



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**Ignas Pečiulis**

**PASTATO VALDYMO SISTEMOS SU INTEGRUOTA KNX  
SISTEMA EFEKTYVUMO TYRIMAS**

Magistro projektas

**Vadovas**

Doc. dr. Virginijus Baranauskas

**KAUNAS, 2016**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**  
**AUTOMATIKOS KATEDRA**

**PASTATO VALDYMO SISTEMOS SU INTEGRUOTA KNX  
SISTEMA EFEKTYVUMO TYRIMAS**

Magistro projektas  
Valdymo technologijos (kodas 621H66001)

**Vadovas**

(parašas) Doc. dr. Virginijus Baranauskas  
(data)

**Recenzentas** Lekt. Gytis Petrauskas

(parašas)  
(data)

**Projektą atliko**

(parašas) Ignas Pečiulis  
(data)

**KAUNAS, 2016**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir Elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Ignas Pečiulis

(Studento vardas, pavardė)

Valdymo technologijos 621H66001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Pastato valdymo sistemos su integruota KNX sistema efektyvumo tyrimas“

**AKADEMINIO SAŽNINGUMO DEKLARACIJA**

20 16 m. gegužės 20 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Ignas Pečiulio** baigiamasis projektas tema „Pastato valdymo sistema su integruota KNX sistema efektyvumo tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

Pečiulis, Ignas. Pastato valdymo sistemos su integruota KNX sistema efektyvumo tyrimas. Valdymo sistemų magistro laipsnio baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Virginijus Baranauskas; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Automatikos katedra.

Kaunas, 2016. 57 psl.

## Santrauka

Šiuolaikiniuose pastatuose vis dažniau atsižvelgiama į efektyvų energijos vartojimą išsaugant lankytojų komfortą. Tobulėjant technologijoms sistemų sujungimas tampa vis paprastesnis. Jungiant skirtingas technologijas į vieną sistemą, sistema tampa lankstesnė, funkcionalesnė ir turi mažiau elementų. Modernios pastatų valdymo sistemos apima vis didesnę pastatų įvairovę, taip užtikrindamos vis didesnę miestų energetinį efektyvumą.

Žmonės dirbantys biure, ten praleidžia didžiąją dienos dalį, todėl efektyvus ir komfortiškas šių patalpų valdymas yra labai aktualus. Šiame darbe siekiant išlaikyti komfortą ir energetinį efektyvumą, biuro patalpose, yra valdomas apšvietimas, vėdinimo, bei šaldymo įranga. Šioms sistemoms valdyti buvo sukurti komfortišką aplinką išlaikantys, energetiškai efektyvūs algoritmai, o pastato valdymo sistemai panaudoti programuojami loginiai valdikliai, funkcionaliai papildyti KNX sistemos elementais. Tokia sistema suteikė galimybę sukurti būtent šioms patalpoms pritaikytus algoritmus, panaudojant KNX sistemos suteikiamą informaciją apie biuro patalpų užimtumą.

Atlikus nuodugnę sukurtos sistemos tyrimą, nustatyta, kad pasinaudojus tokiu sprendimu galima sutaupyti apie 50% elektros energijos biuro patalpų apšvietimo, vėdinimo ir kondicionavimo sistemų darbui. Toks sprendimas pasižymi ne tik energetiniu efektyvumu, tačiau ir padeda sutaupyti diegiant sistemą, kadangi vėdinimo ir kondicionavimo sistemoms efektyviai valdyti nereikia įrengti papildomų elementų. Taigi toks pastato valdymo sistemos realizavimas tampa puikia alternatyva, šiuolaikiniams pastatams efektyviai valdyti.

*Reikšminiai žodžiai (iki 8 žodžių): Pastato valdymo sistema; KNX sistema; Energijos efektyvumas.*

Pečiulis, Ignas. Investigation of Efficiency of Building Management System with Integrated KNX System. Control systems final project of master degree; supervisor doc. dr. Virginijus Baranauskas; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Automation.

Kaunas, 2016. 57 pages.

## Summary

Energy efficiency, in modern buildings, is increasingly taken in to account, while maintaining the comfort of visitors. Because of technology evolution interconnection between systems becomes simpler. Combining different technologies into a single system, the system becomes more flexible, more functional and have fewer elements. Modern building management systems include the growing diversity of the buildings, so as to ensure a growing urban energy efficiency.

People working in the office, spend most of the day there, so efficient and comfortable management of these premises is very relevant. Lighting, ventilation, and refrigeration equipment are controlled, in order to maintain energy efficiency and comfort. Energy efficient and comfort guarantees algorithms was created who were used in programmable logic controllers, functionally complemented by KNX system elements. This system made it possible to establish custom adapted algorithms using KNX system provided information on office space availability.

From an overall system profound study found that using this kind system, about 50% of the electricity can be saved for office lighting, ventilation and air conditioning systems work. Such system has not only energy efficiency, but also helps to save on system installation as for efficient ventilation and air conditioning systems work not need to install additional equipment. Thus, such a building management system becomes a great option for effectively manage modern buildings.

*Keywords (up to 8 words): Building management system; KNX system; energy efficient.*

# Turinys

Įvadas .....	4
1. Apžvalginė dalis .....	5
I. Automatizuotas pastato valdymas .....	5
II. Išmaniųjų pastatų valdymo sistemų saugumas .....	8
III. Efektyvus energijos vartojimas .....	11
IV. Pastatų valdymo sistemų įvairovė .....	15
V. Pastatų valdymo sistemų ir programuojamų loginių kontrolerių sintezė .....	21
2. Metodinė dalis .....	24
I. Pastato valdymo struktūra .....	24
II. KNX sistema .....	26
III. Šildymas .....	29
IV. Šaldymas .....	30
V. Vėdinimas .....	31
VI. Operatoriaus pulteliai .....	33
VII. Dubliuoti PLV .....	34
VIII. PLV sujungimas su KNX sistema .....	35
3. Tyrimo rezultatų dalis .....	37
4. Išvados .....	55
5. Literatūros sąrašas .....	56

## **Įvadas**

Įprasta instaliacija jau nebeišgali patenkinti šiuolaikinių reikalavimų pastatams. Nauji pastatai turi būti taupūs, saugūs ir komfortiški, jų sistemų veikla turi būti suderinta, valdyti sistemas turi būti patogiu, o valdymo elementai turi būti modernūs ir tikti prie interjero. Išmaniųjų namų ir biurų technologijos neatsilieka nuo telefonų ir tampa savotiška mada kasdieniame gyvenime. Vis daugiau žmonių supranta efektyvaus ir sąmoningo energijos vartojimo būtinybę ir naudą aplinkai, todėl išmaniosios pastatų valdymo sistemos vis populiarėja.

Tokios valdymo sistemos netik ekonomiškai naudoja energijos išteklius, bet ir užtikrina didesnę gyventojų saugumą, rūpinasi komfortu. Sistemų surinkti duomenys padeda analizuoti vartotojų poreikius ir prisitaikyti prie šiuolaikinės rinkos poreikio.

Tokia sistema buvo panaudota įrengiant naująjį ABB biurą Vilniaus rajone. Diegiant sistemą buvo atžvelgta į būtinybę palaikyti kuo geresnes darbo sąlygas darbuotojams tuo pačiu siekiant sumažinti energijos sąnaudas.

Šiame darbe apžvelgiama keletas pastatų valdymo sistemų, jų nauda, saugumas ir integravimo galimybės, bei ABB biure realizuota pastato valdymo sistema, kurioje programuojamas loginis valdiklis buvo sujungtas su KNX valdymo sistema.

# 1. Apžvalginė dalis

## I. Automatizuotas pastato valdymas

Automatizuota pastato valdymo sistema (BAS – Building Automation system), tai centralizuota valdymo sistema atsakinga už pastato ventiliaciją, šildymą, apšvietimą ir kitas sistemas. Tokios sistemos tikslai yra užtikrinti pastato naudotojų komfortą, efektyvų inžinerinių sistemų darbą ir sumažinti energijos suvartojimą ir pastato priežiūros išlaidas. Iš esmės automatizuota pastato valdymo sistema yra paskirstytos valdymo sistemos pavyzdys, kur skirtingi sistemos elementai yra atsakingi už specifines funkcijas, tačiau visas tinklas tarnauja bendram tikslui.

Komforto poreikis gyvenamosioms ar biuro patalpoms nuolat auga, reikalaujamas vis išmanesnių valdymo sistemų. Šiuolaikinių vartotojų poreikių nebetenkina galimybė valdyti apšvietimą ar šildymą telefonu. Sistemos turi būti lanksčios, valdymas intuityvus, energijos vartojimas – efektyvus. Negana to sistema turi užtikrinti vartotojų saugumą ir komfortą.

Patogesnės, saugesnės ir energetiškai naudingesnės sistemos gali būti realizuojamos tik pasitelkiant išmaniąsias valdymo technologijas. Šiuolaikinės valdymo technologijos suteikia vartotojui galimybę valdyti jį supančią aplinką vienu prisilietimu prie išmaniojo telefono, taip patenkindamos net ir įmantriausius poreikius. Tuo pat metu valdymo sistema nepastebimai kontroliuoja komforto sistemų darbą ir poreikį, užtikrindama efektyvų energijos vartojimą ir saugumą.

Išmaniosios pastatų valdymo sistemos vis dažniau tampa atsakingos ne tik už energijos vartojimą, bet ir jos gamybą. Pastatai aprūpinami saulės panelėmis, sujungtomis su pastato valdymo sistemomis, tampa iš dalies ar net visiškai autonomiški energijos atžvilgiu, nepriklausomi nuo išorinio energijos tinklo ir energijos tiekimo sutrikimų.

Komercinių pastatų valdymas jau tampa nebeįsivaizduojamas be modernių valdymo sistemų. Išmaniosios technologijos užtikrina nepertraukiamą inžinerinių sistemų darbą, renka informaciją apie energijos suvartojimą ir vartojimo įpročius, geba prognozuoti komforto sistemų poreikį, todėl pastato valdymas tampa paprastesnis ir ekonomiškesnis. Duomenų kaupimas ir nuotolinis jų nuskaitymas, padeda identifikuoti sistemų gedimus, planuoti profilaktinius patikrinimus be būtinybės apsilankyti.

Pasitelkus tokias valdymo sistemas aukščiausios klasės viešbučiuose, kambariai dar prieš atvykstant lankytojams paruošiami pagal būsimą gyventojų poreikius. Tokios valdymo sistemos suteikia galimybę kaupti duomenis apie lankytojus, ir jiems kita kartą apsilankius iš

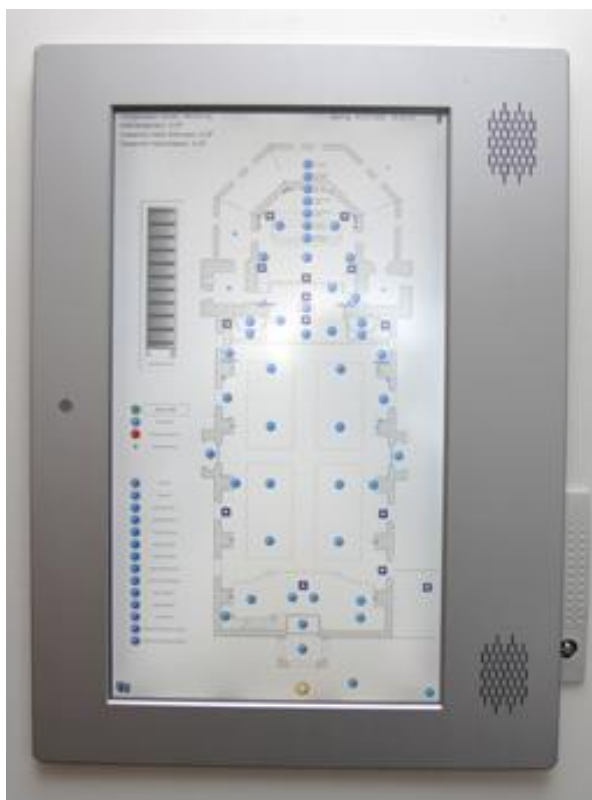


anksto pritaikyti kambarius pagal kiekvieno asmeninius poreikius. Naudojantis davikliais nėra pažeidžiamas kliento privatumas, tačiau netrukdamt jo galima nustatyti ar kambaryje gali apsilankyti viešbučio personalas [1].

Vis daugiau viešbučių tampa ekologiškesni. Kambariuose atsiranda galimybė rūšiuoti atliekas, voniose įprastus įpakuotus muilus pakeitė papildomos skysto muilo talpyklos, rankšluosčiai skalbiami tik pageidaujant klientui. Viešbučiai naudoja saulės paneles, kurių pagamintą energiją galima matyti vestibulyje esančiame ekrane, rodančiame viešbučio pagamintos ir suvartotos energijos santykį. Ekologiškas požiūris padeda ne tik sutaupyti, bet ir pritraukti klientų, kurie mieliau renkasi tokius viešbučius.

Modernios pastato valdymo technologijos taip pat labai praverčia viešosiose erdvėse, pavyzdžiui prekybos centruose, kultūrinėse erdvėse, sporto arenose ir kita. Tokio tipo erdvėse sistema gali būti panaudota ne tik ventiliacijos ar apšvietimo sistemoms tinkamai valdyti, bet ir žmonių masės judėjimui pastate prognozuoti, lankytojams skaičiuoti. Tokie duomenys padeda įstaigoms geriau organizuoti darbą (dirbančių kasų parduotuvėje kiekis tam tikru laiku), tiksliau valdyti pastato inžinerines sistemas, taip mažinant veiklos kaštus ir didinat klientų pasitenkinimą. Modernios valdymo sistemos taip pat pasitarnauja identifikuojant gedimus, pavyzdžiui pasinaudojant tokia sistema gali nustatyti, kurios lempos sporto arenoje ar didžiulio ploto prekybos centre neveikia.

Pastatų valdymo sistemos pasitelkiamos net ir vietose kur jų tikimasi mažiausiai. Bažnyčios ir muziejai vis dažniau tampa išmanių valdymo sistemų pavyzdžiais (1 pav.). Šio tipo patalpose visada siekiama išlaikyti autentiškumą ir eksponatų kokybę, todėl būtina pastato mikroklimatą valdyti taip, kad būtų užtikrinamas jo ilgaamžiškumas. Šioms problemoms spręsti pasitelkiamos modernios valdymo sistemos užtikrinančios, kad eksponatai išlaikys savo išvaizdą ir nuo per didelės drėgmės nepradės irti, o sienos pelyti. Negana to, įrengiant tokias sistemas dažniausiai negalima pažeisti skliautų ar sienų, laikomų meno kūrinių, todėl šioms patalpoms puikiai tinka sistemos veikiančios radijo ryšiu.



1 pav. Bažnyčios patalpų valdymo pultas.

Biuro ar mokymo įstaigų patalpų efektyvus valdymas yra vienas svarbiausių uždavinių šiuolaikinių patalpų valdyme. Šio tipo patalpose žmonės praleidžia didžiąją dalį dienos, jie turi būti darbingi ir susikaupę, todėl patalpose nuolat turi būti palaikoma komfortiška aplinka, kuri apima natūralų ir dirbtinį apšvietimą darbo vietoje, patalpos temperatūrą, oro drėgmę, triukšmą darbo vietoje ir kita. Negana to, patalpos turi būti ekonomiškios, taupios energijai ir nereikalauti daug priežiūros. Todėl tokių patalpų inžinerinėms sistemoms valdyti dažnai pasitelkiamos išmaniosios valdymo sistemos, galinčios nuolat stebėti ir kontroliuoti patalpas, bei taupyti elektros energiją. Modernios valdymo sistemos turi galimybę prisitaikyti prie natūralaus apšvietimo dienos bėgyje papildydamos jį dirbtiniu [2], reguliuoti oro kokybę ir drėgmę patalpose, palaikyti tinkamą temperatūrą, taip išlaikydamos darbo vietai būtinas higienos normas ir darbuotojų darbingumą [3].

## II. Išmaniųjų pastatų valdymo sistemų saugumas

Visos modernios pastatų valdymo sistemos turi avarinių pranešimų sistemas. Žinoma, šios sistemos tampa bevertėmis sudėtingose avarinėse situacijose, jei tarnybos galinčios išspręsti kilusias problemas tų pranešimų negauna. Todėl sistemos pranešimus gali perduoti įvairiausiomis ryšio priemonėmis, pavyzdžiui elektroniniu laišku, žinute ar pranešimu išmaniajame telefone. Be visa ko sistemos istoriniuose duomenyse taip pat saugoma informacija kada, kas ir koku būdu buvo informuotas apie susidariusia padėtį.

Sistema gali informuoti apie elektros sistemų gedimus, žmogaus sveikatai kenksmingų dujų ar biologinių organizmų atsiradimą sistemoje, mechaninius aptarnaujančių įtaisų gedimus, užpylimo pavojų, gaisrą ar net įsilaužimą į patalpas.

Pastate sumontuoti sensoriai gali būti naudojami keliais tikslais. Jei sistemoje naudojami būvio jutikliai apšvietimui ar ventiliacijai reguliuoti, jie taip pat gali būti panaudoti apsaugos sistemoje identifikuojant įsilaužimą. Tiesa taisyklės apsaugos sistemų įrangai dažniausiai reikalauja, kad įranga būtų funkcionali net ir atjungus ją, nuo maitinimo tinklo, turėtų baterijas ir bevielį ryšį. Dauguma modernios įrangos paprastai naudoja PoE (Power over Ethernet) standartą, kuris supaprastina sistemų įrengimą, sumažina kaštus, užtikrina prietaisų baterijų pakrovimą ir neapkrautą bevielį ryšį avariniams atvejams.

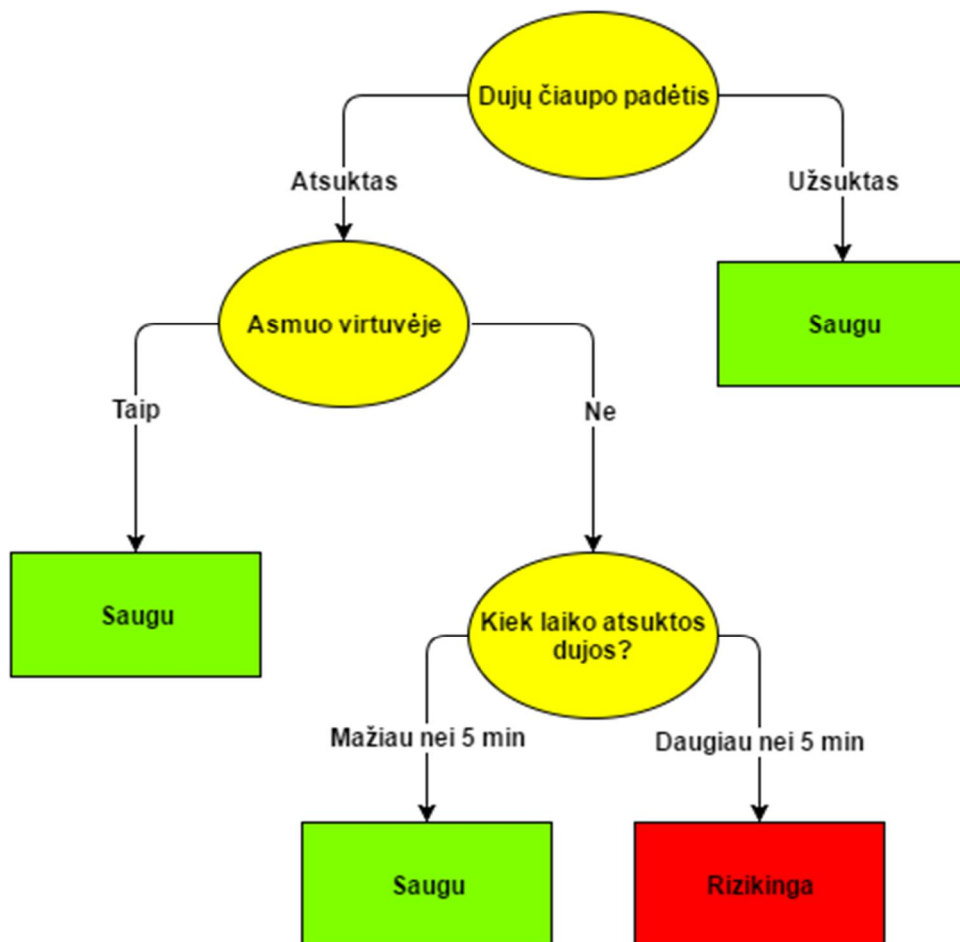
Dauguma atliktų tyrimų parodė, kad būtent saugumas ir privatumas turėtų būti protingų namų technologijos pagrindas. Senelių namuose atlikti tyrimai parodė, kad būtent privatumo stoka senyvo amžiaus žmonėms kelia didžiausias abejones naudojantis automatizuotomis pastatų valdymo sistemomis, ypač kalbant apie vaizdo kamerų naudojimą. Kita vertus bevielės technologijos kelia daug daugiau saugumo problemų lyginant su laidinėmis. Surinkti duomenys yra labai svarbūs ir dažnai gali apimti labai privačius asmens gyvenimo aspektus, todėl renkant duomenis ypatingas dėmesys turi būti skirtas jų saugumui, tam kad nebūtų peržengti įstatymai ir etikos normos.

