VILNIUS TECH
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

28-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis" teminė konferencija
Proceedings of the 28th Conference for Junior Researchers "Science – Future of Lithuania"

DARNI APLINKA / SUSTAINABLE ENVIRONMENT

2025 m. balandžio 24 d., Vilnius, Lietuva
24 April 2025, Vilnius, Lithuania

ISSN 2029-7157 / eISSN 2029-7149
eISBN 978-609-476-390-8
https://doi.org/10.3846/da.2025.028

Pastatų energetika / Energy for Buildings

https://vilniustech.lt/346238

DIRBTINIS INTELEKTAS PASTATŲ VALDYMO SISTEMOSE: DUOMENŲ IR SAUGUMO IŠŠŪKIŲ APŽVALGA

Dalia Mohammed Talat Ebrahim ALI[1], Violeta MOTUZIENĖ[2*]

[1]*Lietuvos energetikos institutas, Branduolinių įrenginių saugos laboratorija, Kaunas, Lietuva*
[2]*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Aplinkos inžinerijos fakultetas, Pastatų energetikos katedra, Vilnius, Lietuva*

**El. paštas violeta.motuziene@vilniustech.lt*

Gauta 2025 m. vasario 24 d.; priimta 2025 m. kovo 17 d.

Santrauka. Siekiant didinti pastatų energinį efektyvumą vis daugiau dėmesys kreipiamas į pastatų išmanumą ir energiją vartojančių sistemų valdymo efektyvumo gerinimą. Dirbtinio intelekto integravimas į pastato mikroklimato sistemų valdymą yra inovatyvus būdas, leidžiantis sutaupyti energijos. Visgi čia svarbu ne tik dirbtinio intelekto modelio pasirinkimas, bet kritiškai svarbus elementas yra duomenys – jų kiekis, kokybė ir patikimumas, prieinamumas bei kiti aspektai, tarp jų ir asmeninių duomenų panaudojimo etiniai aspektai. Šiame straipsnyje yra apžvelgiami su duomenimis susiję iššūkiai, su kuriais susiduriama siekiant panaudoti dirbtinį intelektą šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo (ŠVOK) sistemų valdymui tobulinti, bei pateikiamos įžvalgos ir rekomendacijos.

Reikšminiai žodžiai: duomenys, dirbtinis intelektas (DI), energija, oro kondicionavimas, pastatai, pastatų valdymo sistemos, privatumas, saugumas, šildymas, vėdinimas.

1. Įvadas

Pastatams tenka 40 % galutinės Europos Sąjungos (ES) suvartojamos energijos ir 36 % joje išmetamo su energija susijusio šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio ir vis dėlto 75 % ES pastatų energiją vis dar vartoja neefektyviai (Europos Parlamentas ir Taryba, 2024). Jau daugelį metų įvairiomis priemonėmis stengiamasi šį vartojimą sumažinti, tačiau jis lieka beveik nepakitęs, nes dedamos pastangos didina energijos vartojimo efektyvumą, tačiau jas atsveria padidėjusios energijos sąnaudos dėl naujų būstų statybos, augančio buitinių ir IT bei telekomunikacijų prietaisų skaičiaus, populiarėjančio oro kondicionavimo, klimato pokyčių ir kitų priežasčių (Odyssee-Mure, 2024)

Prievolė valstybėms narėms skatinti išmaniųjų energijos valdymo sistemų diegimą, kurios galėtų rinkti ir analizuoti duomenis apie energijos suvartojimą, pabrėžiama ir Pastatų energinio naudingumo direktyvoje (Europos Parlamentas ir Taryba, 2024) . Taigi, be tradicinių priemonių, susijusių su naujų pastatų projektavimu ir renovavimu, reikalinga daugiau dėmesio skirti inžinerinių sistemų valdymui, nes, kaip rodo daugybė tyrimų, net ir nauji pastatai dažnai yra neefektyviai eksploatuojami, dėl to jų energijos suvartojimas yra daug didesnis, nei buvo suprojektuota (Motuzienė et al., 2024; Shi et al., 2019; Yayla et al., 2022). Ypač tai aktualu šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo (ŠVOK) sistemoms, nes jos yra būtinos žmogui tinkamam šiluminiam komfortui ir oro kokybei užtikrinti ir jos stipriai lemia pastato energijos suvartojimą, ypač naujuose pastatuose, kurie yra sandarūs ir gerai apšiltinti. Šių sistemų valdymas dažnai reikalauja ne tik įrangos, tačiau ir aukštos pastatus prižiūrinčio personalo kvalifikacijos, tai dažnai yra didelė problema, nes praktikoje susiduriama su specialistų trūkumu. Todėl pastato priežiūra, net ir turint pastato automatizuotą valdymo sistemą (angl. *Building Management System* – BMS) su daugybe sukauptų duomenų apie pastato mikroklimatą ir energijos suvartojimą, dažnai pavirsta tik į prevencinę, susijusią su įrangos funkcionavimo užtikrinimu. Kaip pavyzdys 1 paveiksle pateikiami realaus viešosios paskirties pastato vėdinimo sistemos veikimo duomenys iš BMS sistemos dviem atsitiktinai

