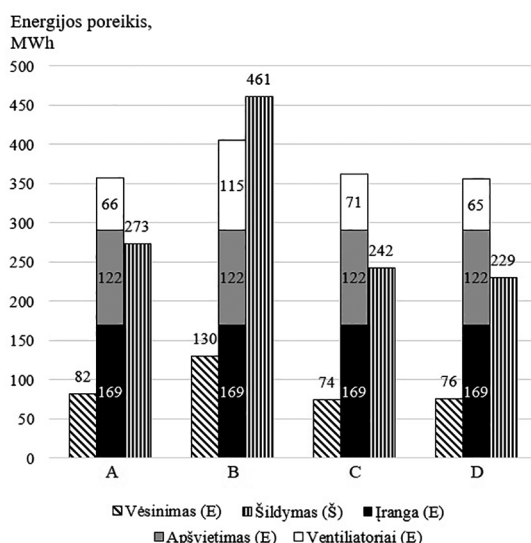
jog nedarbo metu visiškai išjungiamas vėdinimo sistema. Valdymo strategija (D) – ekonominis variantas. Parametrai parinkti pagal minimalius leistinus, kuriems esant žmogus neturėtų jausti diskomforto.

Modeliavimo rezultatai

Skirtingos valdymo strategijos lyginamos pagal elektros poreikius vėsinimui, apšvietimui, ventiliatoriams, el. įrenginiams bei pagal šilumos suvartojimą. Gauti rezultatai pateikti 4 pav.

Nors B atveju temperatūros yra žeminamos, tačiau bendri energijos poreikiai ženkliai išauga dėl vėdinimo sistemos veikimo nedarbo metu. Vėdinimo sistemos įjungimas nedarbo metu 25 % apkrovimu lemia tai, jog vėsinimo ir šildymo poreikiai padidėja atitinkamai 37 % ir 41 %. Variantą C lyginant su baziniu, pastebima, jog sumažėja šildymo sąnaudos. Žiemos metu patalpų temperatūrą nuleidus 1 °C ir pritaikius temperatūros žeminimą nedarbo metu galima tikėtis 11 % sutaupymų. D atveju pritaikius dar žemesnes temperatūras, gautos 16 % mažesnės šildymo sąnaudos, nuo pradinio varianto.

Nagrinėjant šilumos sąnaudų kitimą A, C ir D variantuose galima teigti, jog temperatūros žeminimas nedarbo metu turi didesnę įtaką nei patalpos temperatūros darbo metu mažinimas. C atveju patalpos temperatūra darbo metu kinta nežymiai, tačiau pritaikytas 4 °C temperatūros žeminimas, lemia ryškesnį skirtumą tarp šio ir bazinio varianto šilumos sąnaudų. D atveju patalpų temperatūros tiek darbo, tiek nedarbo metu, lyginant jas su C atveju, yra 2 °C mažesnės, tačiau šilumos sąnaudų pokytis mažiau ryškus – sutaupomi papildomi 5 %. Taip pat pastebimas 9 % vėsinimo sąnaudų sumažėjimas, kadangi darbuotojams palikus darbo vietas, vėsinimo sistemai leidžiama palaikyti aukštesnes negu 24 °C temperatūras.



4 pav. Energijos poreikių rezultatų palyginimas

Išvados

1. Įjungus pastato vėdinimą nedarbo metu 25 % apkrovimu, galima tikėtis net 40 % didesnių energijos sąnaudų.

2. Šilumos sąnaudų sumažėjimą lemia nustatyta žemesnė patalpų temperatūra bei temperatūros žeminimas nedarbo metu. Temperatūros žeminimas turi didesnę įtaką bendram šilumos sąnaudų sutaupymui.

3. Pakeitus patalpų temperatūras iki minimalių leistinų, galima sutaupyti apie 16 % šilumos energijos.

Literatūra

- 2016/0381(COD) Energy performance of buildings. European parliament. Strasbourg, 2016. 7 p.
 Džiugaitė-Tumėnienė, R.; Mikučionienė, R.; Streckienė, G.; Bielskus, J. 2021. Development and Analysis of a Dynamic

Energy Model of an Office Using a Building Management System (BMS) and Actual Measurement Data. *Energies*, 14(19): 6419.

Granderson J., et al. 2018. Field evaluation of performance of HVAC optimization system in commercial buildings, *Energy and buildings*, 173: 577–586.

Ignjatovič, M. G.; Blagojevič, B. D.; Stojilikovič, M. M.; Mitrovič, D. M.; Anđelkovič, A. S. 2016. Optimization of HVAC system operation based on a dynamic simulation tool in *The REHVA European HVAC Journal*, 53: 56–62.

Kim, H.; Hong, T. 2020. Determining the optimal set-point temperature considering both labor productivity and energy saving in an office building. *Applied Energy*, 276: 1–14.

Papadopoulos, S.; Kontokosta, C. E.; Vlachokostas, A.; Azar, E. 2019. Rethinking HVAC temperature setpoints in commercial buildings: The potential for zero-cost energy savings and comfort improvement in different climates. *Building and Environment*, 155: 350–359.

THE IMPACT OF OFFICE BUILDING INDOOR CLIMATE SYSTEMS MANAGEMENT ON ENERGY CONSUMPTION

T. Maželis, R. Džiugaitė-Tumėnienė

Summary

The European Union is setting targets for energy efficiency. The building sector has one of the greatest potentials for reducing energy consumption. This article discusses the impact of building microclimate systems management on energy consumption. The study performed using the dynamic energy modelling program „DesignBuilder“. The model of the research object was created according to the documentation of a real administrative building and based on the data of the building management system. The created model provides an opportunity to change operating modes and parameters of the components of microclimate systems. After the changes, simulations are performed to obtain new energy consumption results for the building. These results are compared and the impact of different options on the energy consumption of the building is analysed. The aim is to find options that reduce energy needs without adversely affecting the comfort of the people in the premises.

Keywords: indoor climate systems, energy consumption, DesignBuilder, building dynamic energy modelling.