



BIM4ENERGY
E R A S M U S +

Informacinio statinio modelio
(BIM) naudojimas pastatų
energinio efektyvumo vertinimui



Bendrai finansuoja
Europos Sąjunga

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

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

BIM4Energy projektas

Informacinio statinio modelio (BIM) naudojimas pastatų energinio efektyvumo vertinimui



1. Tikslai

Šios pamokos tikslai:

- Suprasti BIM vaidmenį didinant pastatų energinį efektyvumą.
- Įvertinti BIM technologijos svarbą tvariam architektūriniam ir inžineriniam projektavimui.
- Įsisavinti žinias apie BIM šeštosios dimensijos naudą.
- Susipažinti su pažangiausiomis BIM taikymo galimybėmis pastatų energetinio modelio (BEM) srityje.
- Sužinoti apie kompiuterines priemones, kurios naudoja BIM pastatų energinio efektyvumo analizei.

2. Mokymosi metodologija

Mokytojas apie 30 min. pristatys informacinio statinio modelio naudojimą pastatų energinio efektyvumo vertinimui.

Mokiniai perskaitys šios pamokos medžiagą žemiau nurodyta seka:

- BIM vaidmuo didinant pastatų energijos vartojimo efektyvumą.
- Tvarus projektavimas ir BIM.
- BIM taikymo sritys.
- Šeštoji BIM dimensija - tvarumas ir gyvavimo ciklo analizė.
- BIM taikymas pastato energiniam modeliavimui.
- Programinė įranga, naudojanti BIM pastatų energiniam efektyvumui analizuoti: *OpenStudio, DesingBuilder, ClimateStudio, CypeTherm EPlus*.

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

3. Pamokos trukmė

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

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

4. Būtinai mokymo (si) ištekliai

Klasė su kompiuteriais ir prieiga prie interneto.

Reikalinga programinė įranga: .pdf dokumentus nuskaitanti įranga.

5. Turinys ir pamoka

5.1. Energijos taupymo poreikis pastatų projektavime

5.1.1. BIM vaidmuo didinant energijos vartojimo efektyvumą

Pasaulio bendruomenė šiuo metu susiduria su vienu iš aktualiausių iššūkių - mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų (angl. *greenhouse gas*, GHG) išmetimą ir kartu didinti energijos vartojimo efektyvumą [1]. Statybos pramonė yra pagrindinis šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo ir energijos suvartojimo šaltinis, šiuo požiūriu lenkiantis pramonės ir transporto sektorius [2]. Didesnis energijos suvartojimas turi didelį poveikį aplinkai, nes didelė dalis pasaulinės energijos gamybos priklauso nuo iškastinio kuro deginimo, o tai lemia ekosistemų degradaciją [3]. Jungtinių Tautų Aplinkos programos (angl. *United Nations environment programme*) duomenimis, statybos sektoriuje kasmet išmetama apie 30 proc. viso pasaulio šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio ir suvartojama iki 40 proc. visos energijos [3]. Šiltnamio efektą sukeliančios dujos, įskaitant anglies dioksidą (CO₂), metaną (CH₄), azoto oksidą (N₂O) ir fluorangliavandenilius, prisideda prie klimato kaitos ir globalinio atšilimo [4]. Iš jų ypač svarbų vaidmenį temperatūros kilime vaidina CO₂ emisijos [5]. Tyrimai rodo, kad pastatams tenka apie 40 proc. viso pasaulyje išmetamo CO₂ kiekio [5, 6]. Dėl pasaulinio atšilimo pasekmių, pavyzdžiui, tirpstančių poliarinių ledynų ir kylančio jūros lygio, kyla grėsmė, kad sumažės gyvenamos žemės plotų, todėl dar labiau paaštrės problemos, susijusios su didėjančiu pasaulio gyventojų skaičiumi [7]. Atsižvelgiant į didėjančią susirūpinimą dėl klimato kaitos ir išmetamo anglies dioksido kiekio, statybų sektorius nuolat stengiasi mažinti savo poveikį aplinkai [8], pirmiausia mažindamas energijos suvartojimą pastatuose [3]. Kad būtų pasiekti pasauliniai CO₂ mažinimo tikslai, ir vartotojai, ir pramonės suinteresuotosios šalys turi aktyviai dalyvauti kuriant mažai anglies dioksido į aplinką išskiriančius pastatus [9]. Nesprendžiant šio klausimo, tikėtina, kad per ateinančius du dešimtmečius šio sektoriaus išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis ir toliau didės [8]. Todėl architektams ir pramonės suinteresuotiesiems subjektams tenka didelis iššūkis projektuoti ir statyti pastatus, kurie atitiktų išmetamųjų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio mažinimo tikslus, galiausiai prisidedant prie tvaresnės ir ekologiškai atsakingesnės užstatytos aplinkos kūrimo.

Reaguodami į didėjančią susirūpinimą aplinkosauga ir augančias energijos sąnaudas, pastatų specialistai vis dažniau pabrėžia tvarumo ir energijos vartojimo efektyvumo svarbą architektūriniame projektavime. Tvarių pastatų kūrimas dažnai reikalauja specialių žinių ir gali būti susijęs su didelėmis išlaidomis [10]. Atsižvelgdami į didelį pastatų poveikį aplinkai, projektuotojai turi stengtis sumažinti šį poveikį, optimizuodami energijos vartojimo efektyvumą nuo pat ankstyviausių projektavimo proceso etapų [10, 11]. Energijos vartojimo efektyvumo didinimas teikia daug naudos, įskaitant mažesnes eksploataavimo išlaidas ir ilgalaikę ekonominę naudą, o tai savo ruožtu skatina inovacijų statybos srityje [12].

Siekti mažo grynojo energijos suvartojimo pastatuose yra būtina, o šį tikslą galima pasiekti taikant novatoriškus projektavimo metodus. Pastaraisiais metais atsirado įvairių metodikų ir technologijų, skirtų pastatų energiniam efektyvumui didinti, tarp kurių plačiai pripažintas ir pritaikytas statinio informacinis modeliavimas (liet. akronimas SIM, angl. *building information modelling*, akronimas BIM) [13]. BIM integracija su energijos vartojimo analizėmis tampa vis labiau paplitusi, kadangi BIM įrodė esąs veiksminga priemonė energijos vertinimams atlikti ankstyvose projektavimo stadijose [14]. Pasitelkdami BIM technologiją, projektuotojai gali modeliuoti įvairius pastato energijos vartojimo aspektus, įskaitant šiluminį srautą, apšvietimo modelius bei kitus tvarumui svarbius parametrus [9]. BIM pagrįstos energijos analizės priemonės leidžia įvertinti šildymo ir vėsinimo reikalavimus, dienos šviesos galimybes ir parinkti pastato komponentus, kurie prisideda prie energijos vartojimo efektyvumo. Be to, įtraukus realaus laiko meteorologinius duomenis ir informaciją apie elektros tinklą, BIM padeda tiksliau įvertinti pastato energijos suvartojimą ir anglies dioksido pėdsaką [15].

Pastato efektyvumui didelę įtaką daro jo medžiagų savybės, šiluminė varža ir bendros fizinės charakteristikos. Šios savybės skaitmeniniu būdu pateikiamos BIM modeliuose, todėl galima išsamiai įvertinti energinį naudingumą [15]. BIM priemonių, tokių kaip *Revit Architecture*, taikymas atlieka esminį vaidmenį racionalizuojant energinio modeliavimo darbo eigą. Suteikdamas galimybę greitai kurti pagrindinius pastato modelius, BIM palengvina energinio naudingumo modeliavimą ir sąnaudų apskaičiavimo procesus. Tradiciškai tvariųjų pastatų projektavimas remiasi kompiuterinio projektavimo (angl. *computer aided design*, akronimas CAD) priemonėmis, o projektavimo duomenys rankiniu būdu įvedami į energinio modeliavimo programinę įrangą [9]. Projektavimo procese BIM tiesioginė integracija su energinio efektyvumo analize leidžia efektyviau atlikti iteracijas ir jas operatyviai koreguoti [16].

Keletas energinio modeliavimo priemonių, įskaitant *EnergyPlus*, *Ecotect* ir *IES Virtual Environment*, buvo sukurtos siekiant analizuoti pagrindines pastato projektavimo savybes, tokias kaip reagavimas į klimato sąlygas, įstiklinimas, šilumos izoliacija, saulės energijos gavimas, vėdinimas (natūralus ir mechaninis) ir ŠVOK sistemos veikimas. Integravus BIM su šiomis modeliavimo priemonėmis, buvo sukurtos sudėtingos sprendimų priėmimo sistemos, skirtos energiška efektyviems pastatams projektuoti [17]. Pasitelkdami BIM technologijas, projektuotojai gali iteratyviai modifikuoti ir testuoti įvairius projektavimo variantus, užtikrindami optimalų energijos efektyvumą dar prieš pradedant statybą.