© 2025 Autoriai. Leidėjas Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Šis straipsnis yra atvirosios prieigos straipsnis, turintis Kūrybinių bendrijų (Creative Commons) licenciją (CC BY 4.0), kuri leidžia neribotą straipsnio ar jo dalių panaudą su privaloma sąlyga nurodyti autorių ir pirminį šaltinį.

parinktoms dienoms – vasario 21 d. (1 paveikslas, a) ir kovo 13 d. (1 paveikslas, b). Iš paveikslo matyti, kad sistema veikia neįprastai abiem pavaizduotais atvejais: vasario 21 d. pradėjus tiekti orą 6:40 h ryto, tiekiamo oro temperatūra buvo pasiekta tik po 9:00 h ir tame laiko intervale ji svyruoja nepriimtinose ribose, kai kuriais momentais nukrenta apie 12 °C žemiau nustatytosios. Kovo 13 d. tiekiamo oro temperatūros svyravimai matomi per visą dieną, kai temperatūra staiga ir ne vieną kartą nukrenta iki 14,3–13,1 °C.

Tokie pavyzdžiai rodo, kaip svarbu informaciją nuolat analizuoti ir šalinti neteisingo ir (ar) neefektyvaus veikimo priežastis bei tikrinti jutiklių veikimą, o kartais net jų montavimo vietą.

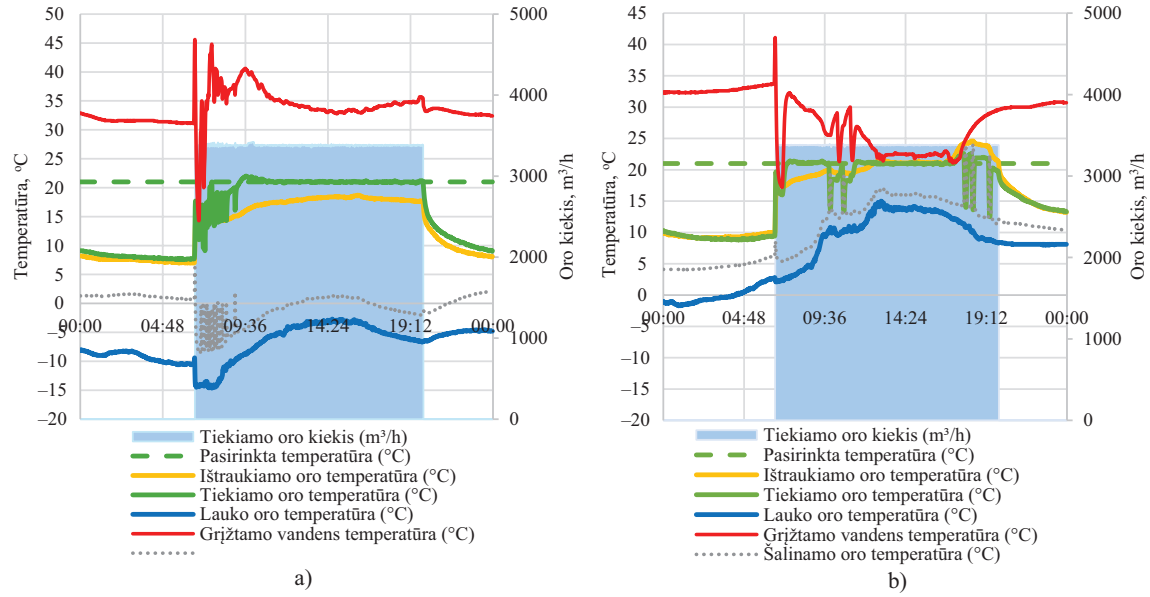
Pastatai – tai sudėtinga, dinamiška aplinka, kurioje šilumos srautai nuolat kinta dėl žmonių pasyvios ir aktyvios elgsenos bei lauko oro sąlygų. ŠVOK sistemų veikimui optimizuoti būtina žinoti energijos srauto savybes ir idealiu atveju gebėti numatyti, kaip šis srautas elgsis pakitus jį veikiantiems kintamiesiems ar kaip viena sistema paveiks kitos veikimą. Dėl didelio duomenų kiekio ir sudėtingų fizikinių modeliavimo lygčių, kurių reikia norint užtikrinti optimalų ŠVOK sistemos veikimą bet kokiomis sąlygomis, valdymo procesas tampa itin sudėtingas. Tačiau dėl paskutinių kelerių metų technologijų, tokių kaip IoT (angl. *Internet of Things* – daiktų internetas), kurios leidžia stebėti ir kaupti didelius duomenų kiekius, kartu su kitais didėjančiais duomenų masyvais bei dirbtinio intelekto (DI) pažanga, iš esmės keičiamas ŠVOK sistemų valdymas ir tai leidžia susidoroti su minėtais iššūkiais.