2009 metais atliktame tyrime buvo palygintos kelios privatumo programos ir pasiūlytas privatumo taisyklių rinkinys protingo namo ir sveikatos priežiūros aplikacijoms.[4]

- Asmuo visada turi būti informuotas kokiam tikslui renkami duomenys.
- Asmuo turi turėti galimybę bet kada prieiti prie duomenų susijusių su juo.
- Priėjimas turi būti paprastas ir suprantamas.
- Duomenų rinkimas ir kaupimas turi būti naudojamas tik stebėjimui ir analizavimui.

- Duomenys turi būti išbaigti, autentiški ir tikslūs.
- Asmens identitetas ir asmeninė informacija turi būti apsaugota nuo neteisėto panaudojimo.

Naudodami išmaniąsias pastatų valdymo sistemas žmonės tikisi ne tik patogesnio, bet ir saugesnio gyvenimo. Gyvenamųjų patalpų valdymo sistemai pasitelkus išmaniąsias technologijas, jos gali būti pritaikytos žmonėms su negalia, ar senyvo amžiaus žmonėms, taip palengvindama jų dalį bei spręsdama socialinės rūpybos problemas. Tokios valdymo sistemos dažniausiai yra aprūpintos įranga galinčia analizuoti aplinką ir žmogaus veikla joje (2 pav.). Tokiu atveju valdymo sistema gali dirbti kaip prižiūrinti sistema ir įsikišti kai situacijos tampa pavojingos gyventojui, esant reikalui iškviesti atitinkamas tarnybas[5]. Tokiu būdu specialios priežiūros reikalaujančių socialinių grupių atstovai gali pasijausti pilnaverčiais visuomenės nariais nepriklausomais nuo kitų žmonių.



2 pav. Neužsukto dujų čiaupo vertinimo sistemoje pavyzdys.

Sistemos taip pat turi galimybę stebėti žmogaus gyvybines funkcijas, kasdienę veiklą, sveikatos būklę ir įpročius. Turint tokią vertingą informaciją specialistai gali geriau įvertinti asmens sveikata, skirti tinkamesnę gydymo sistemą, atlikti būtinąją priežiūrą nesikišdami į žmogaus kasdienę veiklą.

Tokios sistemos pavyzdys yra Azijos šalyse plintantys robotai atsakingi už žmogaus rūpybą (3 pav.). Šie robotai netik rūpinasi žmogaus sveikata, stebi jo gyvybines funkcijas, bet taip pat padeda jam atsikelti iš lovos, atlikti kitas, kartais žmogui jau sunkiai įveikiamas tačiau būtinas, funkcijas.

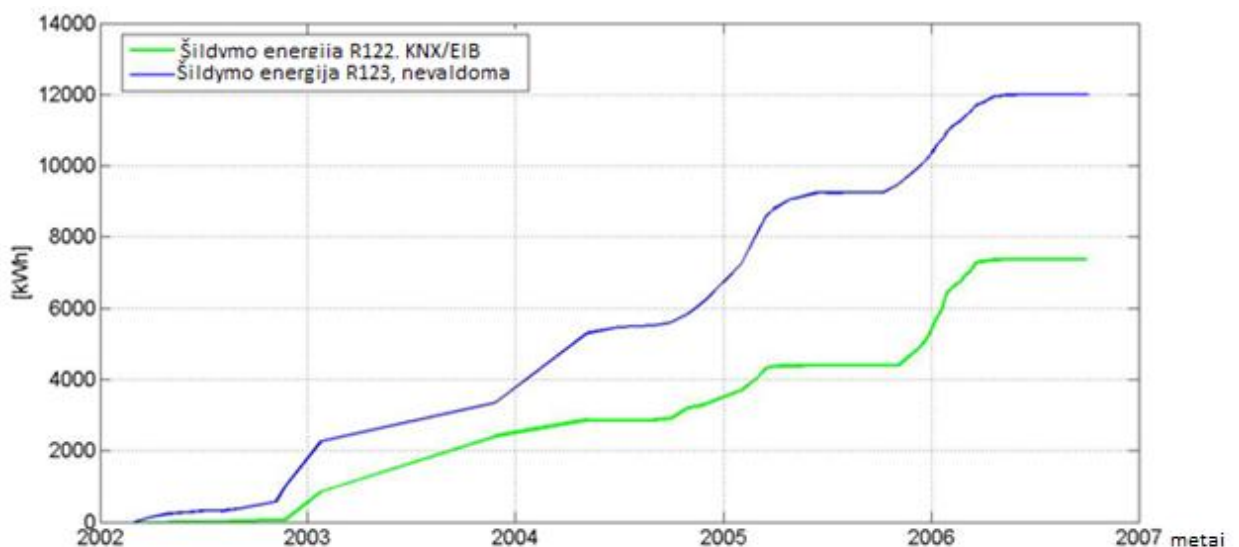


3 pav. „Robear“ robotas skirtas rūpintis vyresnio amžiaus žmonėmis.

### III. Efektyvus energijos vartojimas

Viešojo naudojimo patalpose, dėl nuolatinės darbuotojų kaitos patalpose ir asmeninės atsakomybės nebuvimo, dažnai pastebimi dideli energijos suvartojimo kiekiai. Naudojant automatizuotas valdymo sistemas tokioms patalpoms valdyti energijos kiekiai sumažinami drastiškai. Fraunhoferio institute atliktas tyrimas parodė, kad vien tik pakeitus įprastą termostatą kontroleriu su PI reguliatoriumi, sutaupoma 10-15% energijos [6]. Pastatų automatizavimu užsiimančios kompanijos praneša net apie 20-30% energijos sąnaudų sumažinimą gyvenamosiose patalpose. Viešojo naudojimo patalpose išmaniųjų valdymo sistemų naudojimo efektas dar geresnis.

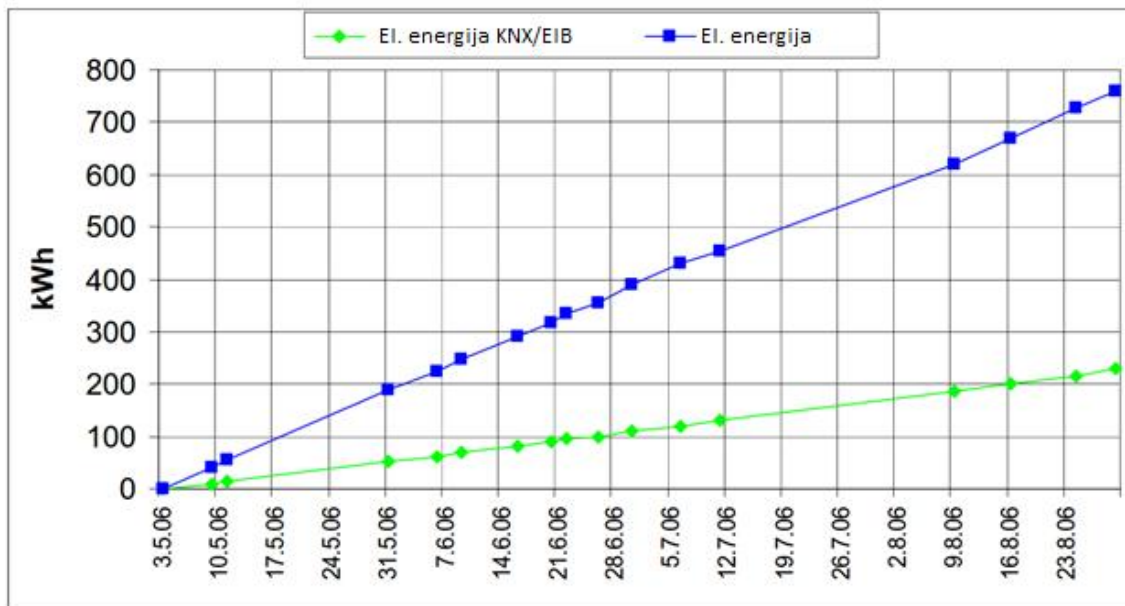
Brėmeno taikomųjų mokslu universitete atliktas tyrimas su dviem praktiškai vienodomis auditorijomis parodė, kad per tris bandymo metus buvo sutaupyta apie 50% šildymo energijos, panaudojant palyginti paprastą valdymo sistemą paremtą KNX standartu. Realizuojant sistemą buvo matuojama ir palaikoma 21° C patalpos temperatūra, o atidarius langa šildymas būdavo išjungtas iki kol temperatūra nukrisdavo iki 7° C (4 pav.).



4 pav. Šildymo energijos suvartojimas valdomoje ir nevaldomoje sistemose

Tame pačiame universitete atlikus bandymus valdant apšvietimą po keturių mėnesių buvo gautas 30% mažesnis elektros energijos suvartojimas išlaikant optimalius 500 liuksų darbo vietoje [6]. Mažesnę elektros energijos suvartojimą lėmė tai, kad žibintai būdavo išjungiami jei auditorija būdavo tuščia arba pakakdavo natūralaus apšvietimo. Taip naudoti žibintai buvo reguliuojamo ryškumo, todėl jų skleidžiama šviesa būdavo parenkama taip kad

studentų stalai būtų apšviesti 500 liuksų. Atlikus skaičiavimus nustatyta, kad visos apšvietimo sistemos valdymo sistema atsipirktu po ne daugiau kaip vienerių metų (5 pav.).



5 pav. Elektros energijos suvartojimas apšvietimui valdomoje ir nevaldomoje sistemose

KNX valdymo sistemos panaudojimas viešbučio patalpų valdymui padėjo viešbučiui „Nerocubo“ šiaurės Italijoje sumažinti išlaidas 50% elektros energijai ir 15% šildymui. Visi 110 viešbutyje esantys kambariai, posėdžių salės ir restoranai yra valdomi naudojantis KNX išmaniają pastatų valdymo sistemą. Svečiui įsiregistravus sistema nustato pageidautiną kambario temperatūrą ir valdo ventiliaciją. Kambario užimtumas ir parametrai nuolat matomi registratūroje, todėl aptarnaujantis personalas žino kada kambarius galima sutvarkyti nesutrukdant klientui, gauna visą informaciją apie kambariuose sugedusia įrangą, išvengia būtinybės eiti į kambarius aplinkos parametrams pakeisti [7].

Magnetine kortele atrakinus kambario duris yra įjungiamas tik būtinas apšvietimas, koridoriuose apšvietimas priklauso nuo natūralios šviesos ir žmonių buvimo, automatinė žaliuzių sistema padeda sumažinti patalpų aušinimui skirtą energiją vasarą ir šildymui skirtą energiją žiemą. Išmanioji valdymo sistema yra integruota kartu su saulės ir šilumine jėgainėmis, todėl pastatas yra tausojantis gamtą.

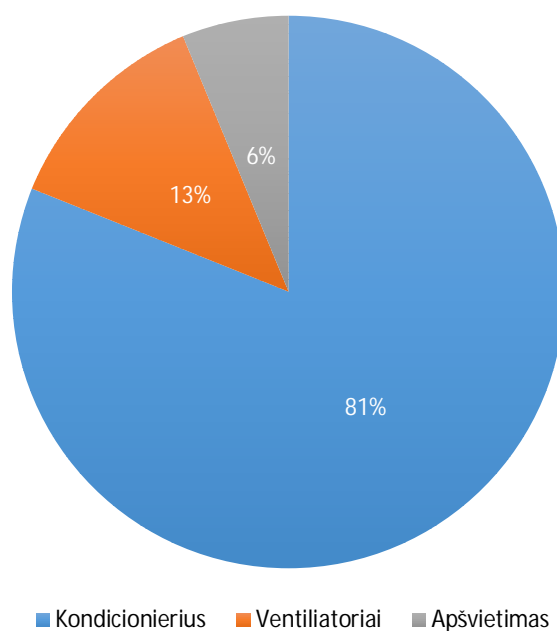
2009 metais vieno didžiausių kompiuterių procesorių gamintojo INTEL biuro patalpos Haifos mieste Izraelyje buvo pastatytos remiantis LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) standartu (6 pav.). Šis pastatas yra vienas didžiausių „žaliųjų“ pastatų artimuosiuose rytuose. Pastate panaudota 3160 KNX sistemos komponentų, kurių vertė su įdiegimu siekia 200 000 eurų. Pastate panaudotos sistemos leidžia kiekvienam darbuotojui savo darbo vietoje nusistatyti norimą apšvietimą, kontroliuoja patalpų temperatūrą ir ventiliaciją. Duomenys kaupiami OPC serveryje leidžia juos vėliau analizuoti ir jais naudojantis toliau optimizuoti energijos suvartojimą [8].



6 pav. LEED standartus atitinkantis Intel pastatas Haifos mieste Izraelyje.

Šalyse kur energijos gamybos pajėgumas nesugeba patenkinti paklausos, efektyvus energijos vartojimas yra dar didesnis prioritetas. Todėl ten automatizuotų pastatų valdymo sistemų skaičius auga eksponentiškai. Malaizijos Perlio universitete atlikti tyrimai parodė, kad automatizavus kambario apšvietimo ir temperatūros valdymą sutaupoma daugiau nei 30% elektros energijos[9]. Tyrime buvo panaudotas bandomasis kambarys, kurio bendra suvartojama galia siekia 962W (7 pav.). Jei tai būtų tipinė biuro patalpa per vieną darbo dieną būtų suvartota 7,7 kilovatvalandžių energijos, kurios daugumą sunaudoja oro kondicionierius veikiantis net ir tuo atveju jei patalpoje nieko nėra.





7 pav. Apkrovos pasiskirstymas bandomajame kambaryje.

Kambaryje naudojamoms sistemoms valdyti panaudojus programuojamą loginį valdiklį sujungta su keletu jutiklių, galima stebėti jo užimtumą, ir sistemas įjungti tik reikalui esant. Toks inžinerinių sistemų valdymas drastiškai sumažina energijos suvartojimą. Automatizavus kambario valdymą vietoj 962W energijos suvartojimas sumažėjo iki 635W, tai yra net 33,1%.

Atlikti tyrimai parodo, kad vartojant elektros energiją efektyviau maždaug trečdaliu sumažėtų energijos suvartojimas, todėl nereikėtų plėsti energijos gavybos, būtų taupomi planetos resursai.

## IV. Pastatų valdymo sistemų įvairovė

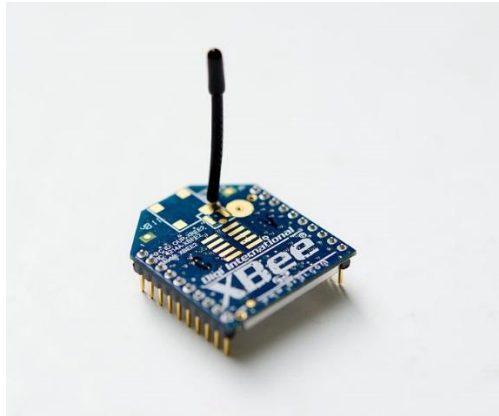
Namų automatika jau daugybę metų buvo viena iš pagrindinių mokslinės fantastikos mėgėjų temų, tačiau praktinę reikšmę įgavo tik 20 amžiuje, išplitus elektrifikacijai ir informacinėms technologijoms. Ankstyvosios nuotolinio valdymo pulto versijos pasirodė dar 19 amžiuje, kaip pavyzdžiui Nikolo Teslos patentas laivų ir automobilių valdymui.

Dabartinių modernių namų sistemų idėjos buvo matomos 1930 metų pasaulinėse mugėse. 1934 Čikagoje ir 1939, bei 1964 Niujorke vykusiose parodose buvo pristatomi automatizuoti kambariai. Tikriausiai toks didelis susidomėjimas šiomis sistemomis ir lėmė didelę sistemų įvairovę.

Šiomis dienomis egzistuoja keletas populiariausių sistemų:

- ZigBee
- Z-Wave
- X10
- KNX
- C-Bus
- Insteon
- LonWorks
- Ir kitos

ZigBee yra atviro kodo sistema naudojanti bevieli tinklą informacijai perduoti, paremta IEEE 802.15.4 standartu. ZigBee privalumas yra tas, kad naudoja mažiau energijos nei įprastas Wifi ir turi platesnę dažnių juosta nei Z-Wave technologija, todėl gali perduoti daugiau duomenų. Ši technologija gali būti realizuota žvaigždės ar medžio struktūra. Tačiau sistemos darbas priklauso nuo vieno centrinio procesoriaus, atsakingo už visą sistemos darbą, todėl jos patikimumas priklauso nuo centrinio procesoriaus darbo.



8 pav. ZigBee imtuvas

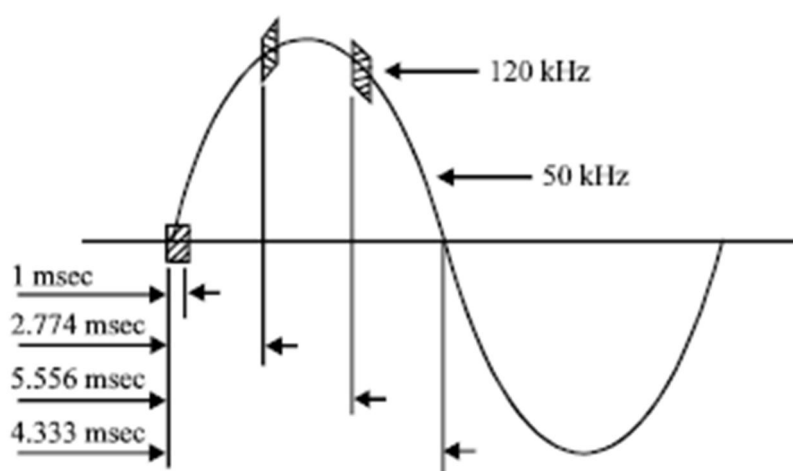
Ši technologija tampa specializuota ir apima vis daugiau sričių. Technologija skirstoma į keletą standartų, pavyzdžiui ZigBee Home Automation, skirta privačių namų, butų sistemoms automatizuoti, o ZigBee Health Care skirta išmaniųjų, judėjimo apyrankių, pulso ir kitų matuoklių komunikacijai (8 pav.).

Z-Wave yra bevielio tinklo technologija skirta namu automatizavimui, ypač tinkama privačių namu automatizavimui. Technologija naudoja mažos galio radijo bangas ir yra skirta perduoti mažų apimčių duomenis nedideliu (iki 100kbit/s) greičiu. Z-Wave veikia 100 m spinduliu 900mhz dažnyje, todėl gali interferuoti su bevieliais telefonais ir kita namu įranga, tačiau išvengia interferencijos su Wifi, Bluetooth ir kitomis aukštesnio dažnio technologijomis[9].

Prietaisai sistemoje bendrauja vienas su kitu tiesiogiai arba pasinaudodami tarpiniais tinklo prietaisais. Pavyzdžiui jungiklis A gali nusiųsti įjungimo signalą žibintui C tiesiai, tačiau signalas gali būti persiųstas pasinaudojant tarpiniu prietaisu B. Tai reiškia, kad prietaisai gali tarpusavyje bendrauti ir didesniu atstumu nei siųstuvo radijo signalo ilgis, su sąlyga, kad tarpe yra kitų sistemai priklausančių prietaisų.

X10 yra komunikacinis protokolas skirtas elektros prietaisams namuose keisti informacija. Jis buvo sukurtas 1975 metais siekiant nuotoliniu būdu valdyti namuose naudojamą buitinę techniką. Tai buvo pirmoji namų automatikai skirta technologija, kuri iki šiol lieka labiausiai išplėtota platforma.

Technologija naudojama pastatų automatizavimui, kurios komunikacijos terpė yra elektros instaliacijos kabeliai. Informacija yra moduluojama 120kHz dažnio nešliu, kuris į sistemą yra paduodamas kintamai srovei keičiant kryptį (9 pav.). Kiekvieną kartą sinusoidei kertant nulio žymą yra atiduodamas vienas bitas[10].



9 pav. X10 signalo perdavimas elektros tinkle.

KNX (Konnex) technologija - tai reformuota EIB (European Installation Bus) Europinė instaliacinė magistralinio kabelio technologija. Ši sistema apjungia įvairias prietaisų valdymo technologijas: magistralinio kabelio, jėgos kabelio, interneto, infraraudonųjų spindulių, radijo bangų (10 pav.). Tai yra protingo pastato valdymo sistema, naudojanti funkcinis blokus. Funkcinis blokas apima duomenis apie prietaisą ir jo funkcines savybes, pavyzdžiui binarinio jungiklio funkcinis blokas atspindi jungiklio įjungimo ir išjungimo funkcionalumą. Kiekvienas funkcinis blokas gali būti priskirtas tik vienai funkcijai vykdyti, tai yra vienai įrenginių grupei valdyti, tačiau ta grupė taip pat gali turėti keletą valdančiųjų įrenginių.