BIM naudojimas kartu su energijos simuliacijomis įrankiais suteikia didelių privalumų siekiant energiška efektyvių ir tvarių pastatų projektų. Naudojant automatizavimą, duomenų integravimą ir pažangias modeliavimo galimybes, BIM pagerina sprendimų priėmimo procesus, todėl architektai ir inžinieriai gali kurti pastatus, atitinkančius visuotinius tvarumo tikslus [18].

5.1.2. Tvarus projektavimas ir BIM

Sparčiai tobulėjančios technologijos statybų pramonėje daro reikšmingą poveikį aplinkai. Statybų sektorius yra vienas iš pagrindinių šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų ir energijos suvartojimo šaltinių, daugiausia dėl didelės priklausomybės nuo iškastinio kuro energijos gamybai. Dėl šios priklausomybės nuo iškastinio kuro deginimo išmetama daug anglies dioksido (CO₂), kuris prisideda prie visuotinio atšilimo ir aplinkos būklės blogėjimo. Norint sušvelninti neigiamą šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo ir per didelio energijos suvartojimo poveikį, būtina kurti tvarius sprendimus, kurie padėtų spręsti šias aplinkosaugos problemas. Viena iš veiksmingiausių strategijų šiuo požiūriu yra energijos taupymo pastatuose didinimas. Statybose naudojant natūralių medžiagų išteklius galima gerokai sumažinti energijos poreikį, nes šios medžiagos paprastai pasižymi geresnėmis šiluminėmis savybėmis, palyginti su įprastinėmis alternatyvomis.

Pastato energinis efektyvumas glaudžiai susijęs su jo atitvarų projektavimu, šiluminėmis savybėmis, vėdinimo sistemomis bei šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo (akronimas ŠVOK) sprendimais. Netinkamai suprojektuoti šie komponentai gali lemti per didelį energijos suvartojimą ir sukurti nepatogias patalpų sąlygas gyventojams. Visame pasaulyje didėjantis dėmesys aplinkos tvarumui paskatino daugelį valstybių taikyti tvarumo principus viso pastato gyvavimo ciklo metu – nuo projektavimo, statybos ir eksploatacijos iki pastato nugriovimo ar pernaudojimo. Energinio efektyvumo strategijų įgyvendinimas jau ankstyvose projektavimo stadijose gali lemti reikšmingą energijos taupymą viso pastato eksploatacijos laikotarpiu.

Siekdami įgyvendinti tvaraus projektavimo tikslus, projektuotojai turi įvertinti keletą projektinių alternatyvų ir pasirinkti energiniu požiūriu efektyviausią sprendimą. Šiam sprendimų priėmimo procesui būtinos pažangios skaitmeninės priemonės, kurios padeda analizuoti ir lyginti skirtingus variantus projektavimo etape. Informacinis statinio modeliavimas (BIM) tapo itin svarbiu įrankiu, padedančiu projektuotojams pasirinkti optimalų pastato sprendinį. BIM leidžia naudoti parametrinį modeliavimą, kuris architektūros, inžinerijos ir statybos (AEC) sektoriui suteikia galimybę veiksmingiau įgyvendinti tvaraus projektavimo principus ir didinti pastatų energinį efektyvumą.

Akivaizdu, kad architektūrinis projektavimas ir medžiagų pasirinkimas turi esminę reikšmę pastato energijos sąnaudoms ir anglies pėdsakui. Todėl projektuotojai privalo atlikti išsamų medžiagų savybių vertinimą tam, kad pasirinktų aplinkai palankias, energiją taupančias ir naudotojų komfortą užtikrinančias statybines medžiagas. BIM sistemoje integruoti parametrinio projektavimo įrankiai, paremti eksploataciniais rodikliais, suteikia projektuotojams duomenimis pagrįstus įžvalgų šaltinius, leidžiančius priimti pagrįstus sprendimus tiek dėl tvarių medžiagų parinkimo, tiek dėl energinio efektyvumo optimizavimo [18].

5.2. BIM taikymo sritys

5.2.1. BIM apibrėžimas

Statinio informacinio modeliavimo (BIM) apibrėžtis skiriasi priklausomai nuo konkretaus į modelį įtraukto turinio. Informacinis modelis gali apimti įvairius pastato aspektus, pavyzdžiui, geometriją, atitvarų komponentus, medžiagas, sąnaudas, ŠVOK sistemas, elektros sistemas ir šilumines medžiagų savybes.

JAV nacionalinis BIM standartas (angl. *US National BIM Standard*, akronimas NBIMS-US) BIM apibrėžia kaip „skaitmeninio pastato modelio kūrimo procesas, skirtas vizualizacijai, inžinerinei analizei, konfliktų analizei, atitikties tikrinimui pagal statybos reglamentus, sąnaudų inžinerijai, faktinių duomenų fiksavimui, biudžeto sudarymui ir daugeliui kitų tikslų“ [19]. Architektai, BIM specialistai E. Krygiel ir B. Nies apibrėžia BIM kaip „informaciją apie visą pastatą ir visą projektavimo dokumentaciją, saugomą integruotoje duomenų bazėje“ [20]. Architektas, JAV Nacionalinės CAD ir BIM standartų sistemos kūrėjas D. K. Smith ir architektas, statybos ir projektų valdymo ekspertas, plačiai žinomas dėl savo indėlio į BIM taikymą praktikoje, M. Tardif BIM apibūdina kaip „mechanizmą, leidžiantį iš duomenų pereiti į informaciją, kad įgytume žinių, leidžiančių veikti išmintingai“ [21].

Šiose apibrėžtyse pabrėžiamas visapusiškas ir integracinis BIM pobūdis, pabrėžiant jo vaidmenį tobulinant sprendimų priėmimo procesus, didinant projektavimo efektyvumą ir palengvinant statinio informacijos valdymą per visą jo gyvavimo ciklą.

5.2.1. BIM taikymas

Statinio informacinio modeliavimo (BIM) taikymo sritis nuolat plečiasi, tyrėjams vis plačiau pripažįstant šios technologijos teikiamą naudą įvairiose srityse. Nors BIM dažnai naudojamas konstrukcijų analizei (27 %) ir energijos sąnaudų analizei (25 %), pagrindinė jo paskirtis išlieka greitas trimačių geometrinių modelių kūrimas bei 3D koordinavimas – tai sudaro net 60 % visų taikymo atvejų [22]. Visgi BIM nėra skirtas tik architektams ar inžinieriams – jis taip pat naudingas pastatų savininkams, eksploatacijos vadovams, rangovams bei gamintojams [23].

Yra keli pagrindiniai veiksniai, skatinantys BIM diegimą projektuose: modelių kūrimo proceso automatizavimas, didesnis statybos dokumentų tikslumas, pagerinta komunikacija tarp suinteresuotųjų šalių projektavimo ir statybos etapuose, automatinis visų peržiūrų atnaujinimas atlikus pakeitimus, taip pat sumažėję koordinavimo statybvietėje nesklandumai [23–26]. Nors BIM dažniausiai taikomas pastatų projektavime, kai kurios sritys – pavyzdžiui, energijos modeliavimas – sulaukia mažiau dėmesio. BIM integracija su statinio energinio efektyvumo modeliavimu (angl. *building performance simulation*, BPS), dar vadinama BIM pagrįstu energiniu vertinimu (angl. *BIM-based building performance*, BBIP), vis dar yra menkai ištirtinėta sritis.

Išsami su BIM susijusios literatūros apžvalga rodo, kad dauguma tyrimų orientuoti į planavimą, projektavimą, statybą, eksploataciją ir energijos vartojimą. Archyviniai šaltiniai ypač pabrėžia projektavimo ir energinio efektyvumo temas [27]. Ši tendencija stebima visame pasaulyje – nors statybos įmonės plačiai naudoja energinio modeliavimo įrankius, vis dar trūksta integracijos tarp BIM ir pastato energijos modelių (angl. *building energy modelling*, BEM) vienoje platformoje. Šios integracijos stoka lemia būtinybę rankiniu būdu iš naujo suvesti duomenis, net jei jie jau egzistuoja kituose, konkrečiam projektui sukurtuose modeliuose [28,29]. Sprendžiant šią problemą ir kuriant vieningą BIM–BEM sistemą, būtų galima reikšmingai padidinti energinio modeliavimo bei pastatų veikimo analizės efektyvumą.