Dirbtinis intelektas – tai mašinų ir kompiuterinių sistemų, sukurtų žmogaus smegenims imituoti ir leidžiančių joms mokytis, samprotauti, priimti sprendimus, spręsti problemas, atpažinti veikimo modelius ir prisitaikyti prie naujų situacijų ir scenarijų, kūrimas (Alanne & Sierla, 2022). Panaudojant DI algoritmus ir mašininį mokymąsi, ŠVOK sistemos tampa išmanesnės, efektyvesnės ir geba optimizuoti energijos vartojimą praktiškai be žmogaus įsikišimo.

Visų pirma DI gali atlikti didelių duomenų kiekių (įrangos veikimo charakteristikų, patalpų ir lauko temperatūrų, drėgmės, oro kokybės, užimtumo ir kt.) apdorojimą: valdymą, klasifikavimą, grupavimą ir analizę per kelias minutes ir net mažiau (priklausomai nuo duomenų kiekio, naudojamo algoritmo ir kompiuterinių išteklių), identifikuoti veikimo sutrikimus remiantis duomenimis, tai dėl didelių laiko sąnaudų praktiškai neįmanoma naudojant žmogiškuosius išteklius. DI taip pat gali stebėti energijos vartojimo tendencijas ir remiantis patirtimi prognozuoti poreikius, juos derinti su energijos generavimo prognozėmis bei energijos kainomis rinkoje ir taip optimizuoti ne tik energijos vartojimą, bet ir išlaidas energijai.

DI modelio veikimo efektyvumas ir prognozių tikslumas yra iš esmės priklausomas nuo dviejų veiksnių: 1) duomenų ir 2) naudojamo modelio savybių ir tinkamumo konkrečiam uždaviniui spręsti.

Integruojant DI į pastatus susiduriama su iššūkiais, susijusiais su duomenų prieinamumu, šaltiniais ir kokybe, nes tai nulemia DI modelio veikimą, patikimumą ir tikslumą. Realybė yra tokia, kad daugelyje pastatų duomenys yra nestruktūrinti, trūksta duomenų ar jų rinkinių (Tejani, 2024). Kitas iššūkis, susijęs su duomenimis, – duomenų apsauga ir privatumas. Dažnai pastatuose DI modeliams naudojami duomenys paremti



a) b)

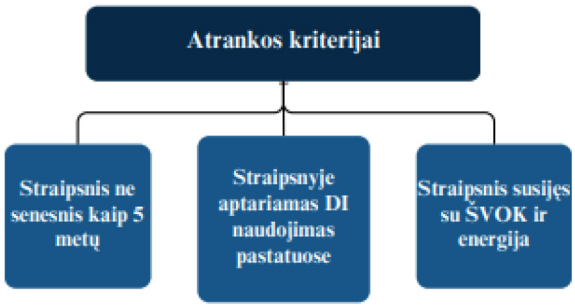
1 paveikslas. Realios vėdinimo sistemos veikimo pavyzdys – BMS duomenys

užimtumo duomenimis, o tai gali padidinti asmens duomenų naudojimo pažeidimų riziką ir pakenkti pačių naudotojų privatumui (Bakar et al., 2024). Todėl svarbu laikytis duomenų rinkimo ir saugumo etikos bei nepažeisti asmens duomenų apsaugos reikalavimų.

Šio straipsnio tikslas yra aptarti ŠVOK sistemose taikomus DI modelius energijos vartojimo efektyvumui padidinti, akcentuojant su duomenimis susijusius iššūkius ir pateikti įžvalgas bei rekomendacijas.

2. Metodika

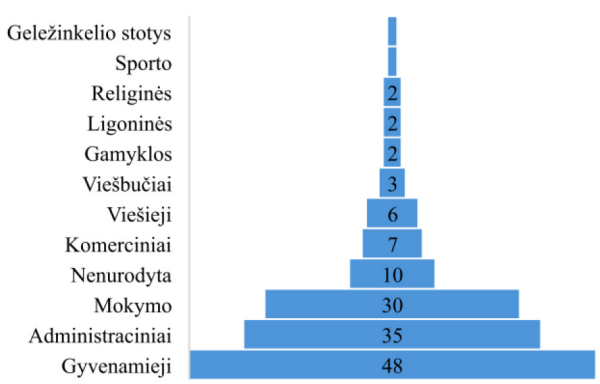
Straipsnis yra paremtas 22 straipsnių literatūros apžvalga. Apžvalgoje naudojami straipsniai buvo atrinkti remiantis 2 paveiksle pateiktais kriterijais: 1) straipsnis naujas, t. y. ne senesnis kaip 5 metų; 2) jame aptariama DI taikymas pastatuose; 3) DI taikomas ŠVOK sistemų energijos vartojimo efektyvumui didinti. Nebuvo jokių apribojimų, susijusių su straipsnio kalba ar geografine tyrimo teritorija.