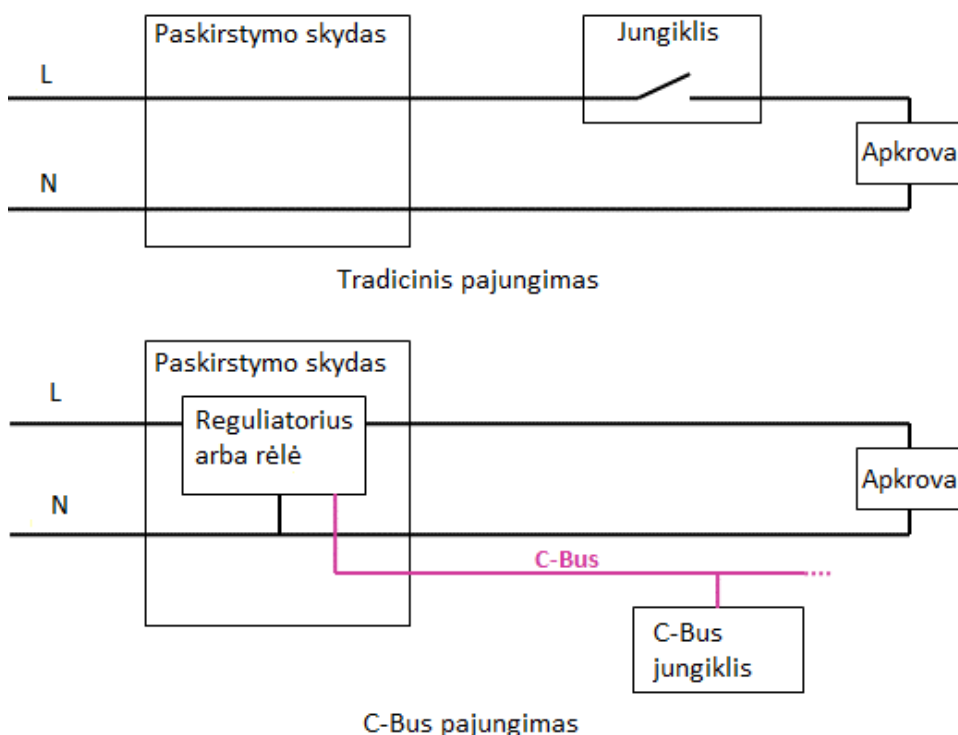
Naudojant nuotolinius jungiklius ir valdiklius sistemą bet kada galima praplėsti ar papildyti, pakeisti funkcijas, parametrus. Sistema yra decentralizuota, kiekvienas prietaisas turi atskirą valdiklį, todėl sugedus vienam iš elementų arba nutrūkus magistralei, sistema veikti nenustoja [11]. Informacija tinkle perduodama ne iš prietaiso į prietaisą, o atiduodama į visą tinklą. Kadangi KNX sistema paremta grupių valdymu, prietaisas, gavęs atitinkamą informaciją, gali nuspręsti ar jis priklauso įrenginių grupei, kuriai skirta žinutė, ir atitinkamai informacija turi būti apdorojama ar ignoruojama.



10 pav. KNX standartas apima didelę įvairovę namų technikos

C-Bus yra pastatų automatizavimo technologija, paremta septynių sluoksniais OSI modeliu. Sistema gali būti naudojama įvairiai namų technikai valdyti laidiniu (iki 1000m Cat5 kabelio), belaidžiu ar mišriu būdu, kur duomenys gali būti perduoti iš laidinės sistemos dalies belaidžiu. Technologija sukurta Clipsal Australia įmonės plačiai naudojama Okeanijos, Azijos, artimųjų rytų, JAV ir Jungtinės Karalystės regionuose.

Kitaip nei X10 technologijoje, informacijai perduoti yra naudojamas mažos įtampos kabelis, kas užtikrina komandų perdavimo patikimumą ir padidina tinkamumą naudojant didelėms sistemoms valdyti [12] (11 pav.).



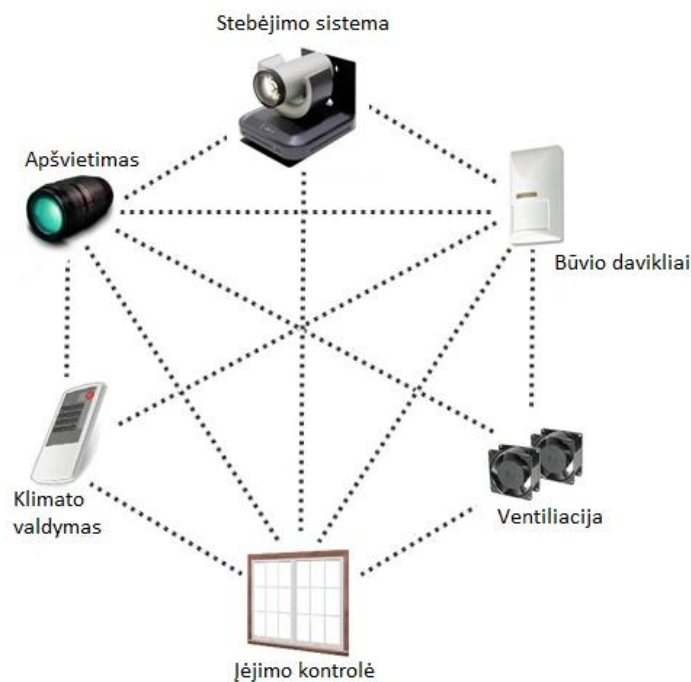
11 pav. Įprasto ir C-Bus pajungimų palyginimas.

Insteon yra namų automatizavimo sistema leidžianti įvairiems elektros prietaisams keistis duomenimis naudojant elektros instaliacijos laidus, radijo bangas ar abu. Technologija išleista 2005 metais įmonės Smartlabs. Sistema greitai išpopuliarėjo Jungtinėse Amerikos Valstijose, dėl galimybės ja valdyti Apple prekės ženklo, kuris ten labai populiarus, gaminius.

Tinklas paremtas dvigubo tinklelio technologija, kurioje visi prietaisai autonomiškai siunčia, gauna ir persiunčia duomenis. Prieš persiūsdami duomenis Insteon prietaisai patikrina siunčiamą informaciją ir ištaiso joje esančias klaidas. Visi prietaisai persiunčia informaciją vienu metu. Elektros linijos įtampos kitimas yra naudojamas kaip sistemos duomenų persiuntimo sinchronizatorius [13].

LonWorks (local operating network) yra tinklo platforma, sukurta specialiai prietaisų adresavimui valdymo reikmėms. Platforma yra sukurta pasinaudojant Echelon Corporation protokolu, skirtu prietaisams komunikuoti terpėmis tokiomis, kaip vyta pora, jėgos linija, optinis kabelis ar radijo dažnis. Komunikacija naudojama įvairioms pastato sistemoms, pavyzdžiui apšvietimas ar ventiliacija, sujungti ir valdyti (12 pav.).

Iki 2010 jau buvo įdiegta maždaug 90 milijonų prietaisų su LonWorks technologija. Platforma naudojama ne tik pastatų automatizavime, tačiau ji puikiai prigijo ir pramonėje, gatvių apšvietimo ar transporto valdyme. Nors sistema dar nėra išsiplėtusi didžiuliu mastu, ji jau naudojama gatvių, tunelių apšvietimo, stadionų apšvietimo ir garsiakalbių, namų gaisro ir saugos signalizacijų, metro valdymui ir išmaniam elektros suvartojimo matavimui[14].



12 pav. LonWorks naudojasi P2P tinklo sistema.

## V. Pastatų valdymo sistemų ir programuojamų loginių kontrolierių sintezė

Šiuolaikinėje pramonėje didžioji dalis procesų yra automatizuoti. Tam pasitelkiami programuojami loginiai valdikliai, geriau žinomi kaip PLV. Dėl savo plataus pritaikomumo ir palyginti mažos kainos neretai jie yra naudojami ir pastatų automatizavime. Tai suteikia galimybę kontroliuoti ir sujungti tarpusavyje naudojamą sistemas pagal individualius poreikius. Tai reiškia, kad automatizuotos pastato valdymo sistemos tampa funkcionalesnės, lengviau prieinamos vartotojui.

Vienas didžiausių automatikos gamintojų pasaulyje „Siemens“ rinkai pateikė „Desigo“ sistemą. Kaip teigia pats gamintojas, tai produktas padėsiantis sutaupyti energijos neprarandant pastato komforto. Anot „Siemens“ tai lanksčiausia šių laikų pastatų valdymo sistema, padėsianti supaprastinti inžinerinių sistemų valdymą, bei sutaupyti energijos.

Tačiau vartotojai dažnai nori būti nepriklausomi nuo gamintojo ir turėti galimybę rinktis iš plataus spektro, skirtingo dizaino ir gamintojų įrangos. Tokiais atvejais pasitelkiama pastatų valdymo sistemų ir programuojamų loginių valdiklių sintezė.

Vieni populiariausių būdų sujungti PLV su automatizuotomis pastatų valdymo sistemomis yra šie:

- Sujungimas naudojant Ethernet/IP.
- Sujungimas naudojant Modbus RTU/ Modbus TCP.

Abu būdai turi savų privalumų ir trūkumų. Norint naudotis Modbus komunikacija, prireiks papildomos įrangos, įrangos gamintojas apriboja norimos perduoti informacijos kiekį (iš anksto numatytų Modbus adresų kintamiesiems kiekis). Tačiau įrangos konfigūravimas paprastas, nereikalaujantis daug programavimo žinių, dažniausiai pateikiamas vartotojo vadove.

Sujungimui pasirinkus Ethernet/IP sujungimo būdą, tikriausiai nereikės įsigyti papildomos įrangos, perduodamos informacijos kiekis yra neribotas adresų kiekiu, komunikacija greita, paprastas fizinis įrengimas. Tačiau šiuo atveju prireiks daugiau žinių norint iš gautų duomenų išgauti reikalingą informaciją, bei ją iškoduoti.



Sujungimui naudojant Modbus komunikaciją, įtaisas pastatų valdymo sistemoje yra atpažįstamas kaip tos sistemos dalis, o PLV sistemoje kaip pavaldus įtaisas. Duomenys tokiose prietaisuose yra koduojami Modbus principu (13 pav.). Pavyzdžiui KNX sistemose Modbus adresas, kuriam priskiriamas atitinkamas kintamasis, yra suprantamas, kaip atitinkamas sistemos elemento įėjimas arba išėjimas. Perduodami ar nuskaitomi duomenys prietaisuose su Modbus komunikacija laikomi registruose iš kurių jie vėliau naudojami, ar kuriuose tam tikru laiko intervalu atnaujinami. Kiekvienoje Modbus telegramoje be duomenų, kartu perduodama ir KNX sistemos DPT (Datapoint type), duomenų grupė ir duomenų įrašymo, nuskaitymo, persiuntimo ir atnaujinimo vėliavėles.

Sistemų fizinis sujungimas sąlyginai paprastas. Naudojant Modbus TCP komunikaciją pakaks įprasto internetinio kabelio, kuris taip pat gali būti sujungtas su maršrutizatoriumi, taip turint galimybę tarpusavyje bendrauti kelioms sistemoms. Modbus RTU komunikacija realizuojama vyty poros kabeliu (priklausomai nuo pajungimo tipo gali būti reikalingi specialūs kištukai).

#	Dev	Modbus code	Format	Add.	Bit	Description	EIS	Group	Listening addresses	R	W	T	U	Active	F
1	1	0-Communication Error	-	-	-	- Communication Error	1 - Switching (1 bit)	1/0/1		R	T			1-Yes	
2	2	0-Communication Error	-	-	-	- Communication Error	1 - Switching (1 bit)	1/0/2		R	T			0-No	
3	3	0-Communication Error	-	-	-	- Communication Error	1 - Switching (1 bit)	1/0/3		R	T			0-No	
4	4	0-Communication Error	-	-	-	- Communication Error	1 - Switching (1 bit)	1/0/4		R	T			0-No	
5	5	0-Communication Error	-	-	-	- Communication Error	1 - Switching (1 bit)	1/0/5		R	T			0-No	
6	1	1-Read digital outputs	1 - 1 bit		1		1 - Switching (1 bit)	1/0/5		R	W	T		1-Yes	
7	1	2-Read digital inputs	1 - 1 bit		1		1 - Switching (1 bit)	1/0/7		R	T			1-Yes	
8	1	3-Read analog registers	4 - 16 bits sig C2		1		1 - Switching (1 bit)	1/0/8		R	W	T		1-Yes	
9	1	3-Read analog registers	4 - 16 bits sig C2		2		5 - Float (16 bit)	1/1/2		R	T			1-Yes	
10	1	3-Read analog registers	4 - 16 bits sig C2		3		6 - Scaling (8 bit)	1/1/3		R	T			1-Yes	
11	1	3-Read analog registers	4 - 16 bits sig C2		4		9 - Float IEEE (32 bit)	1/1/6		R	T			1-Yes	
12	1	3-Read analog registers	4 - 16 bits sig C2		5		10 - Counter (16 bit)	1/1/7		R	T			1-Yes	
13	1	3-Read analog registers	7 - 32 bits sig C2		6		11 - Counter (32 bit)	1/1/8		R	T			1-Yes	
14	1	3-Read analog registers	4 - 16 bits sig C2		7		14 - Counter (8 bit)	1/1/10		R	T			1-Yes	
15	1	3-Read analog registers	11 - 16 bits digitals		8	0	1 - Switching (1 bit)	1/0/20		R	T			1-Yes	
16	1	3-Read analog registers	11 - 16 bits digitals		8	1	1 - Switching (1 bit)	1/0/21		R	T			1-Yes	
17	1	3-Read analog registers	11 - 16 bits digitals		8	2	1 - Switching (1 bit)	1/0/22		R	T			1-Yes	

13 pav. Modbus - KNX komunikacijos konfigūravimas.

Jungiant sistemas tarpusavyje pasinaudojus Ethernet/IP, pastato valdymo sistemos, pavyzdžiui KNX, komandos ir duomenys koduojami ir perduodami KNXnet/IP protokolu. Šios komandos yra siunčiamos naudojant Ethernet UDP (User Datagram Protocol) į PLV ir ten išskoduojamos. Valdiklyje nuolatos tikrinamos gaunamos UDP telegramos ir iš jų nustatomas siuntėjo IP (Internet Protocol) adresas patikrinamas su nustatytu, nustatomas informacijos prioritetas ir išskiriama naudinga DPT (Datapoint type) informacija. Siunčiant komandą iš programuojamo loginio valdiklio į KNX sistemą, viskas vyksta atvirkščiai.

DPT duomenyse yra koduojama informacija apie reikšmės tipą ir dydį. Reikšmę nusakanti informacija apima reikšmės formatą ir kodavimą, o dydį apibūdinanti informacija apibrėžia reikšmės matavimo ribas ir vienetus.

Tam, kad perteklinė informacija bereikalingai neapkrautų tinklo tarp programuojamo loginio valdiklio ir pastato valdymo sistemos, KNX sistemoje automatiškai suformuojamas filtras (14 pav.). Filtras praleidžia tik tas reikšmes, kurios yra bendroje KNX grupėje su programuojamo loginio valdiklio įėjimais ar išėjimais.

Preview Filter Table	
1.3.0 Unicast for AC500 conn IPR/S2.1 IP Router,MDRC	
▲	00 2 Antras
▲	00 0 2.03a Biuru erdve (PA skyrius)
	00 2/0/13
▲	00 3 PIRAI
▲	00 0 COKOLIS
	00 3/0/0 - 3/0/3
▲	00 1 PIRMAS
	00 3/1/0 - 3/1/24
▲	00 2 ANTRAS
	00 3/2/0 - 3/2/23

14 pav. KNX IP maršrutizatoriaus suformuotas filtras.

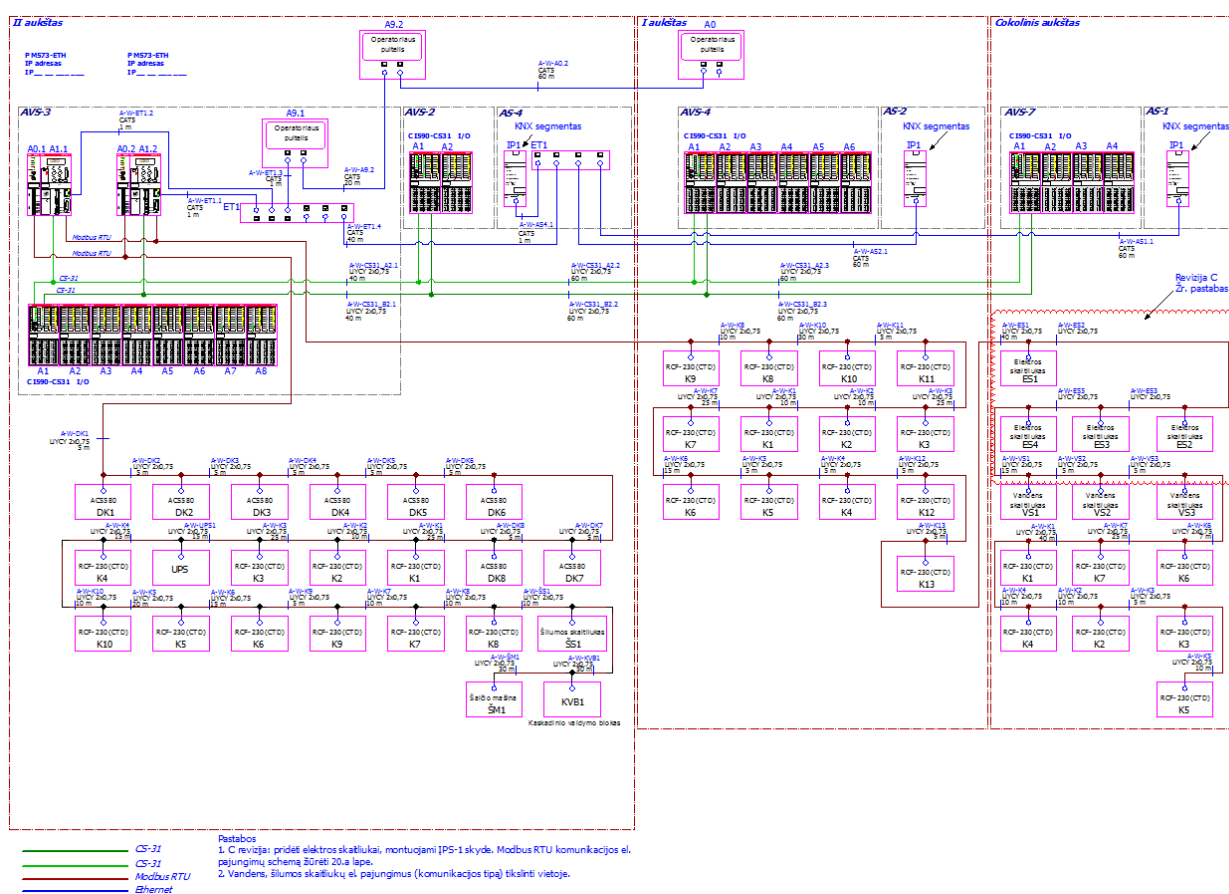
## 2. Metodinė dalis

### I. Pastato valdymo struktūra

Pastato inžinerinių sistemų valdymą (šildymą, vėdinimą, vėsinimą, priešgaisrinės gesinimo sistemos, nuotekų siurblynės), duomenų apdorojimą, atvaizdavimą ir dalinį valdymą atlieka ABB AC500 dubliuotų PLV sistema su operatoriaus pulteliais. Apšvietimo ir elektrinių žaliuzių valdymo logika atliekama per KNX sistemą, iš kurios duomenys apie patalpų užimtumą perduodami į bendrą AC500 valdymo sistemą, kur jie panaudojami ventiliacijos, šaldymo ir šildymo sistemoms valdyti (15 pav.).

Patogesniai sistemos valdymui ir signalų surinkimui naudojamos nutolusios salos. Duomenys iš nutolusių I/O salų nuskaitomi per ABB komunikaciją – CS31. Dėl didesnio sistemos patikimumo sistema komunikacijos kabeliai yra dubliuoti.

Prietaisų palaikančių Modbus RTU komunikaciją duomenų nuskaitymas bei valdymas vykdomas per Modbus RTU komunikacinius modulius.



15 pav. Valdymo sistemos struktūra

Pastato valdymo sistema sujungta su uždaru ABB interneto tinklu, todėl pasinaudojus VPN (Virtual private network) programų paketais, biuro patalpų valdymas gali būti stebimas ir valdomas nuotoliniu ryšiu.

Pastato apšvietimo valdymui valdyti naudojama KNX sistemoje naudojama DALI (Digital Addressable Lighting Interface) komunikaciniai moduliai reguliuojamo apšvietimo LED šviestuvams valdyti. Panaudojus šią komunikaciją taip pat gaunama informacija apie neveikiančias lempas, balastus, galima atlikti individualius diagnostikos darbus kiekvienam šviestuvui (16 pav.).