5.3. Šeštoji BIM dimensija - tvarumas ir gyvavimo ciklo analizė

Statinio informacinis modeliavimas (BIM) – tai revoliucinė metodika, kuri, pasitelkiant skaitmeninį vaizdavimą, pagerina infrastruktūros projektų planavimą, projektavimą, statybą ir valdymą. Šeštoji BIM dimensija (6D) išskirtinai orientuota į tvarumo ir gyvavimo ciklo analizę, įtraukiant aplinkosauginius bei energinio efektyvumo aspektus į pastato projektavimo ir eksploatacijos etapus. Šiame skyriuje nagrinėjama 6D BIM reikšmė, taikymo sritys ir privalumai, pabrėžiant jo vaidmenį skatinant tvarumą architektūros, inžinerijos ir statybos (AEC) sektoriuje.

5.3.1. Įvadas į 6D BIM

6D BIM dimensija apima kur kas daugiau nei tradicinis trimatis (3D) projektavimas, ketvirtasis (4D) – laiko planavimas, ar penktasis (5D) – sąnaudų skaičiavimas. Ji integruoja tvarumo principus į pastato modelį. Šis požiūris leidžia suinteresuotiesiems subjektams analizuoti energijos vartojimą, anglies dioksido pėdsaką, medžiagų tvarumą bei bendrą aplinkosauginį poveikį per visą statinio gyvavimo ciklą. Atsižvelgiant į pasaulinį dėmesį ekologiškų pastatų sprendimams, 6D BIM tampa svarbia priemone siekiant tvarumo tikslų – tokių kaip *LEED* (angl. *Leadership in energy and environmental design*) sertifikavimas bei atitiktis tarptautiniams energinio efektyvumo standartams [30,31].

5.3.2. Pagrindiniai 6D BIM komponentai

- **Energijos vartojimo efektyvumo analizė.** 6D BIM suteikia galimybę modeliuoti energijos vartojimo tendencijas, leidžiančias projektuotojams optimizuoti pastato šilumos izoliaciją, įstiklinimą, apšvietimą bei ŠVOK (šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo) sistemas siekiant didesnio efektyvumo.



- **Tvarus medžiagų parinkimas.** BIM, integruodamas medžiagų duomenų bazes, padeda parinkti ekologiškas medžiagas, kurios mažina anglies dvideginio kiekį ir gerina perdirbimo galimybes.
- **Gyvavimo ciklo vertinimas** (angl. *lifecycle assessment*, LCA). Šis vertinimas apima visą pastato gyvavimo ciklą – nuo statybos iki nugriovimo – ir leidžia įvertinti jo ilgalaikį poveikį aplinkai.
- **Anglies pėdsako skaičiavimas.** 6D BIM padeda apskaičiuoti anglies dioksido emisijas, taip sudarant galimybes vystytojams įgyvendinti emisijų mažinimo strategijas.
- **Atsinaujinančių energijos šaltinių integravimas.** Modelis leidžia įvertinti tokių sprendimų kaip saulės baterijos, vėjo energija ar kiti atsinaujinantys ištekliai naudą, siekiant energetinio savarankiškumo.

5.3.3. 6D BIM taikymas AEC pramonėje

- **Žaliųjų pastatų sertifikavimas.** 6D BIM palengvina atitiktį aplinkosaugos sertifikavimo sistemoms, tokioms kaip *BREEAM*, *LEED* ar *WELL Building Standard*.
- **Energijos optimizavimo strategijos.** Padeda projektuoti pastatus, kurių energijos sąnaudos sumažinamos per išmanius architektūrinius ir inžinerinius sprendimus.
- **Tvarumo ataskaitos.** Sugeneruoja ataskaitas ir valdymo suvestines, leidžiančias stebėti projekto aplinkosauginį poveikį viso jo gyvavimo ciklo metu.
- **Efektyvesnis pastatų eksploatavimas.** Po statybos etapo 6D BIM prisideda prie tvarios pastato eksploatacijos ir priežiūros, padedant sumažinti energijos švaistymą bei eksploatacines išlaidas.

5.3.4. 6D BIM diegimo privalumai

- **Geresnis sprendimų priėmimas.** BIM suteikia duomenimis grįstą informaciją architektams, inžinieriams ir pastato valdytojams, leidžiančią priimti pagrįstus sprendimus.
- **Išlaidų mažinimas.** Padeda sumažinti ilgalaikes eksploataavimo ir energijos sąnaudas.
- **Atitiktis teisės aktų reikalavimams.** Užtikrina, kad projektas atitiktų galiojančius aplinkosaugos teisės aktus ir standartus.
- **Geresnis suinteresuotųjų šalių bendradarbiavimas.** Skatina skaidrumą ir efektyvesnę komunikaciją tarp visų projekto dalyvių.
- **Ateities infrastruktūra.** Užtikrina, kad pastatai būtų projektuojami atsižvelgiant į klimato kaitos iššūkius bei augančius tvarumo reikalavimus.

5.3.5. Iššūkiai ir ateities perspektyvos

Nepaisant daugybės privalumų, 6D BIM diegimas susiduria su tam tikrais iššūkiais, tokiais kaip didelės pradinės įgyvendinimo išlaidos, sudėtingas duomenų integravimas bei poreikis specializuotam personalo mokymui. Vis dėlto tikimasi, kad dirbtinio intelekto (akronimas DI), debesų kompiuterijos (angl. *cloud computing*) ir daiktų interneto (angl. *internet of things*, akronimas IoT) pažanga dar labiau išplės 6D BIM galimybes, paversdama jį standartine tvaros statybos praktika.

6-oji BIM dimensija atlieka esminį vaidmenį siekiant tvarumo tikslų, nes suteikia galimybę atlikti tikslių energijos analizę, užtikrinti medžiagų efektyvumą ir optimizuoti gyvavimo ciklą. Statybų pramonei judant link grynojo nulinio išmetamųjų teršalų kiekio ir ekologiškai atsakingos statybos praktikos, 6D BIM tampa gyvybiškai svarbia technologine pažanga. Išnaudodamos jo potencialą, suinteresuotosios šalys gali kurti pažangesnes, ekologiškesnes ir tvaresnes infrastruktūras, prisidedamos prie atsparesnės užstatytos aplinkos ateities kartoms.

5.4. BIM taikymas pastatų energiniam modeliavimui (BEM)

5.4.1. BIM taikymas BEM

Pagrindiniai BIM taikymo aspektai pastato energiniam modeliavimui [32]:

- **Energetinio modeliavimo automatizavimas.** BIM supaprastina energijos modeliavimą automatizuodamas duomenų valdymą, sumažindamas klaidų tikimybę ir sutrumpindamas darbo laiką, palyginti su tradiciniais metodais.
- **Integracija su BEM priemonėmis.** BIM gali būti susietas su energijos modeliavimo programomis, tokiomis kaip *OpenStudio*, importuojant pastato duomenis (geometriją, medžiagas, šilumines savybes) iš IFC failų.
- **Patobulintas išvesties pateikimas.** BIM pagerina duomenų vizualizavimą energijos valdymo sistemose, ypač tokiose, kurios neturi grafinės vartotojo sąsajos, ir leidžia realiuoju laiku stebėti energijos vartojimo rodiklius.
- **BIM pagrįsta energijos valdymo palaikymo sistema** (angl. *BIM-based energy management support system*, BIM-EMSS). Tai sistema, integruojanti BIM modelius su išmaniaisiais skaitikliais ir jutikliais, leidžianti realiuoju laiku atlikti energijos vartojimo simuliacijas naudojant tokias priemones kaip *eQuest*.
- **Duomenų saugojimas ir organizavimas.** BIM suteikia galimybę struktūriškai saugoti su energija susijusius duomenis realiuoju laiku, įskaitant temperatūrą, užimtumą ir energijos suvartojimą.
- **Stebėsena realiuoju laiku.** Tokiose sistemose kaip RTPM ir RE-BIM modelis BIM naudojamas energijos suvartojimui, patalpų atnaujinimui ir užimtumo pokyčiams stebėti.

- **Jutiklių integravimas.** BIM palaiko jutiklių duomenų integravimą į pastato modelius naudojant *SensorML* standartą, taip sudarant sąlygas automatiniam energijos vartojimo stebėjimui.
- **Medžiagų bibliotekų tobulinimas.** BIM prisideda prie medžiagų savybių duomenų bazių plėtros, kas padidina šiluminių savybių modeliavimo tikslumą energijos analizėje.
- **Gyvavimo ciklo vertinimas** (angl. life cycle assessment, LCA). BIM veikia kaip tarpinė programinė įranga tarp CAD ir energijos modeliavimo įrankių, pridėdamas papildomus atributus gyvavimo ciklo vertinimams atlikti.
- **Pastato atitvarų projektavimo optimizavimas.** BIM leidžia iš anksto įvertinti medžiagų ir sistemų energinį efektyvumą, priimančias pagrįstas sprendimus projektavimo stadijoje.
- **ŠVOK sistemų parinkimas.** BIM padeda projektuoti ir optimizuoti šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo (ŠVOK) sistemas, palyginant įvairias alternatyvas.
- **Visapusiškas energijos valdymas.** Apskritai BIM gerina energijos simuliacijas automatizuodamas procesus, gerindamas vizualizaciją, integruodamas duomenis realiuoju laiku ir optimizuodamas medžiagų bei sistemų parinkimą.