2 paveikslas. Straipsnių atrankos kriterijai

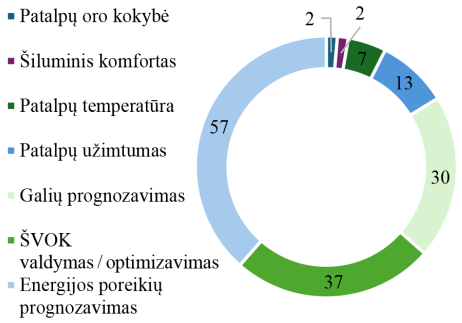
3. DI modeliai, taikomi pastatų energiniam efektyvumui didinti

Naujausi pasiekimai DI srityje jau leidžia valdyti ir automatizuoti pastatų sektorių. Kaip rodo moksliniai straipsniai, didžiausią potencialą ŠVOK sistemų optimizavimo ir valdymo, patalpų komforto ir vidaus oro kokybės užtikrinimo bei energijos suvartojimo prognozavimo srityse turi mašininio mokymosi (angl. *Machine Learning* – ML), stiprinamojo mokymosi (angl. *Reinforced Learning* – RL) ir giliojo mokymosi (angl. *Deep Learning* – DL) modeliai (Broday & da Silva, 2023; Luo, 2022). Atliktoje apžvalgoje (Ali et al., 2024) buvo padaryta išvada, kad pastatų sistemų valdymo uždaviniams spręsti didžiausią potencialą rodo DL arba ir hibridiniai modeliai. Taip pat autoriai, atlikę 148 literatūros šaltinių apžvalgą, identifikavo, kokio tipo pastatai sulaukia daugiausia dėmesio analizuojamu klausimu. Kaip matyti iš 3 paveikslo TOP 3 sudaro DI pritaikymas gyvenamųjų, administracinių ir mokymo paskirties pastatuose. Tai gali būti paaiškinta pačio pastatų sektoriaus struktūra – gyvenamųjų ir administracinių yra daugiausiai, taip pat tuo, kad mokslininkams lengviau yra prienami duomenys iš mokymo įstaigų, nes dažniausiai juose ir dirba.



3 paveikslas. DI taikymo pastatuose paplitimas pagal pastatų paskirtį (sudaryta remiantis Ali et al. (2024)

4 paveiksle pateikiama, remiantis Ali et al. (2024), kokioms problemoms pastate spręsti taikant DI skiriama daugiausiai mokslininkų dėmesio. Nors reikia pabrėžti, kad net ir jeigu DI modelis kuriamas patalpų užimtumui prognozuoti, visgi galiausiai tai yra susiję su tuo, kad turint patalpų užimtumo prognozes galima būtų efektyviau – pagal realų poreikį valdyti ŠVOK sistemą ir sutaupyti energijos. Visi 4 paveiksle sprendžiami uždaviniai tarpusavyje susiję, nes, kaip jau buvo minėta, pastatas savaime jau sudėtinga sistema.



4 paveikslas. Taikant DI sprendžiamos problemos (remiantis Ali et al. (2024)

Praktikoje kelios pirmaujančios bendrovės, tokios kaip „Siemens“, „Schneider Electric“, „Honeywell“, „Johnson Controls“ ir ABB, siūlo pažangius BMS sprendimus, kuriuose integruotos naujausios technologijos, tokios kaip DI, IoT ir debesų kompiuterija. 1 lentelėje pateikiama šių gamintojų siūlomų produktų lyginamoji analizė, daugiausia dėmesio skiriant pagrindinėms savybėms, naudojamoms technologijoms, veiklos kryptčiai ir rezultatams (Prasanth, 2019). Matyti, kad įvairios

įmonės siūlo BMS sprendimus, skirtus skirtingoms reikmėms ir orientuotus į skirtingas operacijas. „Siemens“ sistema „Desigo CC“ orientuota į nuspėjamąją techninę priežiūrą ir žmonių komfortą; ABB sistema „ABB Ability“ orientuota į ilgalaikį efektyvumą, taikant DI ir optimizavimo priemones. „Honeywell“ „Forge“ orientuota į kibernetinio saugumo operacijas, taip pat į nuspėjamąją analitiką, skirtą gedimams aptikti, naudojant DI valdomą automatiką. Bendrovė „Schneider“ daugiausia dėmesio skiria gyvavimo ciklo optimizavimui ir tvarumui (ABB, 2024; Honeywell Forge, 2023; Schneider Electric, 2022; Johnson Controls, 2025). Tinkamiausios sistemos pasirinkimas priklauso nuo konkrečių pastato reikalavimų, pavyzdžiui, energijos vartojimo efektyvumo tikslų, kibernetinio saugumo problemų ir pageidaujamo automatizavimo lygio (Prasanth, 2019).

Gamintojų teigimu, šios sistemos gali sutaupyti iki 30 % energijos. „Siemens“ ir „Johnson Controls“, naudodamos DI valdomus nuspėjamosios techninės priežiūros ir gedimų nustatymo mechanizmus, papildomai sutaupė iki 30 % daugiau energijos. ABB akcentuoja ilgalaikį energijos optimizavimą, o sutaupymus 30 % (ABB, 2024; Schneider Electric, 2022; KNX today, 2025; Johnson Controls, 2025).