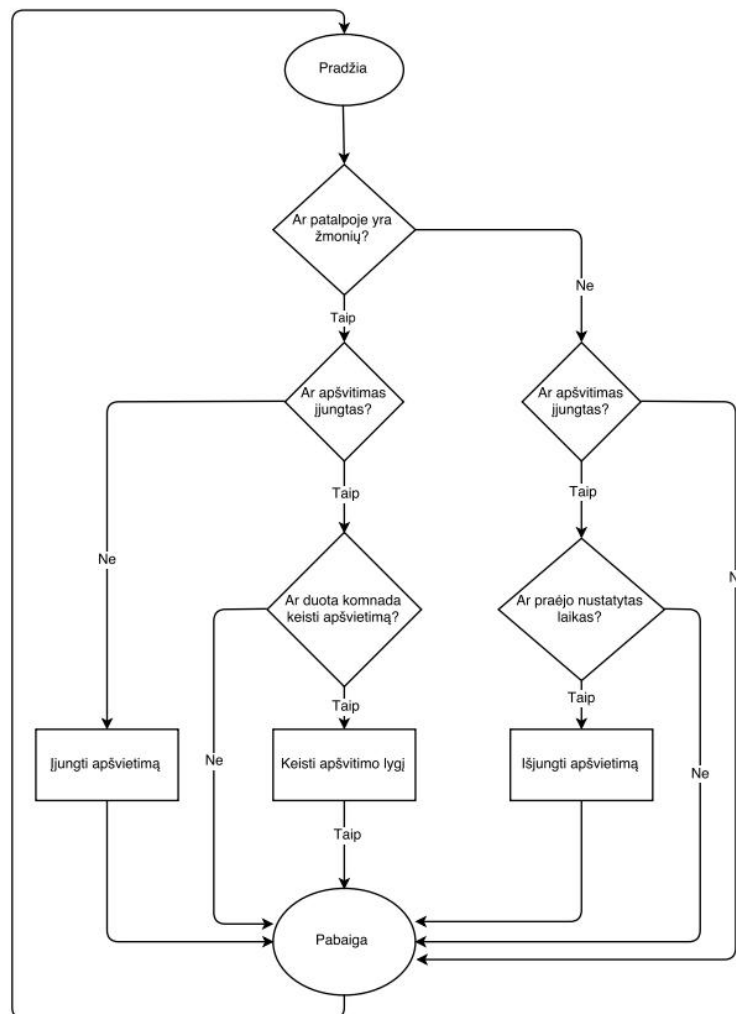
16 pav. Informacija gaunama iš DALI prietaisų.

## II. KNX sistema

KNX sistema naudojama pastato apšvietimo, elektrinių žaliuzių sistemų valdymui ir duomenų apie patalpų užimtumą surinkimui.

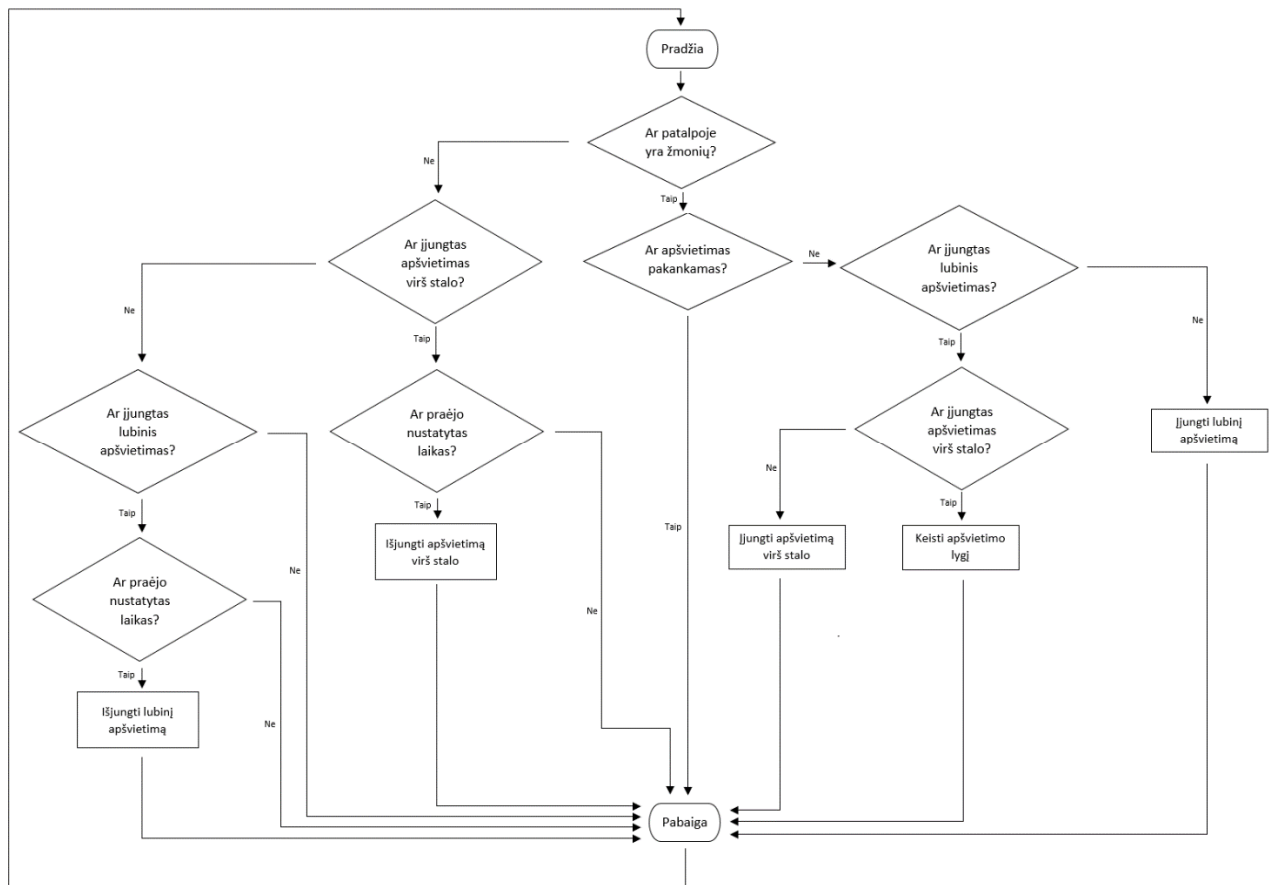
Apšvietimo sistema realizuojama skirtinga logika priklausomai nuo patalpos tipo.

Pasitarimų patalpa: patalpose sumontuoti PIR (passive infrared sensor) jutikliai (būvio ir apšvietos jutikliai). Suveikus PIR jutikliui įjungiamas patalpos apšvietimas (apšvietimas įjungiamas tuo atveju jei patalpos apšvieta yra nepakankama). Esant per dideliame apšvietimui (pvz. paleidus projektorių reikalingas žemesnis apšvietimo lygis) apšvietos lygis reguliuojamas rankiniu būdu per KNX jungiklius instaliuotus patalpoje. Žmonėms palikus patalpas – apšvietimas išjungiamas (17 pav.).



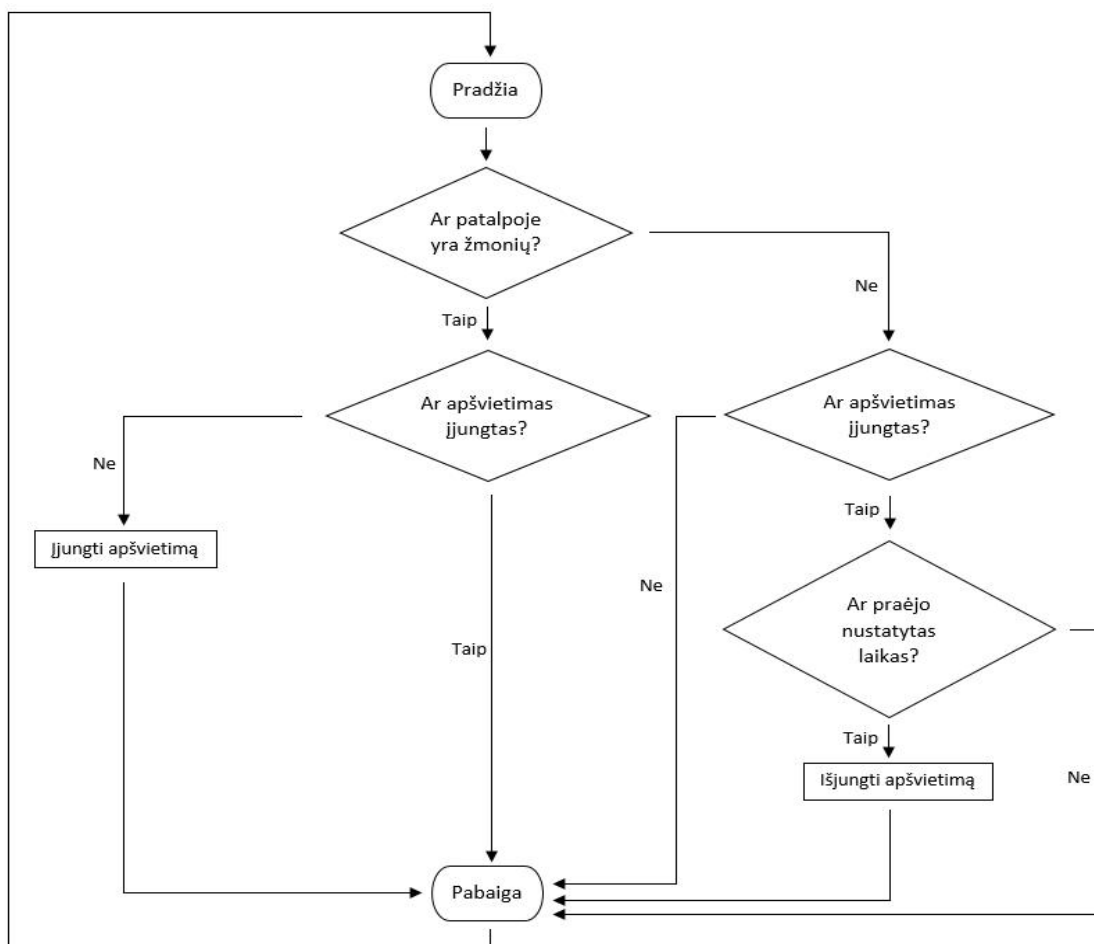
17 pav. Pasitarimų patalpos apšvietimo valdymo algoritmas

Biurų patalpa: patalpose montuojami dviejų tipų šviestuvai: lubose ir prie stalų. Kiekvienai stalų grupei montuojami PIR jutikliai, fiksuojantys būvį bei apšvietimo lygį. Darbuotojui, įėjus į patalpą ir suveikus bent vienam patalpoje instaliuotam jutikliui, jei apšvietumas nėra pakankamas, įjungiamas bendras apšvietimas, darbuotojui atsisėdus prie darbo vietos (fiksuojama PIR jutikliu) minutės bėgyje įjungiamas darbinis virš stalo esantis šviestuvai, darbinis apšvietimo lygis reguliuojamas pagal PIR jutiklio fiksuojamą apšvietimo lygį. Žmonėms palikus patalpas – tiek bendras, tiek virš stalų esantis apšvietimas išjungiamas praėjus nustatytam laikui. Šviestuvų šviesos srautas reguliuojamas automatiškai per KNX/DALI keitiklį atsižvelgiant į apšvietimo poreikį (18 pav.).



18 pav. Biuro zonų apšvietimo valdymo algoritmas

Holas: patalpoje sumontuotas PIR jutiklis (būvio ir apšvietos jutiklis). Suveikus PIR jutikliui įjungiamas patalpos apšvietimas. Kadangi patalpoje yra lankytojus priimančio personalo darbo vietos, ten reikalingas nuolatinis apšvietimas, patalpoje esant žmonių. Jei patalpoje 15 minučių neaptinkama šilumos šaltinio judėjimo apšvietimas išjungiamas (19 pav.).



19 pav. Holo apšvietimo valdymo algoritmas

Antro aukšto biurų patalpose įrengtos žaliuzės valdomos iš operatoriaus pultelių arba išmaniųjų telefonų per KNX sistemą valdomomis elektrinėmis pavaromis. Žaliuzės gali būti ne tik atidarytos ar uždarytos, bet taip pat gali būti reguliuojamas jų praleidžiamas šviesos kiekis. Toks žaliuzių valdymas pasirinktas dėl galimybės ateityje jas valdyti priklausomai nuo saulės apšvietos, pasinaudojant orų stotele.

Patalpų šildymui, šaldymui ir vėdinimui naudojami duomenys apie patalpų užimtumą, kurie gaunami iš būvio ir apšvietos jutiklių įrengtų patalpose. Duomenys apie patalpų užimtumą iš KNX sistemos perduodami į bendrą pastato valdymo sistemą (AC500) naudojant KNXnet/IP maršrutizatorius.

### III. Šildymas

Pastato šildymas – vykdomas radiatorinio šildymo sistema. Prie kiekvieno radiatoriaus įrengiami mechaniniai termostatiniai ventiliai, o šildymo kolektorius – reguliuojamas elektrinėmis pavaromis. Elektrinės pavaros valdomos RCF-230CTD valdikliais (20 pav.) pagal patalpų temperatūros duomenis (RCF-230CTD valdiklis su integruotu temperatūros matuokliu) bei užduotus režimus atsižvelgiant į patalpų užimtumą. RCF-230CTD valdiklis atlieka temperatūros matavimo, ventiliatorinių konvektorių valdymo ir norimos temperatūros įvedimo funkcijas.



20 pav. RCF-230CTD valdiklis

Kadangi ant kolektoriaus yra viena elektrinė pavara, o iš kolektoriaus į radiatorius karštas vanduo tiekiamas į skirtingas patalpas, vadovaujamosi pagal reikalingą aukščiausią valdomų patalpų temperatūrą, nuskaitomą iš RCF-230CTD valdiklių, naudojant Modbus RTU komunikaciją.



## IV. Šaldymas

Šiltuoju metų laikotarpiu, norint užtikrinti reikiamus administracinių patalpų ir personalui skirtų patalpų mikroklimato parametrus suprojektuota vandeninė oro kondicionavimo sistema su vandenine oru aušinama šaldymo mašina ir ventiliatoriniais konvektoriais. Šalčio mašina tiekama su visa reikiama automatika, o reikalingi duomenys apie šalčio mašinos darbą ir parametrus nuskaitomi per Modbus RTU komunikaciją.

Biurų, pasitarimų patalpų kondicionavimui instaliuota ventiliatorinių konvektorių sistema palaiko norimą temperatūrą patalpose. Konvektorių temperatūrinio režimo valdymas – autonominis, jų valdymui instaliuoti valdikliai RCF-230CTD kiekvienai kondicionuojamai patalpai, išskyrus biurų patalpas sudarančias bendrą erdvę, kuri skirstoma į 3 atskiras reguliuojamas zonas. Iš RCF-230CTD valdiklio duomenys perduodami Modbus RTU komunikacija į ACS500 pastato valdymo sistemą. Konvektoriai įsijungia jei patalpoje yra žmonių (nuo PIR jutiklių) ir jei patalpą reikia kondicionuoti (esant per aukštai patalpos temperatūrai), jei patalpoje atidaromas langas – konvektorius/iai, priskirti tai zonai turi būti išjungiami (išjungimo/įjungimo funkcija atliekama su užlaikymu).

## V. Vėdinimas

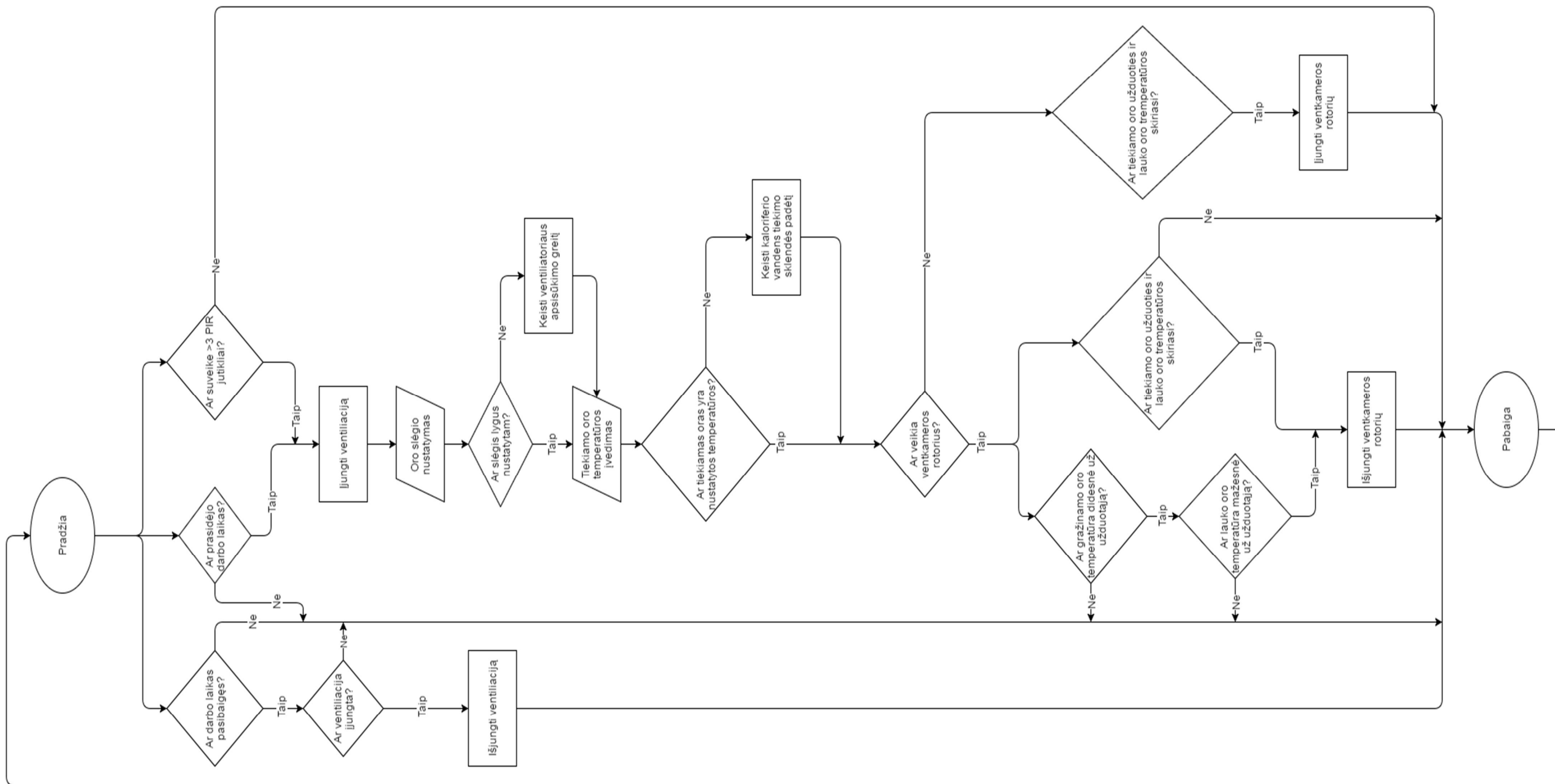
Oras į patalpas tiekiamas rekuperatorinėmis sistemomis TI-1, TI-2 ir TI-3.

Vėdinimo sistemos darbo laikas prasideda nuo 7 ryto ir tęsiasi iki 18 vakaro darbo dienomis. Ventiliacija pradeda veikti prasidėjus darbo laikui arba jei atitinkamos ventkamos patalpose yra suveikę daugiau nei 3 būvio jutikliai (jei žmonės liktų ilgiau ar darbas vyktų savaitgalį). Ventkamos tiekimo ventiliatorius palaiko užduotą tiekiamo oro slėgį, kurį galima keisti iš operatoriaus pultelio. Ištraukimo ventiliatorius palaiko ištraukimo oro slėgį pagal esamą tiekimo oro slėgį. Ventkameroms iš pultelio galima užduoti tiekiamo oro temperatūrą. Tiekiamo oro temperatūros nuostolius kompensuoja ventkamos kaloriferis, kuris šildomas karštu vandeniu iš katilinės. Kaloriferio vandens sklendė palaiko užduotą tiekiamo oro temperatūrą.

Ventkamos rotorius paleidžiamas jei tiekiamo oro užduoties ir lauko temperatūrų skirtumas  $> 1.9^{\circ}\text{C}$ , stabdomas jei  $< 1^{\circ}\text{C}$  arba gražinamo oro temperatūra didesnė už temperatūros užduotį daugiau nei  $0.9^{\circ}\text{C}$  ir lauko temperatūra mažesnė nei temperatūros užduotis (21 pav.).

Ventiliacijos sklendės pasitarimų patalpose (tiekimo ir ištraukimo kartu) valdomos pagal CO<sub>2</sub> jutiklį: 600 ppm – 0 %, 1000ppm – 100%. Tokiu būdu patalpoje esant žmonėms CO<sub>2</sub> palaikomas 800-850ppm. Prasidėjus darbo laikui pasitarimų patalpos papildomai dar valandą ventiliuojamos (sklendės atidaromos 100%).