5.4.2. BIM ir BEM sąveikos proceso (BBIP) sudedamosios dalys

BIM ir pastato energinio modeliavimo sąveiką (angl. *BIM-to-BEM interoperability process*, BBIP) sudaro keli esminiai komponentai. Kiekvieno jų atskira analizė leidžia geriau suprasti su šiuo procesu susijusius iššūkius, problemas bei galimus sprendimus. Kaip parodyta 1 pav., BBIP sudaro trys pagrindiniai komponentai. Šiame tyrime daugiausia dėmesio skiriama antrajam ir trečiajam proceso komponentams, konkrečiai BIM failams ir pastato energinio modeliavimo (BEM) įrankiams.

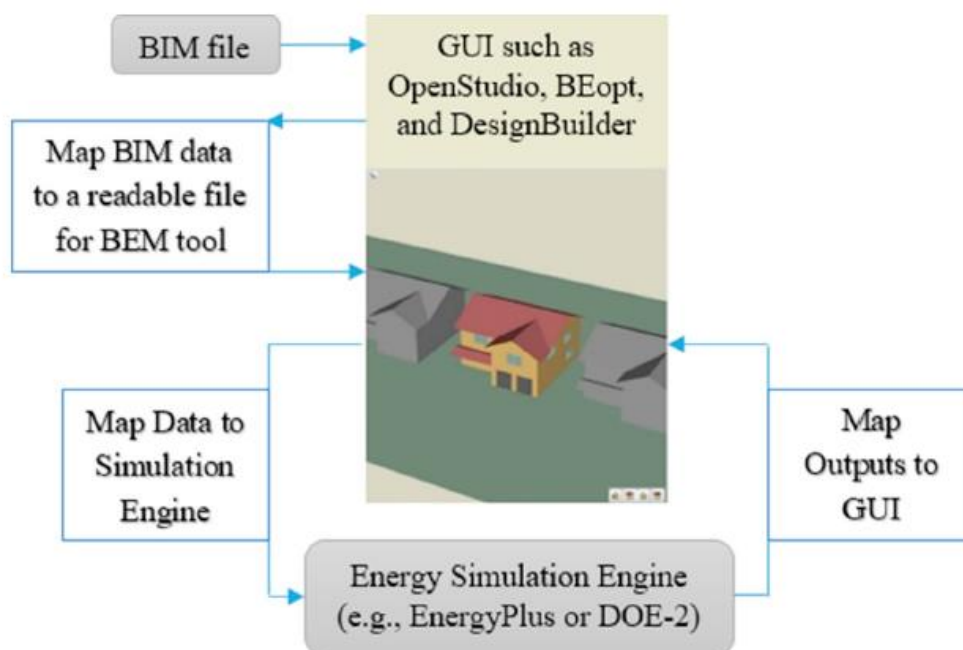
BEM įrankius paprastai sudaro du pagrindiniai komponentai: grafinė vartotojo sąsaja (angl. *graphical user interface*, GUI) ir modeliavimo variklis. Grafinė vartotojo sąsaja, pavyzdžiui, *OpenStudio*, *BEopt*, *DesignBuilder* ir *eQuest*, palengvina energinio modeliavimo procesą, nes naudotojams suteikia interaktyvią sąsają. Tačiau fone veikiantis energijos modeliavimo variklis atlieka tikruosius skaičiavimus. Plačiai naudojamų energijos modeliavimo variklių pavyzdžiai: *EnergyPlus* ir *DOE2*.



1 pav. BBIP sudedamosios dalys.

Vienas iš svarbiausių BBIP uždavinių yra pastato informacijos perkėlimas į energijos imitavimo priemones ir vėlesnis imitavimo rezultatų perkėlimas atgal į grafinę sąsają. Šie

procesai, pavaizduoti 2 pav., yra pagrindinės sritys, kuriose BBIP darbo eigoje kyla sąveikos ir duomenų integravimo problemų.



2 pav. BBIP informacijos srautas [32].

5.5. Programinė įranga, naudojanti BIM pastatų energiniam efektyvumui analizuoti

5.5.1. Open Studio



OpenStudio yra įvairioms platformoms (*Windows*, *Mac* ir *Linux*) skirtas programinės įrangos priemonių rinkinys, skirtas viso pastato energiniam modeliavimui naudojant EnergyPlus ir pažangiai dienos šviesos analizei naudojant Radiance. *OpenStudio* tai atvirojo kodo projektas, skirtas skatinti bendruomenės vystymą, plėtrą ir privačiojo sektoriaus diegimą.

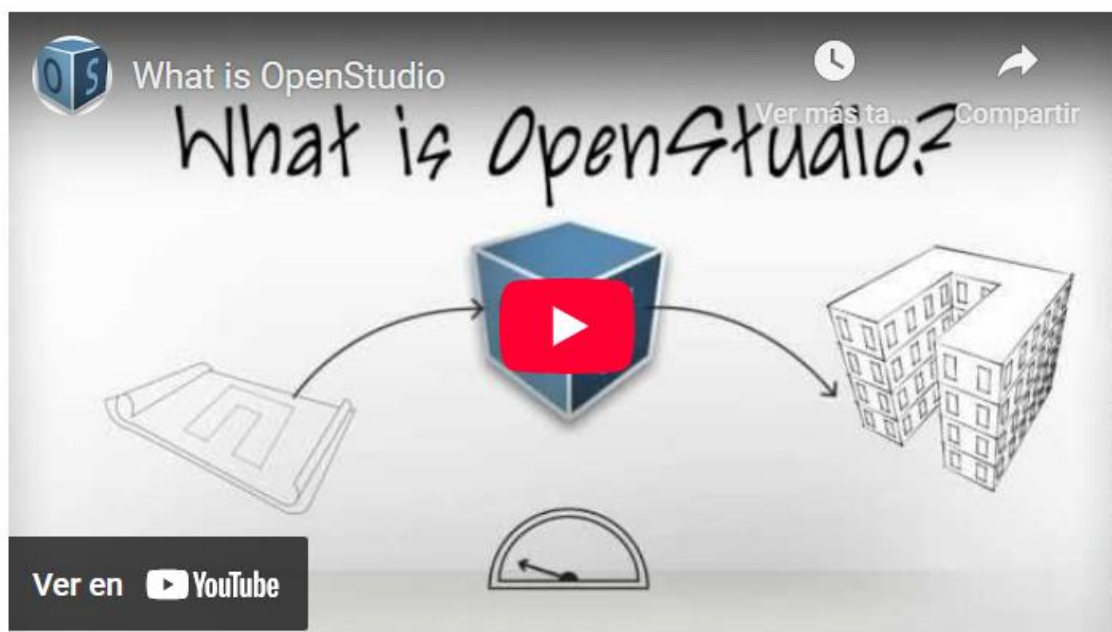
OpenStudio SDK yra programinės įrangos kūrimo rinkinys (angl. *software development kit*, SDK) ir komandinės eilutės sąsaja (angl. *command line interface*, CLI). Konceptualiai

OpenStudio SDK yra taikomųjų programų programavimo sąsaja (angl. *application programming interface, API*), skirta prieigai prie *EnergyPlus* modeliavimo variklio. Ši sąsaja suteikia daug privalumų, pavyzdžiui, stabilią, versijomis kontroliuojamą sąsają, patalpų tipologijos abstrakcijas, kurios galutiniams naudotojams palengvina pastatų modeliavimą, ir programavimo kalbų *Ruby*, *Python* ir *C-Sharp* sąsajas, kas leidžia naudotis sistema tiems, kurie yra susipažinę su šiomis kalbomis. Komandinės eilutės sąsaja (CLI) yra galingas, įvairioms platformoms skirtas įrankis, leidžiantis naudotojams paleisti *OpenStudio* paremtas darbo eigas palaikomose architektūrose, pavyzdžiui, *Linux*, *Windows* ir *Mac*.

Grafinės programos apima *OpenStudio SketchUp* įskiepi, *OpenStudio Application* ir parametrinės analizės įrankį (angl. *parametric analysis tool*). *SketchUp Plug-in* ir *OpenStudio Application* prižiūri *OpenStudio Coalition*, kuri buvo įkurta siekiant prižiūrėti ir plėtoti šias pastatų energinio modeliavimo bendruomenei skirtas grafines programas. *SketchUp Plug-in* yra populiarios *Trimble 3D* modeliavimo priemonės *SketchUp* plėtinys, leidžiantis naudotojams greitai sukurti *EnergyPlus* reikalingą geometriją. Be to, *OpenStudio* palaiko gbXML ir IFC importą geometrijai kurti.