Akivaizdu, kad toliau vystantis dirbtiniam intelektui, jo taikymas pastatų energijai valdyti tik plėsis, todėl dar labiau padidės energijos vartojimo efektyvumas ir bendras pastatų našumas.

4. Duomenys ŠVOK sistemoms valdyti panaudojant DI

Kaip bet kokioje srityje, DI taikymo modelio efektyvumas (prognozių patikimumas) pastatų ŠVOK sistemose labai priklauso nuo duomenų kiekio ir kokybės. Kuo didesnis tinkamų duomenų kiekis modeliui apmokyti ir validuoti panaudojamas – tuo modelis geriau apsimoko ir tiksliau prognozuoja. Tradiciškai 80 % turimų duomenų yra panaudojama modeliui mokyti ir 20 % – modeliui validuoti (Moayedi & Mosavi, 2021; Taheri et al., 2021).

Nepaisant to, kad duomenys atlieka svarbų vaidmenį nustatant modelio efektyvumą, kokybiškų ir patikimų duomenų prieinamumas tebėra iššūkis. Daugelyje esamų ŠVOK sistemų trūksta reikiamos infrastruktūros tinkamai ir nuolat duomenims rinkti (Tejani, 2024). Kitas iššūkis – senų sistemų integravimas su šiuolaikinėmis DI priemonėmis dėl suderinamumo problemų. Dėl to gaunami prastos kokybės duomenys, kurie mažina DI modelių efektyvumą. Dideliam tikslumui pasiekti reikia patikimų duomenų rinkinių su minimaliomis klaidomis, tačiau surinkti tokią aukštos kokybės informaciją yra brangu ir sudėtinga. Be to, trūksta patikimų ir audituotų viešai prieinamų duomenų rinkinių, kuriuos galėtų panaudoti mokslininkai, o tai trukdo kurti ir mokyti modelius, kuriems optimaliai veikti reikia didelių duomenų rinkinių (Cheng & Lee, 2019; Sahu & Majee, 2025; Tejani, 2024).

Siekiant įveikti anksčiau minėtus iššūkius, imtasi kai kurių iniciatyvų, pavyzdžiui, standartizuoti duomenų formatus, kad jais būtų lengviau dalintis ir integruoti įvairiose platformose, naudojant standartizuotus modelius, tokius kaip CERIF (Bendrasis Europos mokslinių tyrimų informacijos formatas)(European Commission, 2025), kuris padėtų užtikrinti nuoseklumą įvairiose mokslinių tyrimų informacijos sistemose.

Taip pat yra vykdoma iniciatyva, susijusi su duomenų kokybės vertinimo sistemų kūrimu, numatant

1 lentelė. Rinkos produktų palyginimas

Gamintojas, produktas	Naudojama technologija, paskirtis	Deklaruojami galimi energijos sutaupymai panaudojus DI, %	Šaltinis
„Siemens“, „Desigo CC“	– IoT, DI, debesų kompiuterija, atviri protokolai – Energinis efektyvumas, žmonių komfortas, nuspėjamoji priežiūra	iki 30	(Siemens, 2025)
„Schneider Electric“, „EcoStruxcure“	– Stebėsena debesyse, IoT, DI grįsta duomenų analitika – Gyvavimo ciklo optimizavimas, tvarumas	10–30	(S&S Insider, 2024)
„Honeywell“, „Honeywell Forge“	– Pažangi analitika, DI valdoma automatika, kibernetinio saugumo priemonės – Kibernetinio saugumo operacijos, prognostinė analizė gedimams aptikti	iki 10	(Honeywell Forge, 2023)
„Johnson Controls“, „Metasys“	– AI, IoT, atviri protokolai, išmanus ŠVOK valdymas – Visapusiškas pastato valdymas, vientisa sistemų integracija	iki 30	(Johnson Controls, 2025)
ABB, „ABB Ability“	– IoT, DI grįsta duomenų analitika, energijos optimizavimo įrankiai – Ilgalaikis energijos vartojimo efektyvumas, išmanus, duomenimis grįstas veikimas	iki 30%	(ABB, 2024)

struktūrintą metodą tam tikriems kriterijams, pavyzdžiui, duomenų tikslumui, nuoseklumui ir išsamumui, įvertinti (Shahrabani & Apanaviciene, 2024). Be to, siekiant padidinti patikimų viešų duomenų rinkinių prieinamumą, skatinama institucijų atvirosios prieigos politika, kad galima būtų prognozuoti bendradarbiavimą (Xiao et al., 2022).