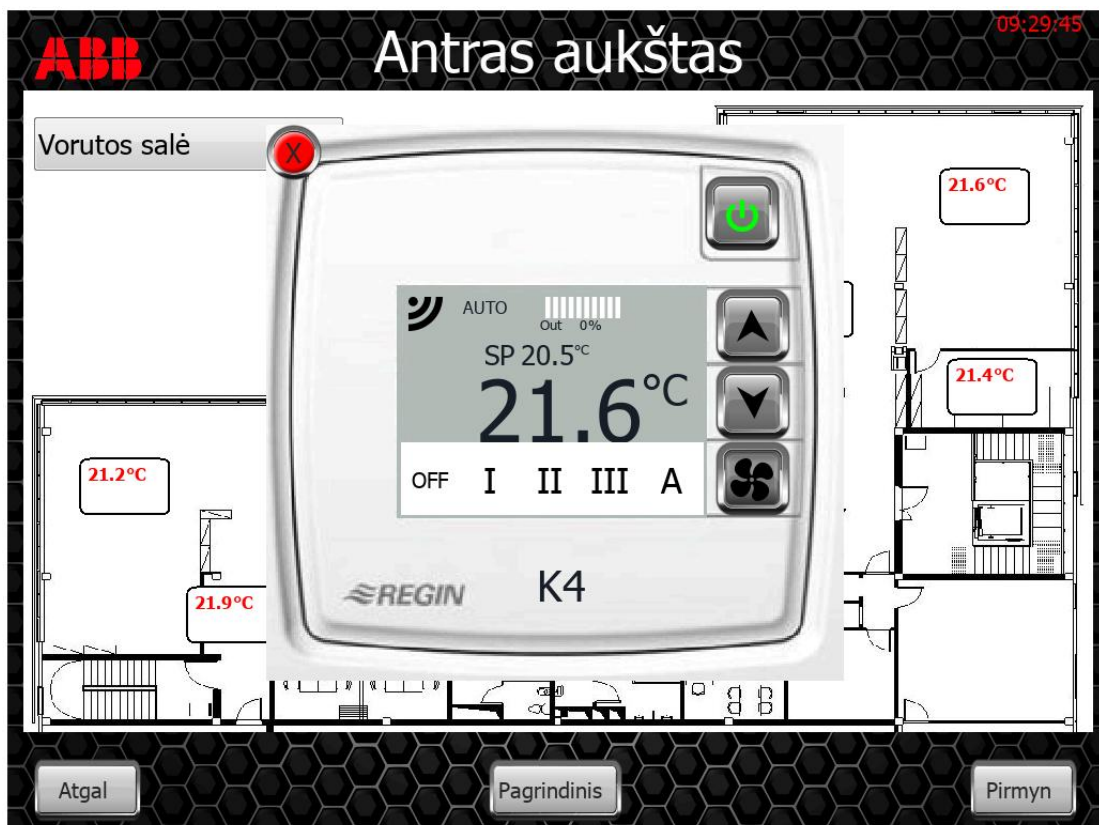
Ventiliacijos sklendės biuro patalpose automatiniu režimu valdomos pagal būvio jutiklių suveikimą. Atidarymo laipsnis išdalinamas pagal tai zonai priklausančių būvio jutiklių kiekį.



21 pav. Ventiliacijos valdymo algoritmas

## VI. Operatoriaus pulteliai

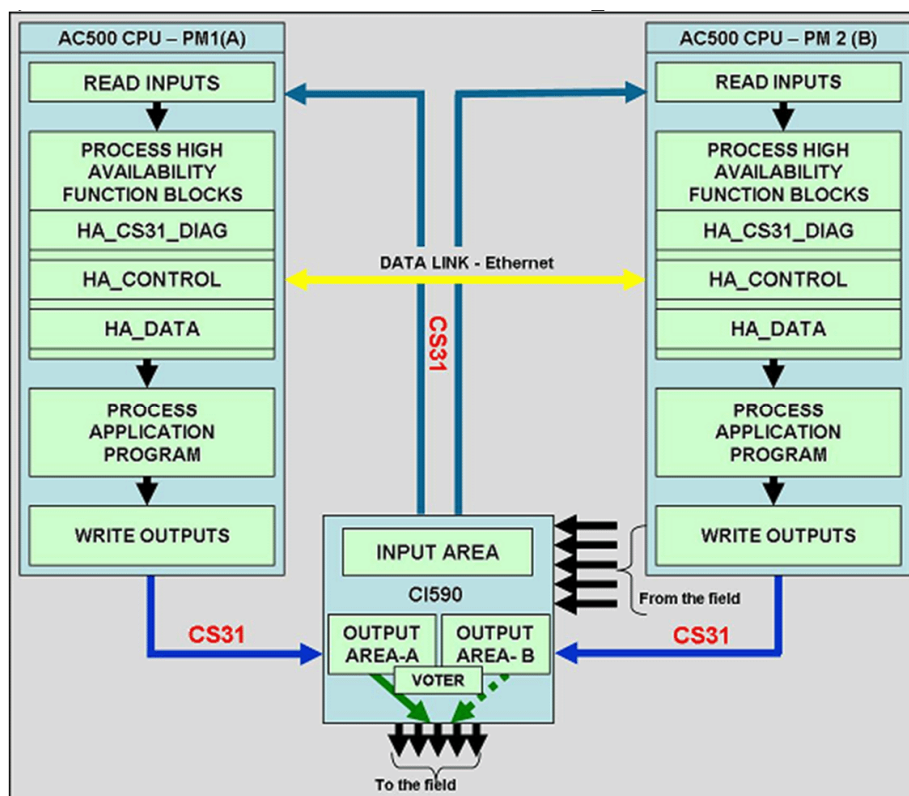
Pastato valdymo sistemai stebėti ir valdyti naudojami ABB CP600 operatoriaus pulteliai liečiamais ekranais (22 pav.). Pulteliai su PLV sujungti naudojant Modbus TCP komunikaciją. Visi duomenys apie pastatą surenkami į AC500 sistemą iš kurios perduodami į operatoriaus pultelius. Operatoriaus pulteliuose realizuoti du vartotojo lygmenys, suteikiantys galimybę priskirti skirtingą priėjimo lygį eiliniam vartotojui ir sistemos inžinieriui. Sistema taip pat prijungta prie pasaulinio ABB tinklo, kas suteikia sistemos administratoriui galimybę valdyti, stebėti, bei keisti sistemos valdymo algoritmus iš bet kurio ABB vidinio arba iš bet kurio išorinio tinklo, pasinaudojus virtualiu privačiu tinklu (VPN). Norint stebėti ir valdyti sistemą reikalingi tam tikri nustatymai kompiuteryje ir teisingas prisijungimo vardas, bei slaptažodis, o norint keisti sistemos valdymo algoritmus papildomai reikalingi tinkami IP nustatymai.



22 pav. Antro aukšto pasitarimų kambario temperatūros valdymas nuotoliniu ryšiu.

## VII. Dubliuoti PLV

Siekiant užtikrinti nepertraukiamą sistemos darbą, buvo panaudota programuojamų loginių valdiklių sistema su dubliuotais procesoriais, tam panaudojant nutolusias I/O salas su ABB CI590 komunikaciniu modulių prijungtu CS31 komunikacija (23 pav.).

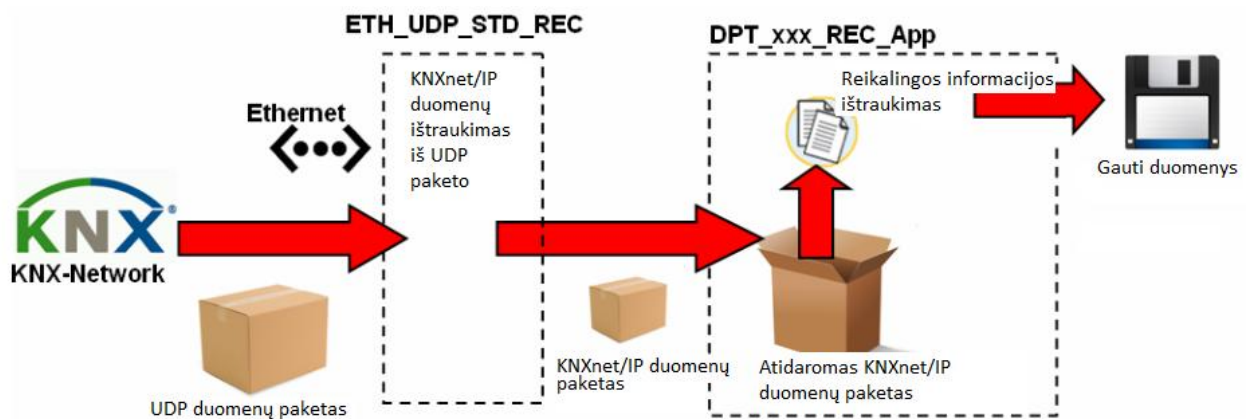


23 pav. Tipinė AC500 dubliuotos sistemos operacija.

Valdiklyje veikianti programa nuskaityto nutolusios salos su CI590 modulių įėjimų/išėjimų būsenas kiekvieno ciklo metu. Duomenys, surinkti į pagrindinį procesorių, persiunčiami Ethernet tinklu atsarginiam procesoriui, todėl abu procesoriai visą laiką turi vienodą informaciją. Programos pabaigoje atitinkami duomenys yra persiunčiami atgal į nutolusios įėjimų/išėjimų salos CI590 modulį. Ten priklausomai nuo gautų diagnostikos duomenų CI590 modulis aktyvuoja vieną iš dviejų kanalų sujungtų su skirtingais procesoriais. Priklausomai nuo to kanalas aktyvus ar ne, parenkama, kuris procesorius turi veikti kaip pagrindinis, todėl gedimo atveju sistema geba greitai (kelių ciklų laiko tarpe) persijungti nuo neveikiančio procesoriaus prie atsarginio.

## VIII. PLV sujungimas su KNX sistema

Siekiant supaprastinti ir pigiau realizuoti sistemą, buvo pasitelktas pastatų automatizavimo sistemose netradicinis sprendimas. Vietoj įprastinės pastato automatizavimo sistemos buvo panaudotas pramonei skirtas programuojamas loginis valdiklis funkcionaliai papildytas KNX sistemos elementais. Tai padėjo sutaupyti atsisakant papildomų valdymo įtaisų vėdinimui, suteikė galimybę naudoti pigesnę pramonei skirtą atvaizdavimo įrangą su daugiau funkcionalumo.



24 pav. Duomenų nuskaitymo iš KNX sistemos į PLV principas.

Norint gauti duomenis iš KNX sistemos į PLV, KNX sistemos pagrindinės linijos (Main line) tarpė turi būti IP (24 pav.). Tokiu būdu PLV Ethernet tinklu prijungiamas prie KNX tinklo, kuriame jis realizuojamas kaip išėjimas į vizualizaciją. Sukonfigūravus KNX sistemą, joje automatiškai sukuriama filtras, kuriame nurodoma kokius duomenis praleisti į PLV, o kuriuos atfiltruoti.

Tuo tarpu PLV programa sukuriamą taip, kad nuskaitytų visus gaunamus UDP paketus. Iš visų gautų paketų KNX duomenis atskiriami pagal siuntėjo IP adresą. Norint iškoduoti siuntėjo adresą, kuris gaunamas kaip *string* duomenų tipas, verčiamas į *byte* duomenų tipą, kuris toliau naudojamas reikalingiems duomenims atrinkti.

Atskyrus tinkamas UDP telegramas, iš jų nustatomas telegramų prioritetą, aukštesnio prioriteto telegramos iššifruojamos pirmiausia. Atskyrus telegramas pagal prioritetą, jos toliau iškoduojamos siekiant, iš jų išgauti reikalingą informaciją.

Toliau *string* formato telegramos nagrinėjamos priklausomai nuo to, kurio lygio kodavimas naudojamas. Šiuo atveju buvo naudojamas trijų lygių duomenų kodavimas, trys

skaitmenys išskiriami pasviru brūkšniu. Todėl norint iškoduoti gautus duomenis iš *string* eilutės, ieškoma pasvirojo brūkšnio ir nuskaitytas vienas skaitmuo prieš jį, kuris pagal KNX standartą apibūdina teritoriją. Tada ieškoma antrojo pasvirojo brūkšnio ir nuskaitytas dar vienas skaitmuo, šį kartą prieš antrąjį pasvirąjį brūkšnį. Antrasis skaitmuo, remiantis standartu turėtų nusakyti patalpą, kurioje naudojama įranga. Trečiasis ir ketvirtasis skaitmenys esantys po antrojo pasvirojo brūkšnio apibūdina funkciją, kuriai atlikti naudojamas prietaisas, kaip pavyzdžiui apšvietimo ar ventiliacijos.

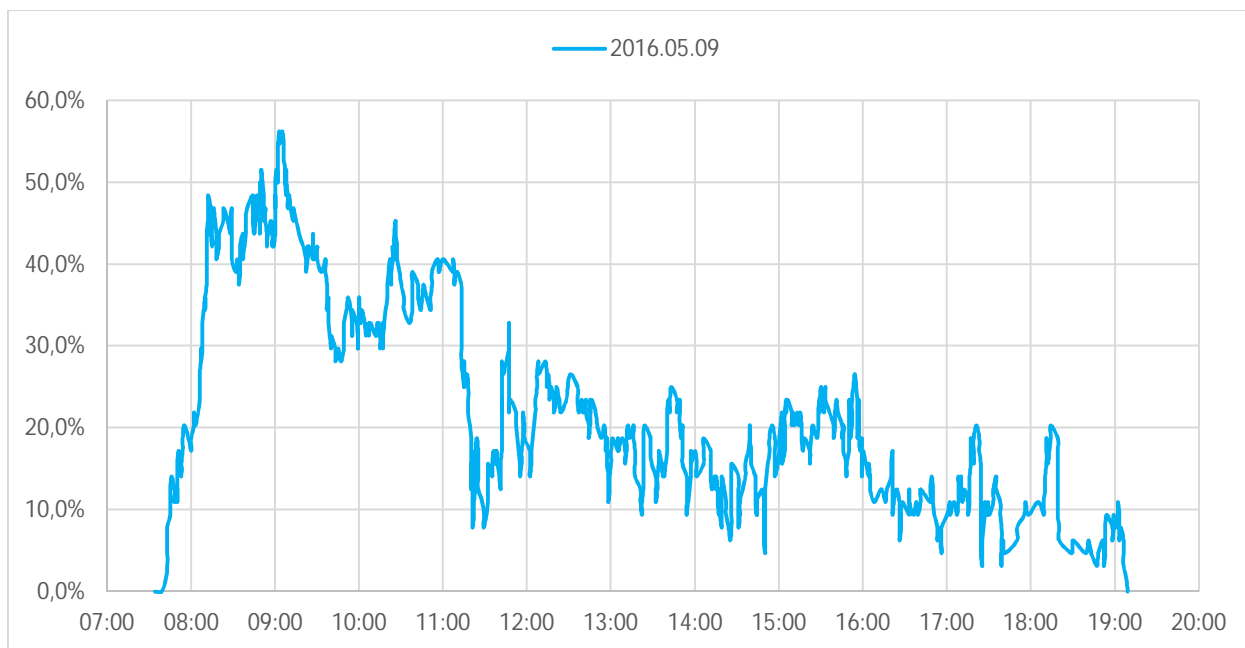
Nustačius kokiai KNX grupei priklauso telegrama yra išgaunamas jos tipas ir iš to nusprendžiama kokios tipo kintamasis turi būti nuskaitytas, kaip pavyzdžiai *integer* tipo kintamasis, kuris gali perduoti informaciją apie šviestuvo ryškumą, arba *bool* tipo kintamasis apibūdinantis būvio jutiklio būseną.

Iškodavus reikiamus duomenis toliau jie naudojami ventiliacijos ir šaldymo sistemoms valdyti. Taigi KNX sistemai priklausančios būvio ir apšvietos jutikliai atlieka dvi funkcijas. Pirma, jie valdo biuro apšvietimą ir šviestuvų ryškumą priklausomai nuo natūralaus apšvietimo lygio ir patalpų užimtumo. Antra, PIR jutikliai naudojami patalpų užimtumui nustatyti ir pagal tai valdyti biuro patalpų vėdinimo ir šaldymo sistemas.

### 3. Tyrimo rezultatų dalis

Siekiant ištirti sukurtos sistemos efektyvumą, buvo atliekamas 20 darbo dienų sistemos energijos suvartojimo tyrimas. Toliau apžvelgiama 1, 5 ir 20 darbo dienų energijos suvartojimas apšvietimui, ventiliacijai ir patalpų kondicionavimui, bei paskaičiuojamas sistemos atsiperkamumas remiantis skirtingų laikotarpių duomenimis.

Vienos dienos statistikai analizuoti buvo pasirinkta 2016 metų gegužės 9 diena. Norint geriau suprasti biure suvartojamos elektros energijos poreikį buvo tiriamas ir biuro užimtumas (25 pav.). Tiriamoje biuro dalyje yra sumontuota 64 būvio ir apšvietos jutikliai, stebintys darbuotojų buvimą patalpose. Žemiau pateikiamas grafikas atspindi procentinį tiriamų biuro patalpų užimtumą.



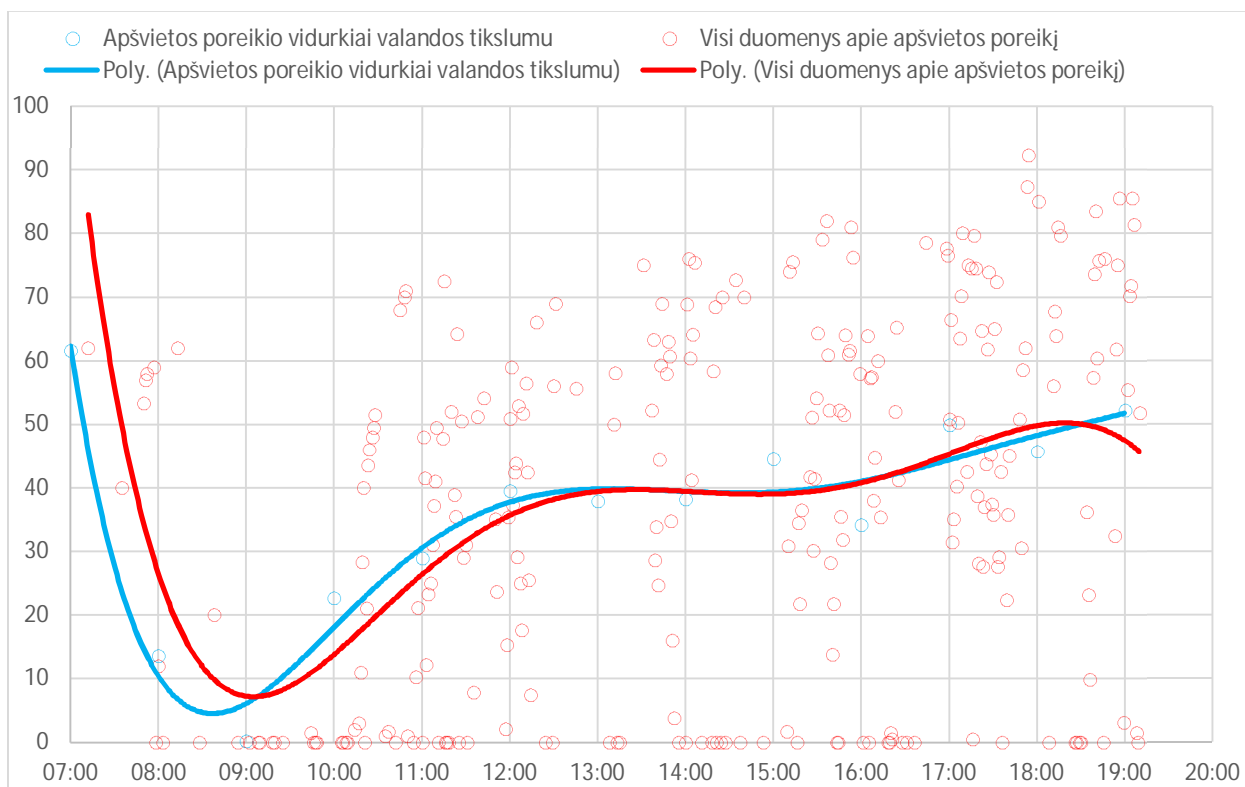
25 pav. Biuro patalpų užimtumas.

Iš eksperimentiškai gauto grafiko matyti, kad didžiausias patalpų užimtumas yra apytiksliai nuo 8 iki 9 valandos ryto. Taip pat pastebimas apie 15% patalpų užimtumo sumažėjimas prieš pietų pertrauką. Iš grafiko matyti, kad nors darbo valandos ir tęsiasi iki 17 valandos, biuro patalpos visiškai ištuštėja tik apie 19 valandą.



Žemiau pateiktame grafike tiriamas reguliuojamo ryškumo šviestuvų reguliatorių apkrovimas. Renkant duomenis pastebėta, kad didžiąją dalį, tai yra apie 80%, surinktų duomenų sudaro informacija apie reguliuojamo ryškumo šviestuvų apkrovimą. Dėl didelio duomenų kiekio, nuo 12 iki 35 tūkstančių eilučių per dieną, buvo nuspręsta duomenys supaprastinti ir naudoti vidutines valandos apkrovimo reikšmes.

Siekiant įsitinkinti ar toks duomenų supaprastinimas nepakenks tyrimo duomenims buvo atliktas duomenų aproksimacijos šeštojo laipsnio polinomu ir palygintos gautos kreivės (26 pav.). Buvo nustatyta, kad kreivės yra artimos viena kitai ir neturės didelės įtakos tolimesniam tyrimui, todėl tyrimui supaprastinti galima naudoti vidutines valandos reikšmes.