Programa *OpenStudio Application* - tai išsami grafinė sąsaja, leidžianti kurti ir redaguoti *OpenStudio* modelius, įskaitant atitvaras, apkrovas, grafikus ir ŠVOK sistemas. *ResultsViewer* leidžia naršyti, braižyti ir lyginti modeliavimo išvesties duomenis, ypač laiko eilutes. Parametrinės analizės įrankis leidžia ištirti kelių *OpenStudio* priemonių derinių taikymo baziniam modeliui poveikį, taip pat eksportuoti analizės rezultatus EDAPT pateikimui.

Vaizdo įrašas:



Kas yra *OpenStudio*? Youtube. https://youtu.be/ovLt4-q_Ueg

5.5.2. DesingBuilder



<https://designbuilder.co.uk/>

DesignBuilder – modulinis sprendimas, kurį sudaro pagrindinis trimatis modeliavimo įrankis ir 11 modulių, kurie veikia kartu ir leidžia atlikti išsamią bet kokio pastato analizę. Visi moduliai yra pilnai integruoti tarpusavyje, todėl naudotojas gali pasirinkti atskirus modulius pagal poreikį arba įsigyti vieną iš siūlomų programinių paketų.

Programiniai paketai yra suformuoti atsižvelgiant į dažniausiai pasitaikančius modulių derinius skirtingoms naudotojų grupėms (žr. žemiau). Moduliai taip pat gali būti įsigijami atskirai, o organizacijoms siūlomos tinklinės licencijos su bet kokia modulių kombinacija. Norėdami gauti daugiau informacijos, spustelėkite modulio pavadinimą.

Moduliai:

- [3-D Modeller](#) - pagrindinis modulis, skirtas efektyviam trimačiam pastato modeliui kurti.
- [Visualisation](#) - vizualizavimas - stulbinantys atvaizdai ir vietovės šešėliavimo analizė.
- [Certification](#) - Pastato (arba statinio) energinio naudingumo sertifikatas (angl. *energy performance certificates*, EPC) ir Part-L2 statybos reglamento dalies atitikties skaičiavimai ir ataskaitos (Jungtinėje Karalystėje ir Airijoje statybos reglamento dalis, skirta pastatų energinio efektyvumo reikalavimams).
- [Simulation](#) - *EnergyPlus* modeliavimas, skirtas energijos ir komforto analizei.
- [Daylighting](#) - dienos šviesos koeficientų ir apšviestumo ataskaitos naudojant *Radiance*.
- [HVAC](#) - lanksti sąsaja su *EnergyPlus* ŠVOK sistemų modeliavimui.
- [Cost](#) - pastato sąnaudų įvertinimas ankstyvame projektavimo etape.
- [LEED](#) - *LEED* EAp2 ir *ASHRAE* 90.1 skaičiavimai (ataskaitų paruošimas sertifikavimui).
- [Optimisation](#) - Daugiakriterinis optimizavimas, padedantis pasiekti projektavimo tikslus.
- [Scripting](#) - *EnergyPlus* simuliacijų pritaikymas naudojant *EMS* arba *FMU*.

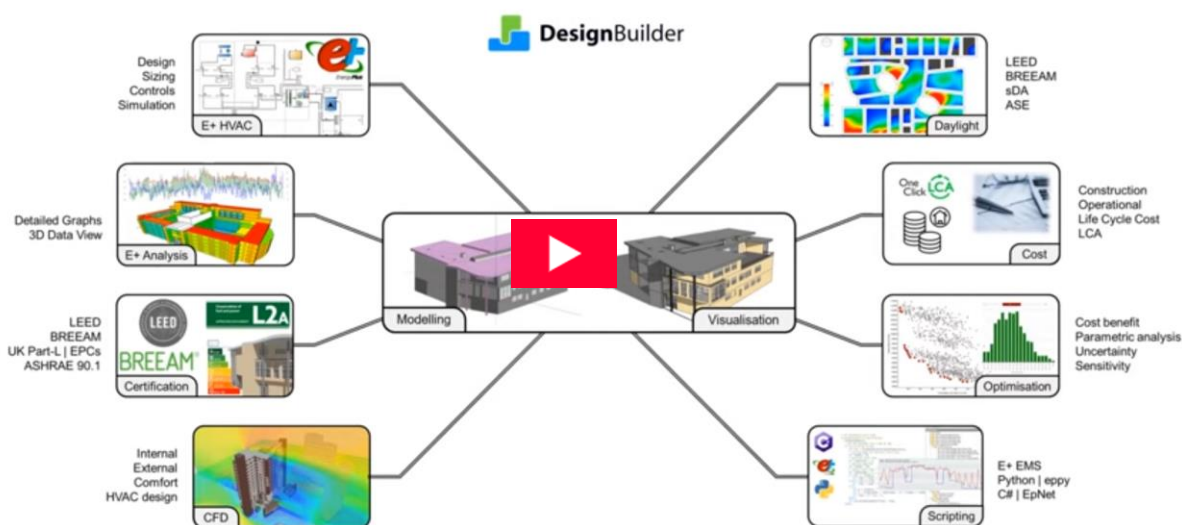


- CFD - Skaičiuojamoji skysčių dinamika (angl. *computational fluid dynamics*, CFD) apskaičiuoja oro savybių pasiskirstymą pastatuose ir aplink juos.

DesignBuilder suteikia galimybę

- Generuoti įvairius išvesties duomenis ir ataskaitas, padedančias palyginti projektavimo alternatyvas.
- Optimizuoti pastatą bet kuriame projektavimo etape, atsižvelgiant į užsakovo tikslus.
- Modeliuoti net sudėtingus pastatus taupant laiką ir darbo sąnaudas.
- Importuoti esamus BIM ar CAD projektus ir taip paspartinti duomenų suvedimą.
- Generuoti įspūdingus vizualinius vaizdus bei animacijas.
- Supaprastinti *EnergyPlus* šiluminį modeliavimą.

Vaizdo įrašas:

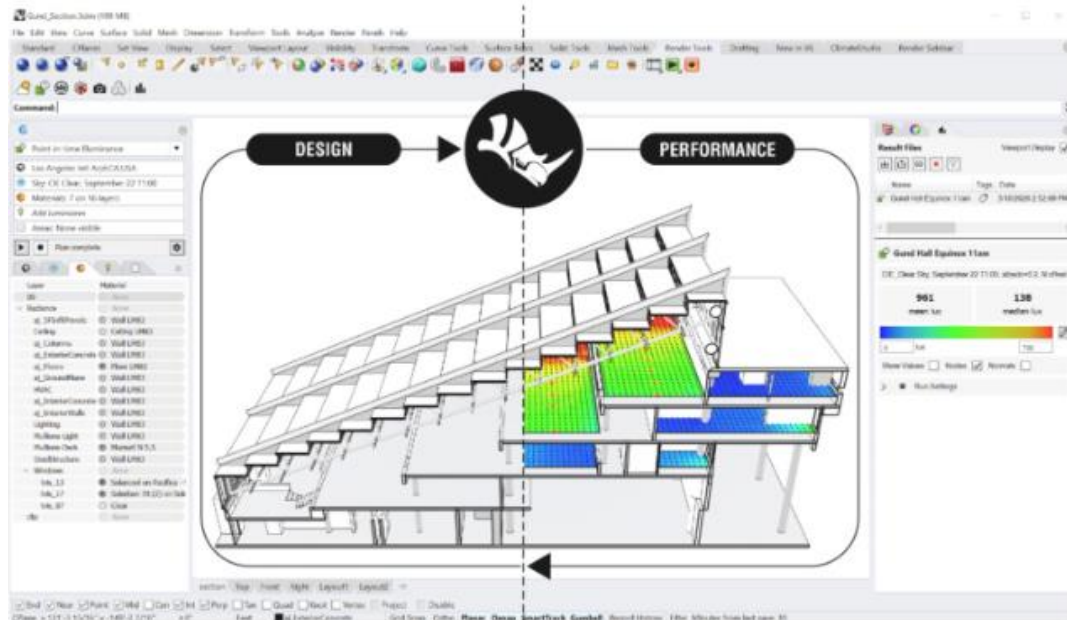


DesignBuilder. Youtube. https://youtu.be/64dRTd_4NLQ

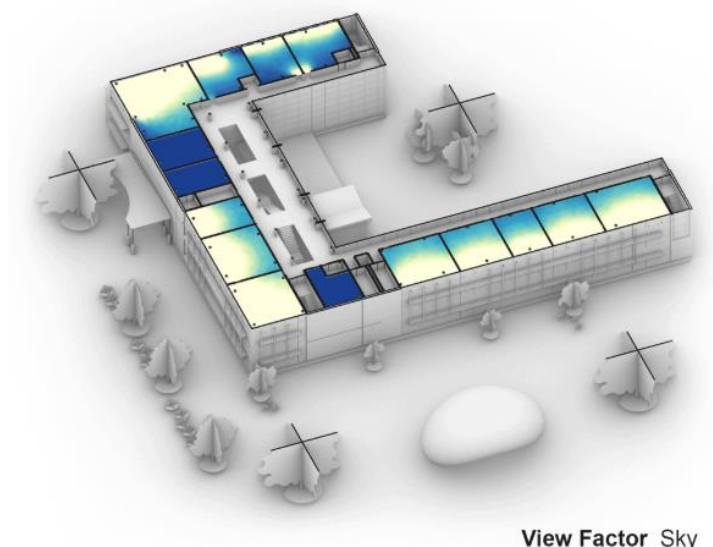
5.5.3. ClimateStudio



<https://www.solemma.com/climatestudio>



ClimateStudio - tai greičiausia ir tiksliausia aplinkosauginio efektyvumo analizės programinė įranga, skirta architektūros, inžinerijos ir statybos (AEC) sektoriui. Jos modeliavimo darbo eigos padeda projektuotojams ir konsultantams optimizuoti pastatų energinį efektyvumą, dienos šviesos prieinamumą, elektrinio apšvietimo efektyvumą, vizualinį ir terminį komfortą bei kitus gyventojų sveikatai svarbius rodiklius. *ClimateStudio* yra *Rhinoceros 3D* programos papildinys, reikalaujantis naujausios 6, 7 arba 8 versijos paslaugų paketo.



View Factor Sky

ClimateStudio funkcijos:

GREITAS IR TIKSLUS

ClimateStudio sukurta remiantis *EnergyPlus* ir nauja, *RADIANCE* pagrįsta spindulių sekimo technologija. Tai greičiausia ir tiksliausia modeliavimo programinė įranga rinkoje – greitesnė už debesų kompiuterijos įrankius ir tikslesnė už *DIVA-for-Rhino*. Galiausiai – patikimi rezultatai 1000 kartų greičiau.

LENGVA NAUDOTI

Vieno paspaudimo vedliai ir intuityvūs rezultatai leidžia *ClimateStudio* naudotis lengvai ir suprantamai. Tuo tarpu ekspertams suteikiamos galimybės pilnai valdyti pasirinktinius nustatymus.

SUKURTA REALIAM PASAULIUI

ClimateStudio turi tūkstančius medžiagų, konstrukcijų ir šablonų, paremtų realiais matavimais ir patvirtintais šaltiniais. Nesvarbu, ar naudojami *DOE* etalonai, *ASHRAE* standartai ar stiklo gaminiai iš *IGDB* – *ClimateStudio* projektai visuomet grindžiami realybe.

KLIMATO ANALIZĖ

Į *ClimateStudio* įtraukta daugiau kaip 30 000 orų duomenų failų biblioteka, kurioje galima atlikti paiešką, ir siūloma interaktyvi temperatūros, drėgmės, vėjo, radiacijos ir *UTCI* sąlygų vizualizacija vietoje.

SAULĖS KELIO IR ŠEŠĖLIŲ TYRIMAI

Atliekamos saulės kampų ir šešėlių vizualizacijos, siekiant išryškinti pasyvaus projektavimo galimybes ir poveikį vietai.

LEED DIENOS APŠVIETIMO ATITIKTIS

ClimateStudio tiksliai apskaičiuoja erdvinę dienos šviesos autonomiją (angl. *spatial daylight autonomy*, sDA) ir pateikia automatinę ataskaitą, naudodama dinaminį šešėliavimą ir naujausius LM-83 standartus.

METINIS DIENOS ŠVIESOS AKINIMAS

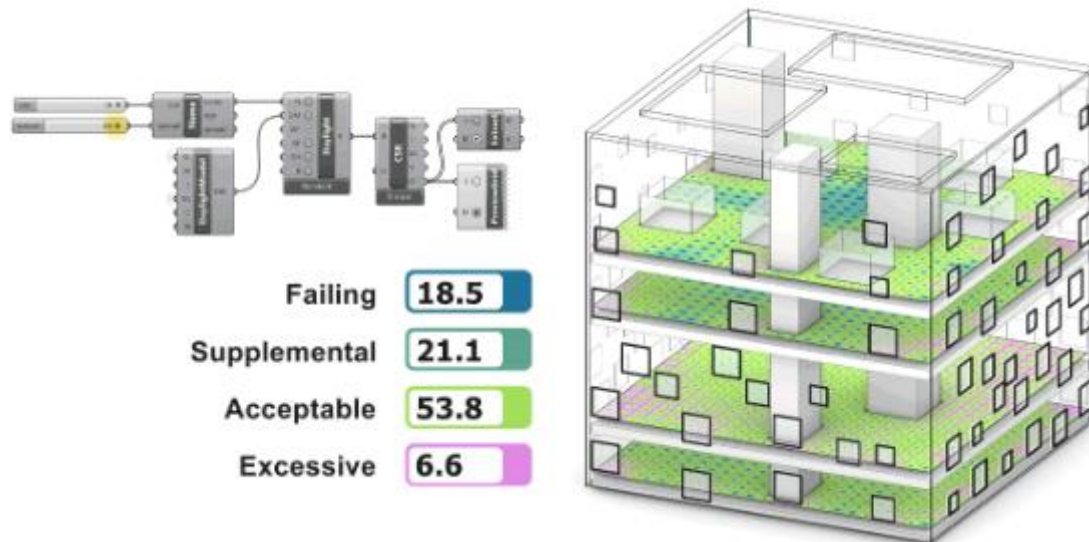
Akinimo iš šimtų žiūrėjimo pozicijų, kiekvieną metų valandą, vertinimas per kelias sekundes.

KELIŲ ZONŲ ENERGIJOS MODELIAVIMAS

Dėl pilnai išvystytos vartotojo sąsajos, automatinio gretimybės nustatymo ir interaktyvių rezultatų *ClimateStudio* labai palengvina kelių zonų energijos modeliavimą.

PARAMETRINIAI ĮRANKIAI

ClimateStudio suteikia visiškai parametrinį dienos šviesos ir energijos modeliavimo palaikymą per *Grasshopper*.



ATSINAUJINANTI ENERGIJA

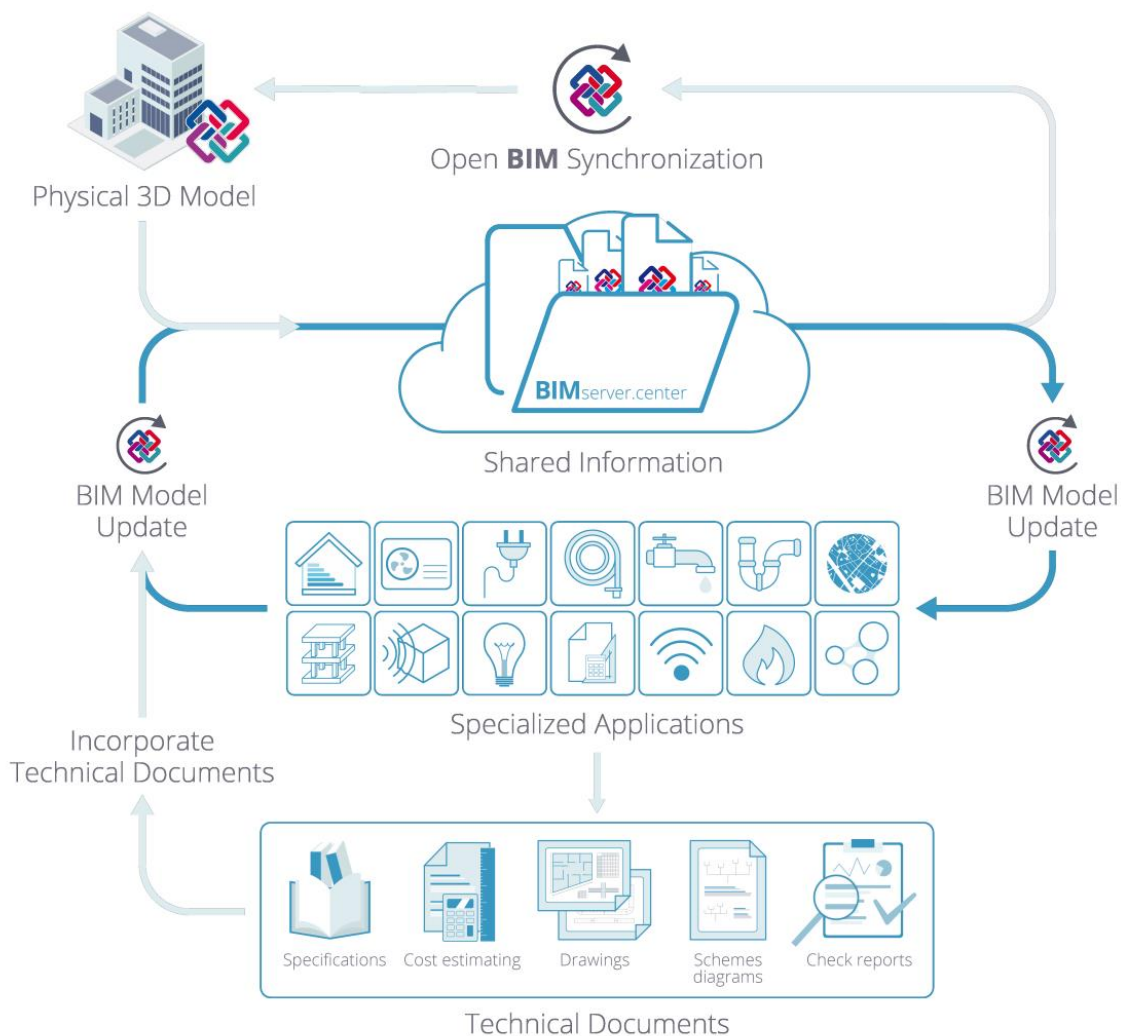
Galimybė simuliuoti saulės energijos (fotovoltinių modulių) veikimą, siekiant kompensuoti energijos poreikius arba parodyti neutralų (net-zero) energijos balansą. Į analizę galimos įtraukti baterijų saugojimas ir kintamos elektros energijos kainos.