Galima išskirti įvairius subjektus ir sistemas, kurie yra pagrindiniai pastato energijos duomenų šaltiniai. Šie šaltiniai apima tiek automatizuotas sistemas, pavyzdžiui, pastatų valdymo sistemas (angl. BMS), tiek savivaldybes ir elektros energijos tiekėjus (De Tommasi et al., 2022; Hakawati et al., 2024; So & Chan, 1999). BMS and BAS (angl. *Building Automation System* – pastato automatizavimo sistema) realiuoju laiku renka duomenis apie ŠVOK, apšvietimą ir kitus veikimo parametrus, todėl yra vertingi energijos optimizavimui ir prognozavimo analizei. Kita vertus, elektros energijos tiekėjai saugo didelius duomenų rinkinius apie energijos vartojimo profilius įvairiais laiko intervalais, kurie suteikia įžvalgų paklausai prognozuoti ir tinklui valdyti (So & Chan, 1999). Savivaldybės ir viešai prieinamos energijos rodiklių lyginamosios analizės programos / registrai užtikrina atitikties taisyklių laikymąsi ir skatina teikti energijos vartojimo efektyvumo ataskaitas, todėl gaunami viešai prieinami duomenų rinkiniai, kuriuos galima naudoti didelės apimties tyrimams (De Tommasi et al., 2022; Jalas & Rinkinen, 2022). Nekilnojamojo turto ir nuosavybės valdymo sistemos stebi energijos suvartojimą visame pastatų portfelyje ir leidžia suprasti ilgalaikį veiklos efektyvumą ir techninės priežiūros poreikius (Shen et al., 2024).

Nors šiuose šaltiniuose pateikiami išsamūs duomenų rinkiniai, jų prieinamumas tebėra sudėtingas, nes daugelis duomenų yra riboto naudojimo ir prieinami tik bendradarbiaujant su pramonės atstovais. Siekdami užpildyti šią spragą, mokslininkai ir politikos formuotojai dažnai remiasi partneryste, anoniminiais duomenų rinkiniais ir atvirų duomenų iniciatyvomis, kad galėtų analizuoti tendencijas, optimizuoti energijos vartojimą ir kurti DI pagrįstus pastatų energijos vartojimo efektyvumo sprendimus (De Tommasi et al., 2022). Kitas būdas užpildyti šią spragą – naudoti sintetinius duomenis, kad būtų galima sukurti, apmokyti ir padidinti modelio efektyvumą. Sintetiniai duomenys suprantami kaip duomenys, kurie sukurti naudojant specialiai sukurtą matematinį modelį arba algoritmą, siekiant išspręsti duomenų mokslo uždavinį.

5. Privatumas ir etiniai aspektai

Integruojant dirbtiniu intelektu valdomas technologijas į pastatus didinamas energijos vartojimo efektyvumas ir naudotojų patirtis, tačiau taip pat kyla svarbių su privatumu susijusių klausimų (Bakar et al., 2024). Pastatuose renkama daug duomenų apie patalpų užimtumą (žmonių buvimą namuose ar kitur) ir energijos suvartojimą, kurie gali atskleisti jautrią informaciją apie gyventojų gyvenimo būdą ir įpročius. Dėl to didėja netinkamo informacijos naudojimo ir duomenų privatumo pažeidimų rizika (Vishi, 2023).

Nors yra galiojančių reglamentų ir įstatymų, pavyzdžiui, bendrasis duomenų apsaugos reglamentas (BDAR), kuriais užtikrinama asmens duomenų apsauga, jų įgyvendinimas visose srityse gali būti sudėtingas. Daugumoje galiojančių teisės aktų ne iki galo sprendžiami nauji klausimai, susiję su naujomis technologijomis, pavyzdžiui, DI valdomomis pastatų ŠVOK sistemomis. Energijos vartojimo efektyvumo didinimas naudojant duomenis turi būti suderintas su asmens privatumo teisių apsauga; tam reikia atidžiai apsvarstyti abi puses, o tai taip pat yra labai sudėtinga. Kitas iššūkis – visuomenės baimė ir nepasitikėjimas, kurie dažnai viršija realią riziką (Bakar et al., 2024).

Siekiant sumažinti šiuos iššūkius, svarbu įgyvendinti patikimas apsaugos technologijas, pavyzdžiui, diferencijuotą privatumą. Šios technologijos padeda apsaugoti neskelbtiną informaciją, nes apsunkina neįgaliotų šalių prieigą prie duomenų. Taip didinamas saugumas ir stiprinamas pasitikėjimas išmaniųjų pastatų technologijomis. Be to, labai svarbu sukurti standartizuotas informuoto sutikimo sistemas, kad gyventojai turėtų aiškias gaires ir suprastų, kokie duomenys renkami ir kaip jie bus naudojami, kad asmenys galėtų priimti pagrįstus sprendimus dėl savo asmeninės informacijos (Janghyun et al., 2022).

Šios priemonės kartu padeda mažinti privatumo ir etines problemas, tuo pat metu sudarydamos sąlygas naudoti DI pagrįstus sprendimus pažangiai valdyti pastatų energijos sistemas.

6. Išvados

Dirbtinis intelektas turi didelį panaudojimo pastatuose potencialą sprendžiant tokius uždavinius kaip ŠVOK valdymas ir optimizavimas, patalpų užimtumo prognozavimas, trumpalaikio ir ilgalaikio energijos vartojimo prognozavimas, šiluminio komforto ir patalpų oro kokybės optimizavimas ir kt. Labiausiai pasiteisinantys šioje srityje yra DL modeliai, ypač hibridiniai.