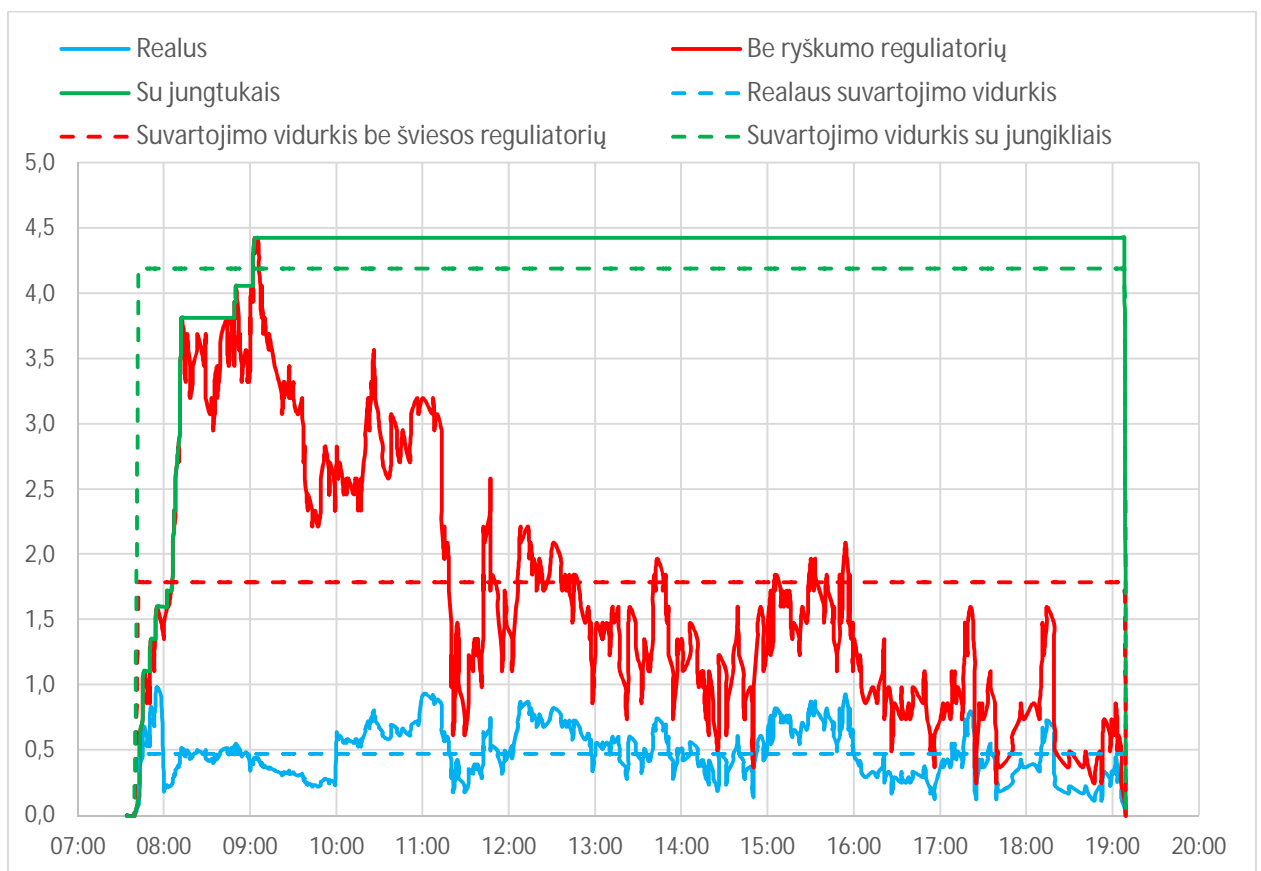
26 pav. Šviestuvų ryškumo poreikis dienos bėgyje.

Iš eksperimentiškai gauto grafiko taip pat matyti, kad didžiausias apšvietimo poreikis yra ryte. Staigus poreikio sumažėjimas apie 9 valandą ryto pastebimas, dėl tekančios saulės ryškaus patalpų apšvietimo. Bėgant darbo dienai, poreikis laipsniškai auga iki tol, kol patalpos ištuštėja. Taip pat pastebima, kad šviestuvai yra naudojami tik apie 50% galingumu. Kadangi šviestuvų ryškumas yra reguliuojamas impulso pločio moduliacija (PWM – Pulse wide modulation), o ne reostatiniu būdu, taip elektros energija yra sutaupoma, o ne paverčiama šiluma ir išsklaidoma.

Elektros energijos suvartojimo apšvietimui grafike palygintas elektros energijos suvartojimas, realizuotoje sistemoje, bei teorinėse sistemose, kurių viena paremta būvio jutikliais be apšviestumo reguliavimo, kita jungikliais, priimant, kad šviesa yra įjungiama darbuotojams atėjus į patalpas ir išjungiama paskutiniam darbuotojui paliekant patalpas.

Bendras tirtos sistemos apšvietimo galingumas yra 7,869kW. Grafike palygintos trys sistemos ir jų vidutinis elektros energijos vartojimas. Realios eksperimentiškai testuotos sistemos energijos vartojimo vidurkis 0,47 kW, vadinasi per 8 darbo valandas sistema suvartoja apie 3,76kWh elektros energijos, o suvartojimo pikas siekė apie 1kW. Tuo tarpu tokia pati sistema be apšviestumo reguliavimo per 8 darbo valandas sunaudotų 14,32kWh elektros energijos, o pikas siektų 4,42kW (27 pav.). Realizuotos sistemos nauda dar labiau pastebima lyginant ją su teorine sistema, kurioje šviesa įjungiama ir išjungiama jungikliais. Tokia sistema teoriškai per 8 valandų darbo dieną suvartotų 33,52kWh.

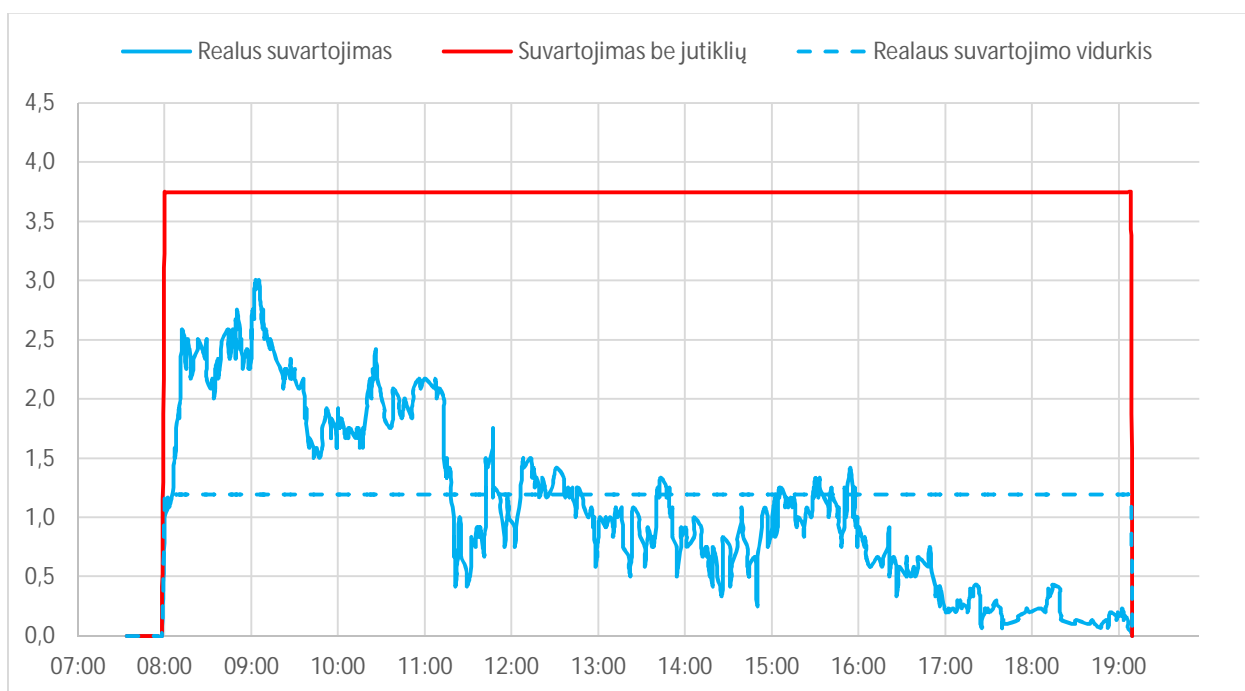
Tiriamą dieną, per 12 valandų, kurias biuro patalpose veikė apšvietimas buvo sutaupyta 15,83kWh elektros energijos lyginant su identiška sistema be ryškumo reguliavimo ir 44,64kWh elektros energijos lyginant su teorine sistema.



27 pav. Elektros energijos suvartojimas apšvietimui

Atsižvelgiant į tai, kad eksperimento metu elektros energijos kaina buvo 0,122 eur/kWh, tai per dieną buvo sutaupyta 1,93 euro lyginant su sistema be ryškumo reguliavimo, ir 4,45 euro lyginant su teorine sistema. Kadangi sistemos kaina yra apie 15 tūkstančių eurų, tai su priimant, kad KNX įranga yra maždaug dvigubai brangesnė už to paties gamintojo ne KNX standarto atitikmenį, sistema atsipirktų per maždaug 9 metus. Iš skaičiavimų matome, kad sistemos atsipirkimas, ją naudojant tik apšvietimui yra ganėtinai ilgas, todėl tikslinga KNX sistema integruoti kartu su programuojamu loginiu valdikliu, ir panaudoti įrengtus būvio daviklius kitoms sistemoms valdyti.

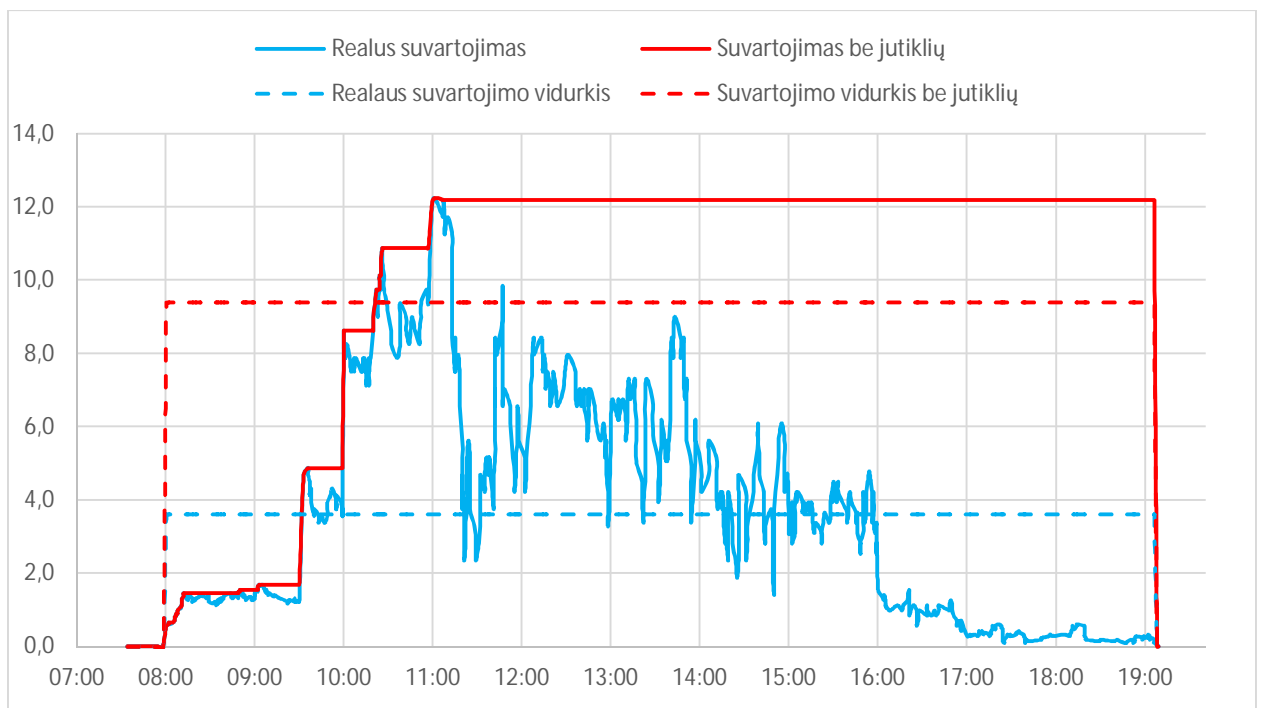
Žemiau nagrinėjamame grafike (28 pav.) realus, eksperimentiškai gautas elektros energijos suvartojimas ventiliacijai lyginamas su teoriniu priimant, kad sistemoje palaikomas toks pat slėgis, kaip ir realioje sistemoje, tačiau vėdinimas nėra sumažinamas patalpose, kur nėra personalo.



28 pav. Elektros energijos suvartojimas ventiliacijai.

Pagal eksperimentiškai surinktus duomenis matyti, kad energijos suvartojimas realioje sistemoje yra gerokai mažesnis, nei teorinės sistemos. Realios sistemos elektros energijos suvartojimo vidurkis siekia 1,2kW, kai maksimali sistemos galia yra 11,2kW. Teorinės sistemos suvartojimas yra pastovus ir lygus 3,8kW. Taigi per 8 darbo valandas realizuota sistema sutaupo 20,8kWh elektros energijos.

Žemiau pateiktame grafike (29 pav.) analizuojamas elektros energijos suvartojimas patalpų kondicionavimui. Bendra tiriamos kondicionavimo sistemos galia yra 60kW. Eksperimentiškai gautas elektros energijos suvartojimas lyginamas su teoriniu priimant, kad kondicionierius, kaip ir apšvietimas, patalpoje įjungimas atėjus darbuotojams, o išjungimas paskutiniam darbuotojui paliekant patalpas.



29 pav. Elektros energijos suvartojimas patalpų kondicionavimui.

Renkant duomenis pastebėti dideli energijos suvartojimo šuoliai, galėjo atsirasti dėl langų atidarymo patalpose su veikiančiais kondicionieriais, kadangi tokiu atveju, kondicionierius yra išjungiamas.

Eksperimentiškai gautas elektros energijos suvartojimas patalpų šaldymui svyruoja, tačiau pastebima tendencija, kad didžiausias suvartojimas yra nuo 10 iki 14 valandos, tai yra kai temperatūra lauke aukščiausia. Energijos suvartojimo vidurkis yra 3,6 kW, kai tuo tarpu teorinės sistemos suvartojimo vidurkis yra 9,4kW. Remiantis šiais duomenimis matoma, kad per valandą yra sutaupoma 5,8kWh, o per 8 valandų darbo dieną 46,4kWh elektros energijos.

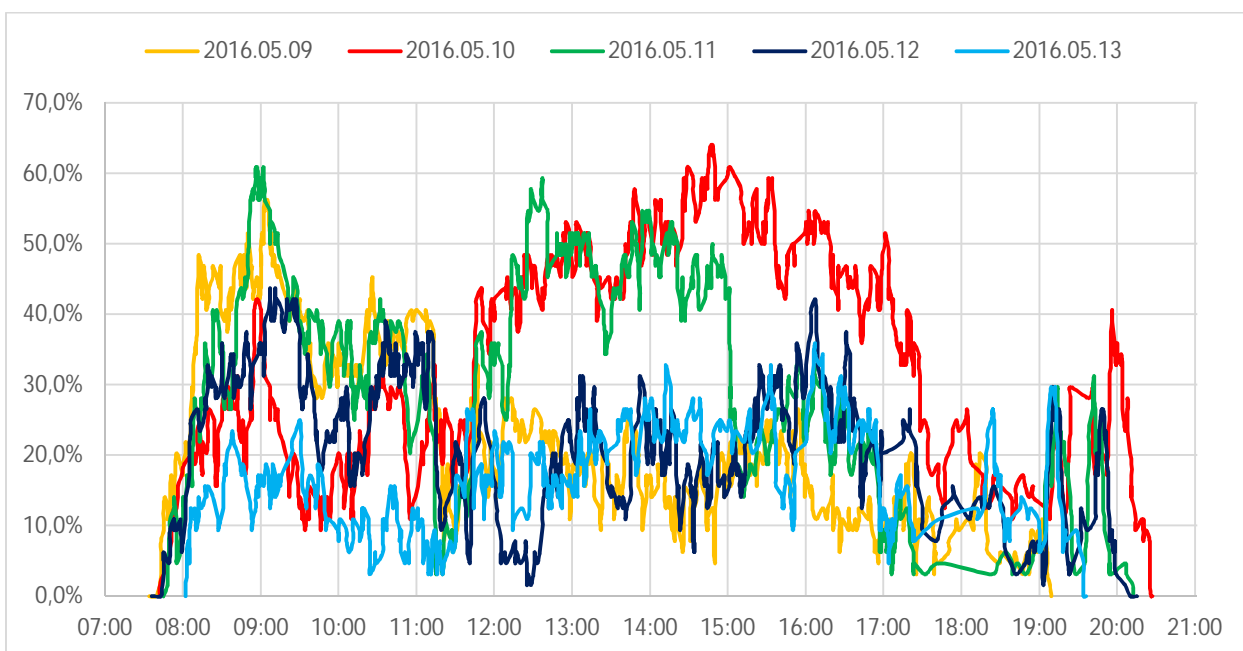
Paskaičiavus bendrą visų sistemų sutaupytą energiją, pastebėta, kad sutaupoma apie 70% elektros energijos, vietoj 180,2kWh suvartota 63,24kWh (1 lent.). Tyrimo metu realizuotos sistemos kaina siekė 15 tūkstančių eurų, todėl sistema atsipirks po 3 su puse metų.

	Elektros suvartojimas apšvietimui, kWh per 12 valandų.	Elektros suvartojimas ventiliacijai, kWh per 12 valandų.	Elektros suvartojimas šaldymui, kWh per 12 valandų	Visa suvartota elektros energija, kWh per 12 valandų.
Realizuota sistema su KNX integracija	5,64	14,4	43,2	63,24
Sistema su būvio jutikliais apšvietimui	21,48	45,6	112,8	180,2
Sistema be būvio jutiklių	49,44	45,6	112,8	207,84

1 lent. Elektros energijos suvartojimo palyginimas.

Siekiant kiek įmanoma geriau iširti realizuotą sistemą ir nustatyti ar vienos dienos statistika yra pakankamai tiksli, bei atspindi sistemos elektros energijos suvartojimą, taip pat buvo atlikti 5 ir 20 dienų sistemos tyrimai.

Žemiau pateiktame grafike (30 pav.) galime pastebėti, kad biuro patalpų užimtumas darbo dienomis yra skirtingas. Taip pat pastebimas skirtingas darbo dienos ilgis, todėl ilgesnio laiko statistika yra reikšminga ir gali parodyti kiek kitokius sistemos efektyvumo rodiklius.



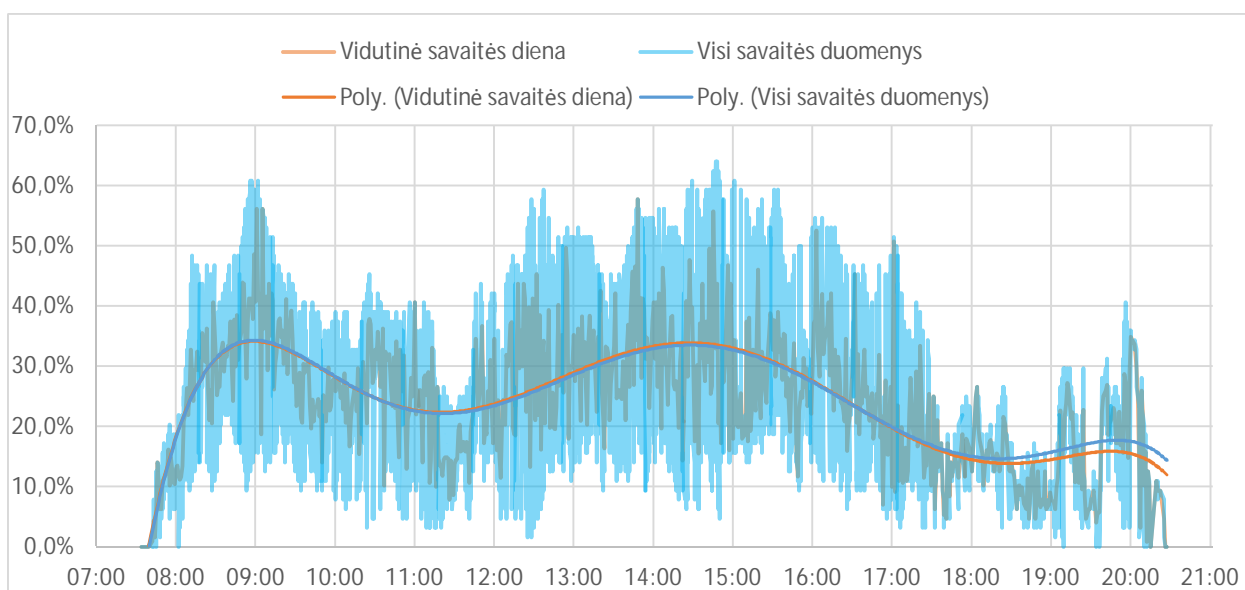
30 pav. Biuro patalpų užimtumo palyginimas.

Analizuojant surinktus duomenis pastebėta, kad darbo dienos pabaigoje, nuo 19 valandos pastebimas biuro patalpų užimtumo padidėjimas. Šis padidėjimas, parodo patalpų valymo personalo darbą biuro patalpose.

Per 5 tirtas darbo dienas pastebėta, kad biuro patalpų užimtumas neviršija 65%.

Dėl didelio per 5 dienas surinkto duomenų kiekio, apie 100 tūkstančių eilučių, nuspręsta taip pat supaprastinti duomenis apie biuro užimtumą, imant duomenų vidurkius minutės tikslumu.