5.5.4. Cype paketas - CypeTherm E+

OpenBIM darbo eiga su Cype

Naudojant *BIMserver.center*, užtikrinamas tiesioginis ryšys tarp visų naudotojų ir taikomųjų programų, dalyvaujančių projekte, kuris yra vystomas pagal *Open BIM* darbo eigą.

Naudojant atnaujinimo paslaugą debesyje, *BIMserver.center* leidžia valdyti ir dalintis visais BIM projekto failais, suteikiant priemones gerai organizacijai ir komunikacijai tarp vartotojų, kuriems suteikta teisė dalyvauti projekte.

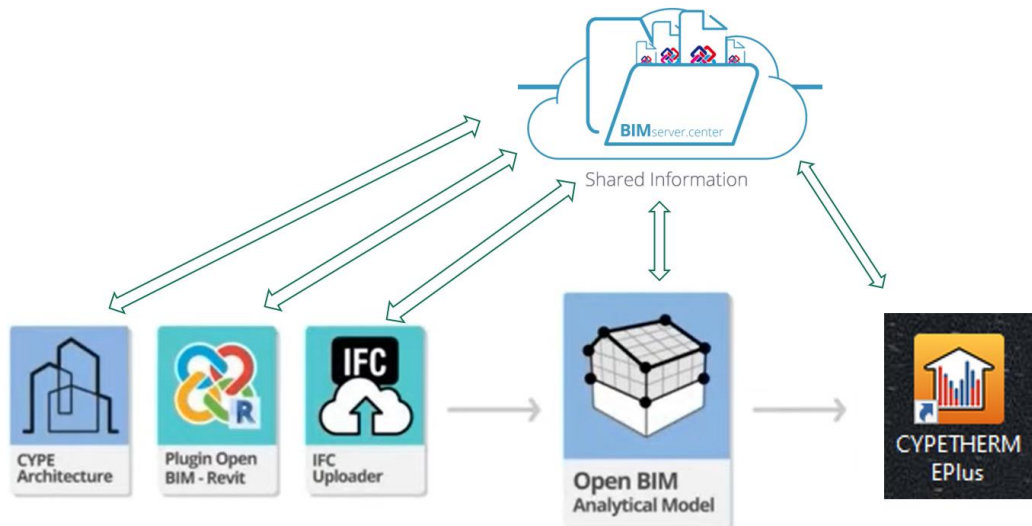


Be to, projekto atsakingi asmenys gali valdyti leidimus ir prieigas kiekvienam projektui ir kiekvienam įgaliotam vartotojui, netgi suteikiant galimybę pateikti pastabas ar pasiūlymus bet kuriam *BIMserver* naudotojui, norinčiam dalyvauti projekte.

Energijos našumo analizės darbo eiga su Cype

Yra kelios galimos darbo eigos, skirtos pastatų energinio naudingumo analizei atlikti su *Cype* programomis. Šioje pamokoje pateiksime dvi iš jų.

Energy analysis workflow



1 darbo eiga.

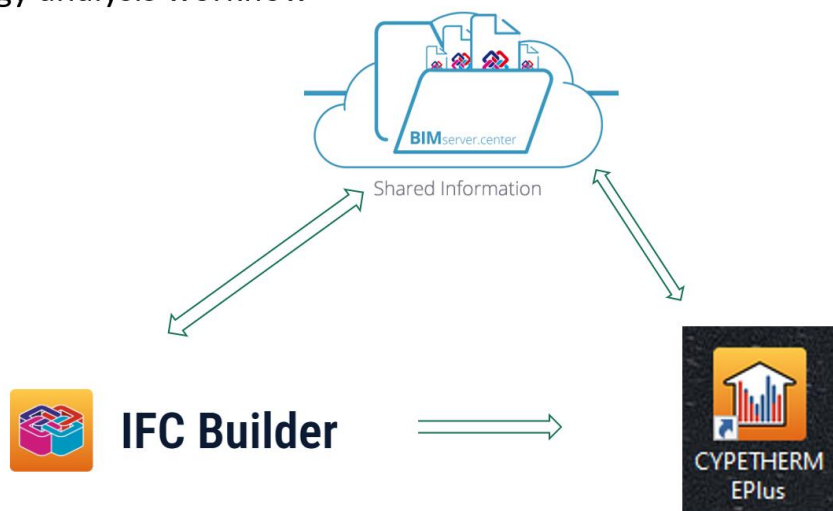
1 darbo eiga: naudojamas BIM modeliavimo įrankis, kuriuo gali būti *Cype Architecture*, *Revit* arba kita programinė įranga, kuri sukuria pastato BIM modelį IFC4 formatu.

Kai BIM modelis sukurtas IFC formatu, jis siunčiamas į *BIMServerCenter*, iš kur *OpenBIM Analytical Model* programinė įranga jį atsisiunčia, kad sukurtų pastato analitinį modelį, kuriame yra informacija apie pastato erdves ir tūrius. Tuomet *OpenBIM Analytical Model* atsiunčia analitinį modelį atgal į *BIMServerCenter*.

Kitas žingsnis – naudoti *CypeTHERM Eplus*, kuris, pasinaudodamas iki šiol *BIMServerCenter* sukurtomis modelių versijomis, baigia apibrėžti pastato energijos modelį (šildinimo sluoksnių savybes, HVAC sistemas, klimatą, saulės spinduliuotę, termines apkrovas, komforto lygius ir kt.) bei atlieka energijos analizę naudojant *EnergyPlus* variklį.

Pasirinkus 2 darbo eigą, reikalingos tik dvi *Cype* programos: *IFC Builder*, skirtos pastato BIM modeliui kurti, ir *CypeTHERM Eplus*, skirtos energijos analizei atlikti.

Energy analysis workflow



2 darbo eiga.

CypeTherm E Plus



CYPETHERM EPlus

CYPETHERM EPlus - CYPE

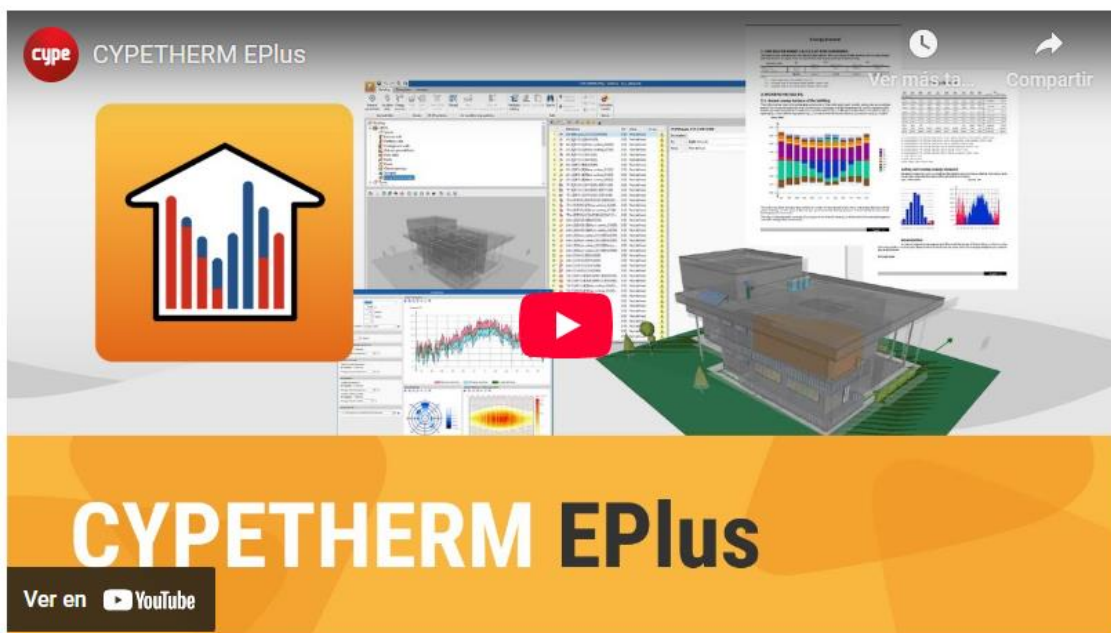
CYPETHERM EPlus yra programa, sukurta pastatų energijos modeliavimo ir simuliacijos darbams vykdyti, naudojant *EnergyPlus™* variklį.