Kokybiškų, audituotų duomenų rinkiniai ir jų prieinamumas tebėra iššūkis. Dėl to mokslininkai skatina standartizuoti duomenų kokybės vertinimą, taip pat būtina skatinti dalijimąsi duomenimis tam kuriant specializuotas duomenų platformas.

Netinkamas duomenų apsaugos reglamentavimas kelia didžiulę riziką DI paremtoms ir išmaniosioms

pastatų technologijoms. Tai privertė mokslininkus sutelkti dėmesį į diferencijuoto privatumo taikymą. Be to, šioje srityje reikia aiškesnių įstatymų, taip pat svarbu didinti informuotumą ir šviesti žmones apie renkamus duomenis ir tai, kaip jie bus tvarkomi, siekiant sukurti pasitikėjimą.

Skirtingos įmonės pradėjo siūlyti savo produktus, kuriuose panaudojamas DI pastato inžinerinėms sistemoms valdyti, o tai rodo didėjantį pramonės susidomėjimą efektyviai energiją naudojančių sprendimų kūrimu pastatuose.

Literatūra

ABB. (2024). *ABB ability™ energy manager: Understanding power and assets* [Brochure]. ABB Ltd. https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107991A2566&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch

Alanne, K., & Sierla, S. (2022). An overview of machine learning applications for smart buildings. *Sustainable Cities and Society*, *76*, Article 103445. https://doi.org/10.1016/J.SCS.2021.103445

Ali, D. M. T. E., Motuzienė, V., & Džiugaitė-Tumėnienė, R. (2024). AI-driven innovations in building energy management systems: A review of potential applications and energy savings. *Energies*, *17* (17), Article 4277. https://doi.org/10.3390/en17174277

Bakar, A. A., Yussof, S., Ghapar, A. A., Sameon, S. S., & Jørgensen, B. N. (2024). A review of privacy concerns in energy-efficient smart buildings: risks, rights, and regulations. *Energies*, *17*(5), Article 977. https://doi.org/10.3390/en17050977

Broday, E. E., & da Silva, M. C. G. (2023). The role of internet of things (IoT) in the assessment and communication of indoor environmental quality (IEQ) in buildings: a review. *Smart And Sustainable Built Environment*, *12*(3), 584–606. https://doi.org/10.1108/SASBE-10-2021-0185

Cheng, C. C., & Lee, D. (2019). Artificial intelligence-assisted heating ventilation and air conditioning control and the unmet demand for sensors: Part 1. problem formulation and the hypothesis. *Sensors*, *19*(5). Article 1131. https://doi.org/10.3390/s19051131

De Tommasi, L., Papadelis, S., Agrawal, R., & Lyons, P. (2022). Analysis of business models for delivering energy efficiency through smart energy services to the European commercial rented sector. *Open Research Europe*, *2*, Article 131. https://doi.org/10.12688/openreseurope.15240.1

European Commission. (2025). Common European research information format. Retrieved March 1, 2025. https://interoperable-europe.ec.europa.eu/collection/eu-semantic-interoperability-catalogue/solution/common-european-research-information-format

Europos Parlamentas ir Taryba. (2024). Europos Parlamento ir Tarybos Direktyva (ES) 2024/1275. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401275

Hakawati, B., Mousa, A., & Draidi, F. (2024). Smart energy management in residential buildings: the impact of knowledge and behavior. *Scientific Reports*, *14*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-024-51638-y

Honeywell Forge. (2023). *An autonomous solution gets top grades for energy savings and comfort at Hamdan Bin Mohammed Smart University*. https://www.honeywellforge.ai/us/en/case-studies/hamdan-bin-mohammed-smart-university

Jalas, M., & Rinkinen, J. (2022). Valuing energy solutions in the housing markets: the role of market devices and real estate agents. *Housing Studies*, *37*(4), 556–577. https://doi.org/10.1080/02673037.2020.1819967

Janghyun, K., Barry, H., Tianzhen, H., & Marc, A. P. (2022). A review of preserving privacy in data collected from buildings with differential privacy. *Journal of Building Engineering*, *56*, Article 104724.

Johnson Controls. (2025). *Metasys BAS*. https://www.johnsoncontrols.com/building-automation-and-controls/metasys#KeyBenefits

KNXtoday. (2015). Siemens offers integrated building management with Desigo CC. https://www.knxtoday.com/2015/04/5804/siemens-offers-integrated-building-management-with-desigo-cc.html

Luo, J. X. (2022). A bibliometric review on artificial intelligence for smart buildings. *Sustainability*, *14*(16), Article 10230. https://doi.org/10.3390/su141610230

Moayedi, H., & Mosavi, A. (2021). Suggesting a stochastic fractal search paradigm in combination with artificial neural network for early prediction of cooling load in residential buildings. *Energies*, *14*(6), Article 1649. https://doi.org/10.3390/en14061649

Motuzienė, V., Lapinskienė, V., & Rynkun, G. (2024). Optimizing Ventilation Systems for Sustainable Office Buildings: Long-Term Monitoring and Environmental Impact Analysis. *Sustainability*, *16*(3), Article 984. https://doi.org/10.3390/su16030984