Siekiant įsitinkinti ar toks duomenų supaprastinimas nepakenks tyrimo duomenims buvo atliktas duomenų aproksimacijos šeštojo laipsnio polinomu ir palygintos gautos kreivės. Buvo nustatyta, kad kreivės yra artimos viena kitai ir neturės didelės įtakos tolimesniam tyrimui, todėl tyrimui supaprastinti galima naudoti vidutines minutės reikšmes.



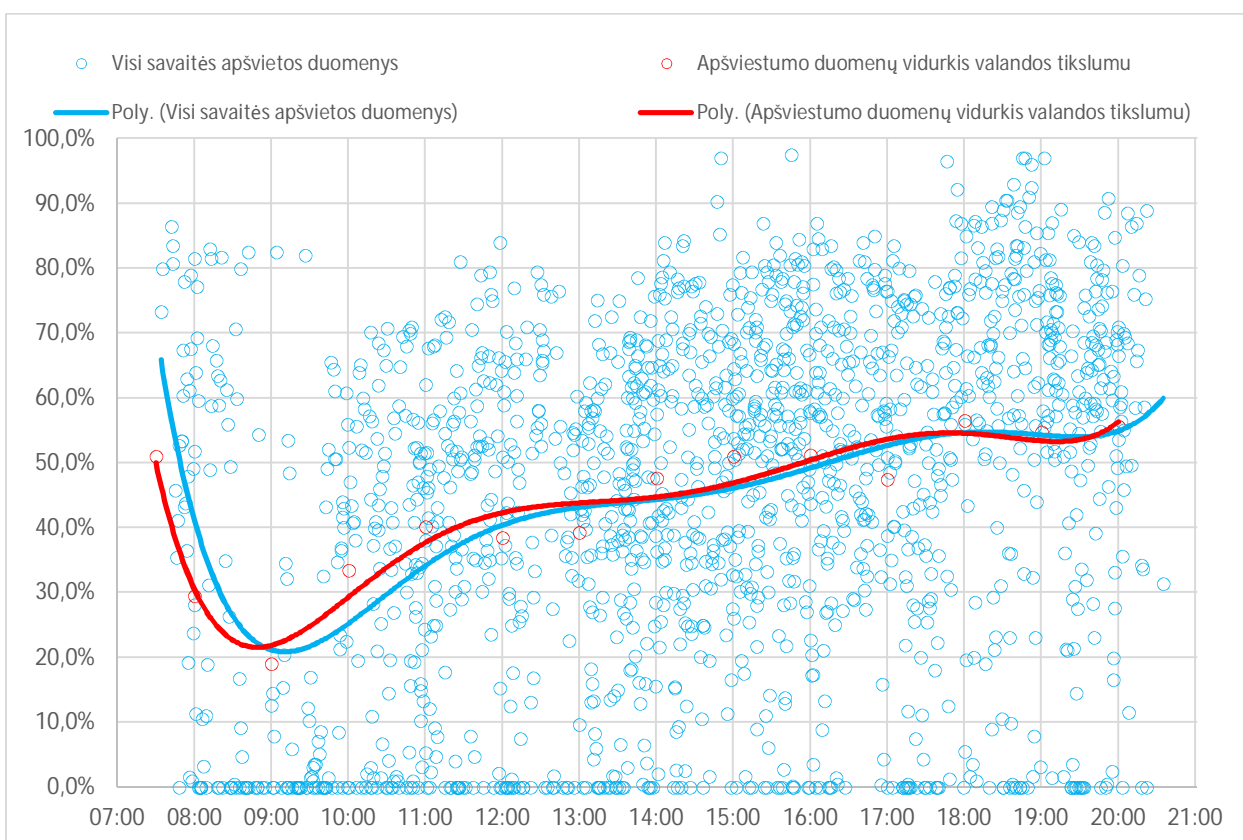
31 pav. Vidutinis biuro patalpų užimtumas per 5 dienas.

Analizuojant surinktus duomenis pastebėta, kad duomenų nukrypimai yra mažesni, todėl 5 dienų statistiniai duomenys turėtų tiksliau apibrėžti energetinį sistemos naudingumą.

Iš surinktų duomenų matyti, kad vidutinę darbo savaitės dieną biuro patalpų užimtumas siekia apie 35% (31 pav.). Grafike aiškiai pastebimas biuro patalpų užimtumo svyravimas, taip pat galima išskirti pietų metą, bei laiką, kada biuro patalpos yra valomos. Nors darbo laikas penktadieniais yra trumpesnis, iki 15:45, didelių išskirtinimų nepastebima.

Žemiau pateiktame grafike (32 pav.) tiriamas reguliuojamo ryškumo šviestuvų reguliatorių apkrovimas. Dėl didelio duomenų kiekio, 100 tūkstančių eilučių per 5 darbo dienas, buvo nuspręsta duomenis supaprastinti ir naudoti vidutines valandos apkrovimo reikšmes.

Siekiant įsitinkinti ar toks duomenų supaprastinimas nepakenks tyrimo duomenims buvo atliktas duomenų aproksimacijos šeštojo laipsnio polinomu ir palygintos gautos kreivės. Buvo nustatyta, kad kreivės yra artimos viena kitai ir neturės didelės įtakos tolimesniam tyrimui, todėl tyrimui supaprastinti galima naudoti vidutines valandos reikšmes.



32 pav. Vidutinis šviestuvų ryškumo poreikis per 5 dienas.

Palydinus 1 ir 5 dienų grafikus pastebėta, kad atliekant ilgesnio laikotarpio duomenų tyrimą, kreivės svyravimai yra mažesni, tačiau panašūs, pastebimas didelis šviestuvų ryškumo sumažėjimas apie 9 valandą ryto, bei laipsniškas ryškumo didėjimas dienos bėgyje.

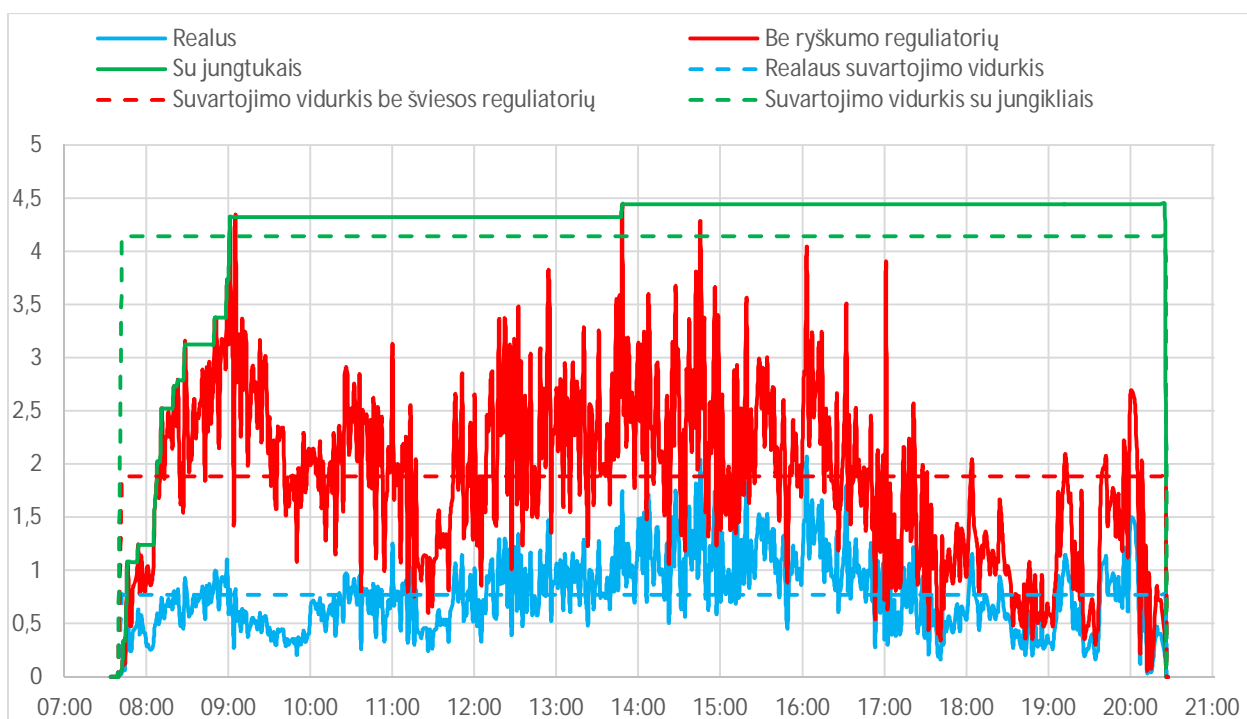
Elektros energijos suvartojimo apšvietimui grafike palygintas elektros energijos suvartojimas, realizuotoje sistemoje, bei teorinėse sistemose, kurių viena paremta būvio jutikliais be apšvietimo reguliavimo, kita jungikliais, priimant, kad šviesa yra įjungama darbuotojams atėjus į patalpas ir išjungama paskutiniam darbuotojui paliekant patalpas.



Grafike (33 pav.) palygintos trys sistemos ir jų vidutinis elektros energijos vartojimas. Realios, eksperimentiškai tirtos, sistemos energijos vartojimo vidurkis 0,77 kW, vadinasi per 8 darbo valandas sistema suvartoja apie 6,16kWh elektros energijos, kai tuo tarpu tiriant vienos dienos statistiką nustatytas 3,76kWh suvartojimas. Kita vertus sistema be apšvietimo reguliavimo per 8 darbo valandas sunaudotų 15,14kWh, o teorinė sistema su jungikliais per 8 valandų darbo dieną suvartotų 33,2kWh.

Tiriant per 5 darbo dienas surinktus duomenis pastebėta, kad vidutinis biuro patalpų užimtumo laikas trunka 13 valandų, tai yra 1 valanda ilgiau, nei nustatyta atliekant 1 dienos duomenų analizę.

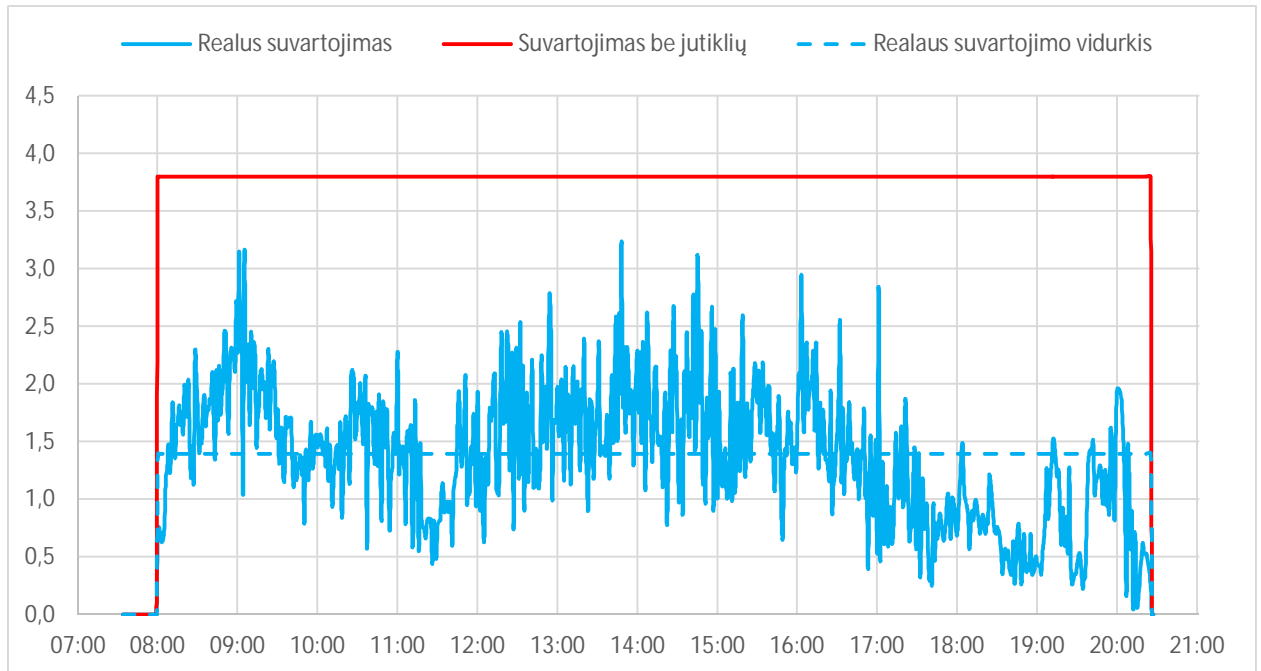
Tiriamą vidutinę dieną, per 13 valandų, kurias biuro patalpose veikė apšvietimas buvo sutaupyta 14,6kWh elektros energijos lyginant su identiška sistema be ryškumo reguliavimo ir 43,94kWh elektros energijos lyginant su teorine sistema.



33 pav. Elektros energijos suvartojimas apšvietimui

Įvertinus surinktus duomenis nustatyta, kad realizuota sistema per vidutinę darbo dieną sutaupo apie 1,78 euro lyginat su sistema be ryškumo reguliavimo ir apie 4,92 euro lyginant su teorine sistema, kur apšvietimas įjungimas ir išjungiamas jungikliais. Pagal surinktus duomenis sistema atsipirktų per maždaug 8 su puse metų, ją naudojant tik apšvietimo valdymui.

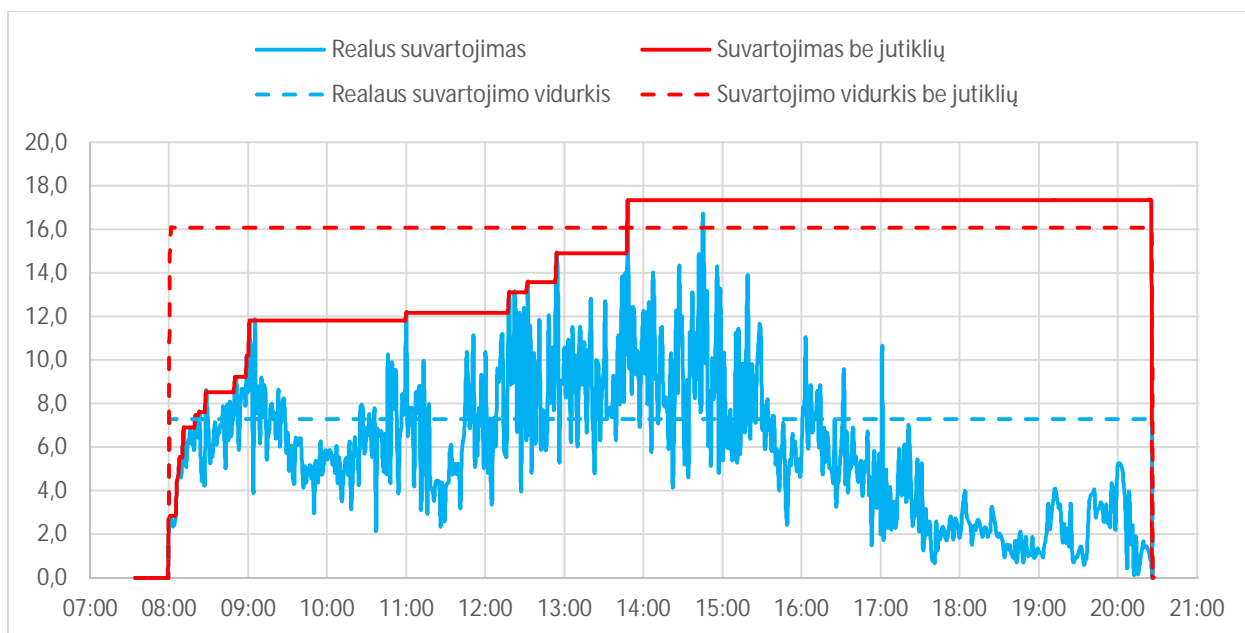
Žemiau nagrinėjame grafike (34 pav.) eksperimentiškai išmatuotas elektros energijos suvartojimas patalpų vėdinimui lyginamas su teoriniu priimant, kad sistemoje palaikomas toks pat slėgis, kaip ir realioje sistemoje, tačiau vėdinimas nėra sumažinamas patalpose, kur nėra personalo.



34 pav. Elektros energijos suvartojimo vidurkis vėdinimui.

Analizuojant surinktus duomenis pastebėta, kad energijos suvartojimo grafikas, labai nestabilus, svyruojantis. Taip yra tikriausiai dėl to, kad čia naudojamas dienos vidurkis, o ne viena diena, todėl dėl skirtingo biuro patalpų apkrovimo skirtingomis dienomis ir atsiranda skirtingas elektros energijos suvartojimas. Realios sistemos elektros energijos suvartojimo vidurkis siekia 1,4kW. Teorinės sistemos suvartojimas yra pastovus ir lygus 3,8kW. Taigi per 8 darbo valandas realizuota sistema sutaupo 19,2kWh elektros energijos. Pastebima, kad tiek 1 tiek 5 dienų statistika yra panaši viena į kitą, ir skiriasi tik 15%, kai tuo tarpu duomenys apie elektros energijos suvartojimą skyrėsi beveik 40%.

Tiriant surinktus duomenis apie elektros energijos suvartojimą patalpų šaldymui, pastebimas didelio dažnio grafiko (35 pav.) svyravimas, kuris atsirado dėl langų atidarymo šaldomose patalpose. Pateiktame grafike eksperimentiškai gautas elektros energijos suvartojimas lyginamas su teoriniu priimant, kad kondicionierius, kaip ir apšvietimas, patalpoje įjungimas atėjus darbuotojams, o išjungimas paskutiniam darbuotojui paliekant patalpas.



35 pav. Elektros energijos suvartojimas patalpų kondicionavimui.

Realus elektros energijos suvartojimas patalpų šaldymui svyruoja, tačiau pastebima tendencija, kad net ir paėmus 5 dienų vidurkį didžiausias suvartojimas yra nuo 10 iki 16 valandos, taip pat pastebimas staigus energijos suvartojimo kritimas pietų metu, kada darbuotojai palieka patalpas. Energijos suvartojimo vidurkis yra 7,3 kW, kai tuo tarpu teorinės sistemos suvartojimo vidurkis yra net 16,1kW. Remiantis šiais duomenimis matoma, kad per valandą yra sutaupoma 8,8kWh, o per 8 valandų darbo dieną 70,4kWh elektros energijos.

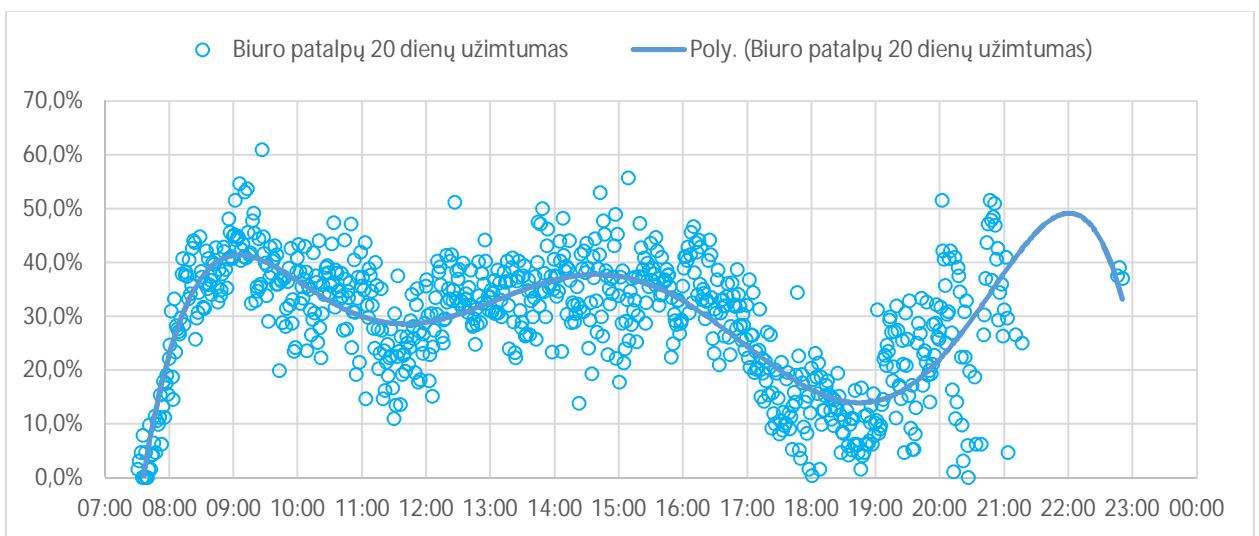
Paskaičiavus bendrą visų sistemų sutaupytą energiją, pastebėta, kad sutaupoma apie 57% elektros energijos, vietoj 283,61kWh suvartota 123,11kWh (2 lent.). Tyrimo metu realizuotos sistemos kaina siekė 15 tūkstančių eurų, todėl sistema atsipirks po 1,5 metų. Nors pagal 5 dienų vidurkį energijos ir sutaupoma mažiau, tačiau dėl didesnio suvartojamo elektros energijos kiekio visoms sistemoms ir 1 valanda ilgesnio vartojimo sistema atsipirks greičiau.

	Elektros suvartojimas apšvietimui, kWh per 13 valandų.	Elektros suvartojimas ventiliacijai, kWh per 13 valandų.	Elektros suvartojimas šaldymui, kWh per 13 valandų	Visa suvartota elektros energija, kWh per 13 valandų.
Realizuota sistema su KNX integracija	10,01	18,2	94,9	123,11
Sistema su būvio jutikliais apšvietimui	24,61	49,4	209,3	283,61
Sistema be būvio jutiklių	53,95	49,4	209,3	312,65

2 lent. Elektros energijos suvartojimo palyginimas.