ODYSSEE-MURE. (2024). *Lithuania profile*. https://www.odyssee-mure.eu/publications/efficiency-trends-policies-profiles/lithuania-lithuanian.html#buildings

Prasanth, A. T. (2019). *Top building automation companies to watch out for in 2020*. https://www.asmag.com/showpost/30966.aspx

Sahu, M., & Majee, S. (2025). A systematic analysis of AI-based methods for thermal control and energy efficiency in sustainable buildings. *AIS – Architecture Image Studies Scientific Journal*, *6*, 36–44. https://doi.org/10.48619/ais.v6i1.1088

S&S Insider. (2023). *Energy management systems market size, share & segmentation by type (IEMS, BEMS, HEMS), by component (hardware, software, services), by deployment (cloud, on-premises), by end user (residential, energy & power, telecom & IT, manufacturing, retail, healthcare, others), by regions and global forecast 2024–2032* (Report Code: SNS/SEMI/3494). https://www.snsinsider.com/reports/energy-management-systems-market-3494

Schneider Electric. (2022). *ISO 50001 energy management system – case study*. https://www.cleanenergyministerial.org/content/uploads/2022/09/cem-em-casestudy-schneiderelectric-france.pdf

Shahrabani, M. M. N., & Apanaviciene, R. (2024). An AI-based

evaluation framework for smart building integration into smart city. *Sustainability*, *16*(18), Article 8032. https://doi.org/10.3390/su16188032

Shen, J., Fan, K. Y., Hui, E. C. M., & Ho, S. M. (2024). The value of sustainable property management in real estate: evidence from Hong Kong. *Journal of Real Estate Research*, *46*(3), 389–419. https://doi.org/10.1080/08965803.2024.2346413

Shi, X., Si, B., Zhao, J., Tian, Z., Wang, C., Jin, X., & Zhou, X. (2019). Magnitude, causes, and solutions of the performance gap of buildings: A review. *Sustainability*, *11*(3), Article 937. MDPI. https://doi.org/10.3390/su11030937

Siemens. (2025). Desigo CC building management software platform. https://www.siemens.com/us/en/products/buildingtechnologies/automation/desigo-cc.html

So, A. T., & Chan, W. L. (1999). Building Automation and Energy Management. In A. T. So & W. L. Chan (Eds.), *Intelligent Building Systems* (pp. 41–46). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5019-8_7

Taheri, S., Ahmadi, A., Mohammadi-Ivatloo, B., & Asadi, S. (2021). Fault detection diagnostic for HVAC systems via deep learning algorithms. *Energy and Buildings*, *250*, Article 111275. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111275

Tejani, A. (2024). AI-driven predictive maintenance in HVAC systems: strategies for improving efficiency and reducing system downtime. *International Journal of Advancements in Science & Technology*, *2*, 6–19. https://doi.org/10.56472/25839233/IJAST-V2I3P102

Vishi, K. (2023). Privacy and Ethical Considerations of Smart Environments: A Philosophical Approach on Smart Meters. In O. Gervasi, B. Murgante, A. M. A. C. Rocha, Ch. Garau, F. Scorza, Y. Karaca, C. M. Torre (Eds.), *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2023 Workshops. ICCSA 2023. Lecture Notes in Computer Science* (pp. 303–313). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37129-5_25

Xiao, Z. W., Gang, W. J., Yuan, J. Q., Chen, Z. L., Li, J., Wang, X., & Feng, X. M. (2022). Impacts of data preprocessing and selection on energy consumption prediction model of HVAC systems based on deep learning. *Energy And Buildings*, *258*, Article 111832. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111832

Yayla, A., Świerczewska, K. S., Kaya, M., Karaca, B., Arayıcı, Y., Ayözen, Y. E., & Tokdemir, O. B. (2022). Artificial Intelligence (AI)-Based Occupant-Centric Heating Ventilation and Air Conditioning (HVAC) Control System for Multi-Zone Commercial Buildings. *Sustainability*, *14*(23), Article 16107. https://doi.org/10.3390/su142316107

ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR BUILDING MANAGEMENT SYSTEMS: A REVIEW OF DATA AND SECURITY CHALLENGES

D. M. T. E. ALI, V. MOTUZIENĖ

Abstract. In the context of enhancing the energy efficiency of buildings, there is a growing emphasis on the development of smart buildings and the optimisation of energy management systems. The integration of artificial intelligence into the control of building indoor climate systems represents a novel approach for energy conservation. However, it is imperative to recognise that the selection of the AI model is not the sole determining factor in the efficacy of this approach. The quality, quantity and reliability of the data, its availability, and other pertinent considerations, such as the ethical utilisation of personal data, are also crucial factors. This paper discusses the data-related challenges of using artificial intelligence to improve the control of HVAC systems and provides insights and recommendations.

Keywords: Artificial Intelligence (AI), Building Management Systems, buildings, data, energy, Heating, Ventilation and Air Conditioning, privacy and security.