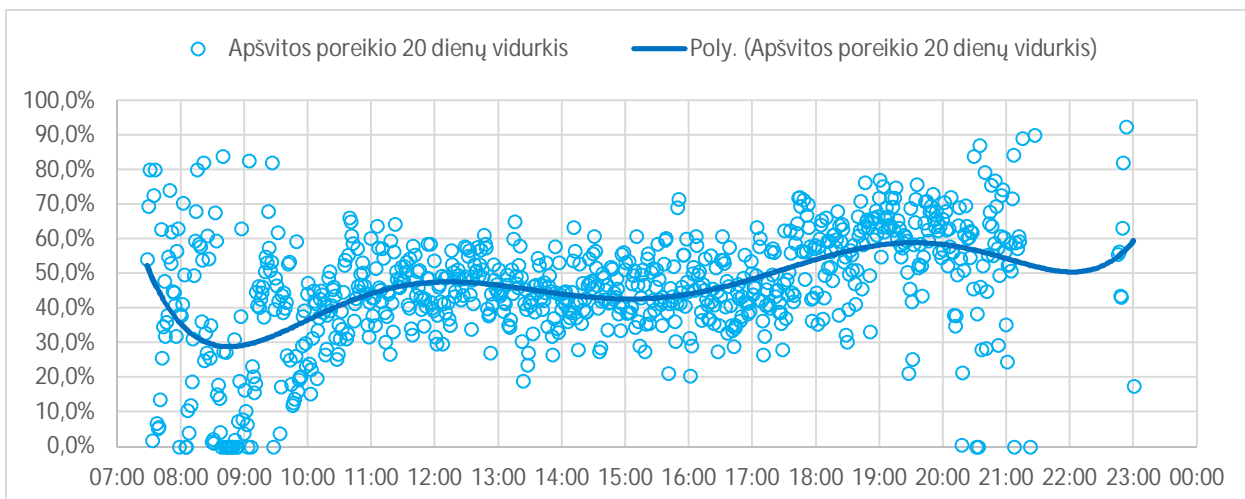
Gavus skirtingus rezultatus tiriant 1 ir 5 dienų vidurkio duomenis, bendras realios sistemos per valanda suvartojamas elektros energijos kiekis skiriasi 45%, nuspręsta, kad 20 darbo dienų sistemos analizė yra reikalinga patikrinti, kurie duomenys geriausiai atspindi biuro patalpų inžinerinių sistemų suvartojamos elektros energijos kiekius ir efektyvumą.

Iš surinktų duomenų matyti, kad 20 dienų vidutinę dieną biuro patalpų užimtumas siekia apie 40% (36 pav.). Grafike panašus į 5 dienų, tačiau ryškesnis biuro patalpų užimtumo padidėjimas darbo dienos pabaigoje, kuomet patalpos yra valomos.



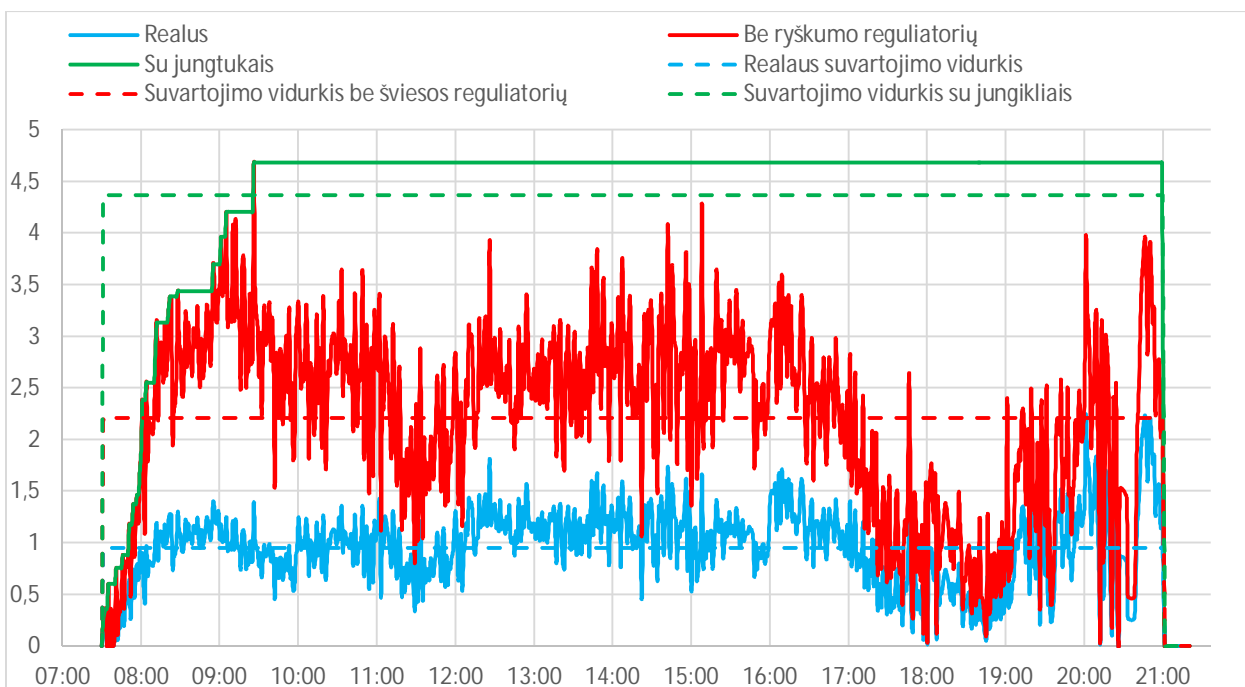
36 pav. Vidutinis biuro patalpų užimtumas per 20 dienų.

Kaip ir biuro patalpų užimtumo grafikas, biuro apšvietimo poreikio grafikas (37 pav.), panašus į 5 dienų, tačiau svyravimai dar mažesni, dėl didesnio stebimo laikotarpio dedamųjų skaičiaus. Šviestuvų ryškumo vidurkis imat 20 dienų laikotarpio vidurkį siekia, apie 60%, kai tuo tarpu, 5 dienų vidurkis siekė apie 58%, taigi grafikai labai artimi vienas kitam.



37 pav. Vidutinis šviestuvų ryškumo poreikis per 20 dienų.

Žemiau pateiktame grafike (38 pav.) nagrinėjamas elektros energijos suvartojimą imant 20 dienų laikotarpio, vienos dienos vidurkį. Iš grafiko galime pastebėti, kad eksperimentiškai surinkti duomenys apie realizuotos sistemos elektros energijos suvartojimą biuro apšvietimui, aiškiai atspindi patalpų užimtumą.

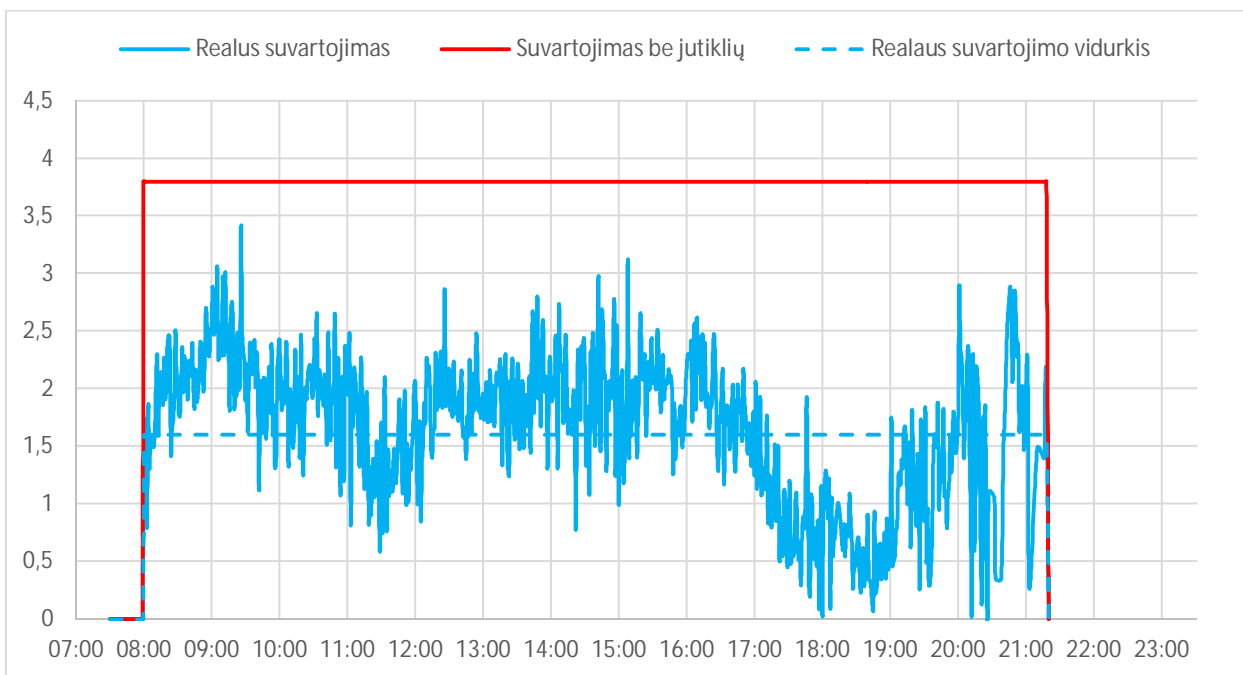


38 pav. Elektros energijos suvartojimas apšvietimui

Eksperimentiškai testuotos sistemos energijos vartojimo vidurkis 0,96 kW, vadinasi per 8 darbo valandas sistema suvartoja apie 7,68kWh elektros energijos. Tokia pati

sistema be apšviestumo reguliavimo per 8 darbo valandas sunaudotų 17,68kWh elektros energijos, o teorinė sistema su jungikliais per tą patį laikotarpį suvartotų 34,96kWh.

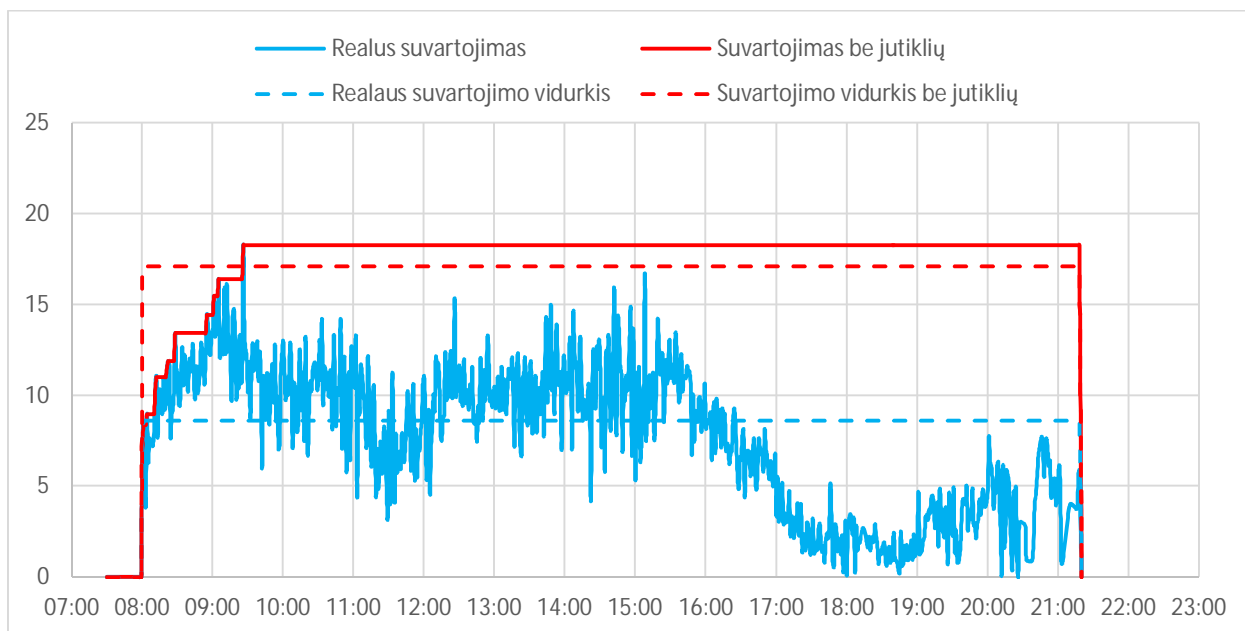
Nagrinėjant eksperimentiškai gautus duomenis apie elektros energijos suvartojimą ventiliacijos sistemai (39 pav.), pastebėta, kad vidutinis elektros energijos suvartojimas siekia, 1,6kWh per valandą, kai tuo tarpu 1 ir 5 dienų statistika atitinkamai parodė, 1,2kWh ir 1,4kWh suvartojimą.



39 pav. Elektros energijos suvartojimo vidurkis vėdinimui.

Atsižvelgiant į eksperimentiškai gautus duomenis, pastebime, kad per 8 darbo valandas realizuota sistema sutaupo 17,6kWh elektros energijos, o per šioms biuro patalpoms tipinę darbo dieną net 28,6kWh elektros energijos. Tenka pastebėti, kad dėl būvio davikliams nustatyto išjungimo uždelsimo, vakare, kai biuras yra valomas keleto asmenų, kurie dideliu tempu keičia darbo vietą biure, elektros energijos suvartojimas siekia net 2,8kWh. Tačiau sumažinus išjungimo uždelsimą, gali kilti problema dėl tinkamo ventiliacijos valdymo, kadangi judėjimas patalpoje nėra didelis.

Žemiau pateiktame grafike (40 pav.) analizuojamas elektros energijos suvartojimas patalpų kondicionavimui.



40 pav. Elektros energijos suvartojimas patalpų kondicionavimui.

Eksperimentiškai gautas elektros energijos suvartojimas patalpų šaldymui svyruoja, elektros energijos suvartojimo svyravimas šaldymui panašus į elektros energijos suvartojimą ventiliacijai. Taip gali būti dėl to, kad abiem sistemoms valdyti naudojami tie patys būvio sensoriai.

Eksperimentiškai gautas realios sistemos energijos suvartojimo vidurkis yra 8,6 kWh per valandą, kai tuo tarpu teorinės sistemos suvartojimo vidurkis yra 17,1kWh per valandą. Remiantis šiais duomenimis matoma, kad per valandą yra sutaupoma 8,5kWh, o per 8 valandų darbo dieną 68kWh elektros energijos.

Paskaičiavus bendrą visų sistemų sutaupyta energija, pastebėta, kad sutaupoma apie 50% elektros energijos, vietoj 300,43kWh suvartota 145,08kWh (3 lent.). Tyrimo metu realizuotos sistemos kaina siekė 15 tūkstančių eurų, elektros energijos kaina buvo 0,112 euro už kilovatvalandę, todėl atsižvelgiant į tai, kad KNX sistemos elementai yra dvigubai brangesni už atitinkamus ne KNX elementus, ir, kad per metus biure yra dirbama apie 260 dienų, sistema atsipirks po apytiksliai 1,5 metų.



	Elektros suvartojimas apšvietimui, kWh per 13 valandų.	Elektros suvartojimas ventiliacijai, kWh per 13 valandų.	Elektros suvartojimas šaldymui, kWh per 13 valandų	Visa suvartota elektros energija, kWh per 13 valandų.
Realizuota sistema su KNX integracija	12,48	20,8	111,8	145,08
Sistema su būvio jutikliais apšvietimui	28,73	49,4	222,3	300,43
Sistema be būvio jutiklių	56,81	49,4	222,3	328,51

3 lent. Elektros energijos suvartojimo palyginimas.

Atlikus 20 dienų sistemos analizę pastebėta, kad 5 dienų sistemos statistika yra artima 20 dienų statistikai. Žinoma ilgesnio laikotarpio eksperimentas, gali parodyti kiek kitokius rezultatus, dėl skirtingų oro, natūralaus apšvietimo, darbo laiko pradžios ir biuro užimtumo sąlygų. Tokiu atveju sistemos atsiperkamumas gali prasitęsti ir ilgesniam laikotarpiui.

## 4. Išvados

Nors automatizuotos pastatų valdymo sistemos nėra naujovė rinkoje, jų pritaikymo galimybės dar nėra visiškai ištirtos. Rinkoje egzistuoja didelė įvairovė skirtingų standartų, palaikančių didelę įvairovę buitinių prietaisų. Šios sistemos plačiai naudojamos ir nuolat tobulinamos. Išmaniųjų valdymo sistemų saugumas vis dar yra didžiulė problema. Tai ypač pasireiškia kalbant apie privačius asmenų duomenis, duomenų rinkimą ir saugojimą. Nors pačios sistemos nėra nepažeidžiamos, jos sugeba pasirūpinti fiziniu žmogaus saugumu, stebėti jo veiksmus ir esant reikalui įsikišti siekiant išvengti galimos nelaimės.

Sistemoje panaudota programuojamo loginio valdiklio ir KNX sintezė suteikia galimybę naudoti KNX sistemos duomenis, ją valdyti, be papildomos brangios įrangos. Taip pat yra taupoma instaliacijos atžvilgiu, nes vienos KNX sistemos elementai panaudojami ir ACS500 valdymo sistemoje, inžinerinėms sistemoms valdyti. Algoritmai sudaryti taip, kad būtų užtikrintas biuro darbuotojų komfortas, tuo pat metu kiek įmanoma taupant energiją, kas yra labai svarbu ilgalaikiai užtikrinant mažas pastato eksploatacijos sąnaudas.

Atlikus eksperimentą pastebėta, kad biuro patalpų valdymui panaudojus programuojamą loginį valdiklį su integruota KNX sistema, apšvietimui sutaupoma 40%, patalpų ventiliacijai 41%, o šaldymui, net apie 75% elektros energijos, taigi bendras sutaupomas elektros energijos kiekis yra apie 50%.

Remiantis eksperimentiškais duomenimis, atsižvelgiant į tai, kad KNX sistemos elementai yra dvigubai brangesni už atitinkamus ne KNX elementus, ir, kad per metus biure yra dirbama apie 260 dienų, sistema atsipirks po apytiksliai 1,5 metų.

## 5. Literatūros sąrašas

1. **Interneto svetainė:**

<https://library.e.abb.com/public/dfcec709c79765c683257d4e00373751/2CSC500006D0203%20-%20Access%20Control%20and%20hotel%20solutions.pdf>

ABB KNX solutions for hotel applications. Žiūrėta: 2015-09-23.

2. **Manfred Mavenkamp, Ingo Beinaar, Christian Eder.** Model-based daylight-dependent light control using KNX. Bremen Institute for Informatics and Automation. 2014.
3. **Catalin Bujdei, Sorin Aurel Moraru.** Ensuring comfort in office buildings. Seventh International Conference on Intelligent Environments. 2011.
4. **Kotz D, Avancha S, Baxi A.** A privacy framework for mobile health and home-care systems. In: Proceedings of the First ACM workshop on security and privacy in medical and home-care systems, ACM, pp 1–12. 2009.
5. **Mohsen Amiribesheli, Asma Benmansour, Abdelhamid Bouchachia.** A review of smart homes in healthcare. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2015.
6. **Manfred Mavenkamp, Ingo Beinaar, Christian Eder.** KNX-based Energy Efficient Heating and Lighting in Educational Buildings. Bremen Institute for Informatics and Automation. 2014.
7. **Interneto svetainė:** [http://www.knx.org/fileadmin/downloads/08%20-%20KNX%20Flyers/Energy%20Efficiency%20With%20KNX/Energy\\_Efficiency\\_With\\_KNX\\_English.pdf](http://www.knx.org/fileadmin/downloads/08%20-%20KNX%20Flyers/Energy%20Efficiency%20With%20KNX/Energy_Efficiency_With_KNX_English.pdf)  
Energy Efficiency with KNX. Žiūrėta: 2015-08-07.
8. **ZigBee Alliance.** ZigBee Specification FAQ. 2013.
9. **Syed Faiz Ahmed.** Energy conservation and management system using efficient building automation. AIP Publishing. 2014.
10. **Interneto svetainė:** [www.davehouston.net](http://www.davehouston.net) X-10 RF Protocol. Žiūrėta: 2015-09-23.
11. **Interneto svetainė:** [http://www.knx.org/media/docs/Flyers/KNX-Basics/KNX-Basics\\_en.pdf](http://www.knx.org/media/docs/Flyers/KNX-Basics/KNX-Basics_en.pdf)  
KNX Basics. Žiūrėta: 2015-09-22.
12. **Interneto svetainė:** <http://training.clipsal.com/downloads/OpenCBus/OpenCBusProtocolDownloads.html>  
Open C-Bus Serial Protocol Documents. Žiūrėta: 2015-09-23.

13. **David Irwin, Anthony Wu, Sean Barker, Aditya Mishra, Prashant Shenoy, and Jeannie Albrecht.** Exploiting Home Automation Protocols for Load Monitoring in Smart Buildings. BuildSys'11 International Conference on Embedded Systems for Energy-Efficient Buildings. 2011.
14. **Pedro Domingues, Paulo Carreira, Renato Vieira, Wolfgang Kastner.** Building automation systems: Concepts and technology review. Elsevier B.V. 2015.