CYPETHERM EPlus integruojasi į *Open BIM* darbo eigą per IFC standartą. Programa turi šias funkcijas:

- Importuoja pastato geometrinį modelį iš IFC failų, sugeneruotų CAD/BIM programų, tokių kaip *IFC Builder* (nemokama *CYPE* programa), *Allplan®*, *Archicad®* ar *Revit®*.
- Importuoja pastato vėdinimo ir kondicionavimo įrenginių diegimą, apibrėžtą gamintojų sistemomis, iš IFC failų, sukurtų *Open BIM DAIKIN*, *Open BIM FUJITSU* ir *Open BIM VAILLANT* programų.
- Simuliuoja plačiai paplitusias pastatų vėdinimo ir kondicionavimo sistemas, įskaitant gamintojų iš anksto apibrėžtą įrangą.
- Integruoja tarptautinius reglamentus ir patvirtintas instrukcijas, apibrėžiančias pastato šilumines savybes.
- Atlieka paviršinių ir tarpinio kondensato patikrą.
- Automatiškai nustato pastato šalčio tiltelius pagal BIM modelio kraštus.

- Parengia ataskaitas apie pastato energijos simuliacijos rezultatus: energijos poreikį, energijos suvartojimą, patalpų komforto rodiklius.
- Analizės rezultatų eksportavimas į *CYPETHERM Improvements Plus*, siekiant atlikti skirtingų pastato projektinių sprendinių energetines ir ekonomines analizes.

Vaizdo įrašas



CypeTherm EPlus. Youtube. <https://youtu.be/YCWqrHs5txQ>

6. Rezultatai

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

7. Ko išmokome

BIM vaidmuo didinant energijos vartojimo efektyvumą pastatuose.

BIM vaidmuo kuriant tvarius pastatus.

BIM 6^{-osios} dimensijos nauda.

Šiuolaikinės technologijos skirtos BIM taikymo pastato energiniam modeliui (BEM) kurti.

Programinių įrangų, kuriose BIM naudojamas pastatų energiniam efektyvumui vertinti, pavyzdžiai.

Šaltiniai

1. Alkhatib F., Kasim N., Goh W. I., Shafiq N., Amran M., Kotov E. V., Albaom M. A. Computational aerodynamic optimization of wind-sensitive irregular tall buildings. *Buildings*. 2022; 12:939.
2. Acquaye A. A., Duffy A. P. Input–output analysis of Irish construction sector greenhouse gas emissions. *Building and Environment*. 2010; 45:784–791.
3. Ham Y. Vision-based building energy diagnostics and retrofit analysis using 3D thermography and building information modeling [doctoral dissertation]. Urbana–Champaign: University of Illinois; 2015.
4. Sagheb A., Vafaeihosseini E., Ramancharla P. K. The role of building construction materials on global warming: lessons for architects. In: *National Conference on Recent Trends in Civil Mechanical Engineering*; 2011. Prieiga per: <https://www.researchgate.net/publication/269031946>.
5. De Lasso J., França J., Espirito Santo K., Haddad A. Case study: LCA methodology applied to materials management in a Brazilian residential construction site. *Journal of Engineering*. 2016; 2016.
6. Jin R., Zhong B., Ma L., Hashemi A., Ding L. Integrating BIM with building performance analysis in project life-cycle. *Automation in Construction*. 2019; 106:102861.
7. Hamzah M., Jamshidi A., Shahadan Z., Hasan M. M., Yahaya A. Evaluation of engineering properties and economic advantages of WMA using local materials. *Journal of Applied Sciences (Faisalabad)*. 2010; 10:2433–2439.
8. Initiative C. *Buildings and climate change*. 2009.
9. Motawa I., Carter K. Sustainable BIM-based evaluation of buildings. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2013; 74:419–428.
10. Rahmani Asl M., Zarrinmehr S., Yan W. Towards BIM-based parametric building energy performance optimization. 2013.
11. Azhar S., Brown J., Sattineni A. A case study of building performance analyses using building information modeling. In: *Proceedings of the 27th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC-27)*; 2010; Bratislava, Slovakia. p. 25–27.
12. Zaid S., Graham P. The need for energy efficiency legislation in Malaysian building sector: a comparative study of South East Asian policies. 2012.
13. Tantawy D. A. Using building information modeling for green interior simulation and analysis. *International Journal of Contemporary Applied Sciences*. 2015; 2:262–279.
14. Shoubi M. V., Bagchi A., Barough A. S. Reducing the operational energy demand in buildings using building information modeling tools and sustainability approaches. *Ain Shams Engineering Journal*. 2015; 6:41–55.
15. Carvalho J. P., Bragança L., Mateus R. Sustainable building design: analysing the feasibility of BIM platforms to support practical building sustainability assessment. *Computers in Industry*. 2021; 127:103400.

16. Zhu H. Practice on green design of building energy efficiency based on BIM computational model. *New Tech.* 2014; 18:678–681.
17. Ryu H.-S., Park K.-S. A study on the LEED energy simulation process using BIM. *Sustainability.* 2016; 8:138.
18. Alkhatib F., Alawag A. M., Daris A. Building Information Modelling (BIM) and energy performance of building – a review. *Journal of Applied Artificial Intelligence.* 2021; 2:22–31.
19. National Institute of Building Sciences. *National BIM Standard – United States® Version 3.* Washington, DC; 2013 [žiūrėta 2017-01-15]. Prieiga per: http://mddb.apec.org/Documents/2013/SCSC/WKSP5/13_scsc_wksp5_007.pdf
20. Krygiel E., Nies B. *Green BIM: successful sustainable design with Building Information Modeling.* Indianapolis (IN): Wiley; 2008. ISBN 978-0-470-23960-5.
21. Smith D. K., Tardif M. *Building information modeling – a strategic implementation guide.* Hoboken (NJ): John Wiley & Sons; 2008. ISBN 978-0-470-25003-7.
22. Kreider R., Messner J., Dubler C. Determining the frequency and impact of applying BIM for different purposes on projects. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Innovation in Architecture, Engineering and Construction (AEC)*; 2010; University Park, PA, USA [žiūrėta 2017-01-15]. Prieiga per: http://bim.psu.edu/uses/Freq-Benefit/BIM_Use-2010_Innovation_in_AEC-Kreider_Messner_Dubler.pdf
23. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. *BIM Handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors.* New Jersey: John Wiley & Sons; 2011. ISBN 978-0-470-54137-1.
24. Woo J.-H., Diggelman C., Abushakra B. BIM-based energy monitoring with XML parsing engine. In: *Proceedings of the 28th ISARC*; 2011; Seoul, Korea. p. 544–545 [žiūrėta 2017-01-15]. Prieiga per: http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC23692.pdf
25. Young N. W. Jr., Jones S. A., Bernstein H. M., Gudgel J. E. *The business value of BIM.* New York: McGraw Hill; 2009 [žiūrėta 2017-01-15]. Prieiga per: http://images.autodesk.com/adsk/files/final_2009_bim_smartmarket_report.pdf
26. Ramaji I. J., Messner J. I., Leicht R. M. Leveraging building information models in IFC to perform energy analysis in OpenStudio. In: *ASHRAE and IBPSA-USA SimBuild 2016*; 2016; Salt Lake City, UT [žiūrėta 2017-01-15]. Prieiga per: <http://ibpsa-usa.org/index.php/ibpusa/article/view/365/351>
27. Chong H.-Y., Lee C.-Y., Wang X. A mixed review of the adoption of Building Information Modelling (BIM) for sustainability. *Journal of Cleaner Production.* 2017; 142:4114–4126. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.222>
28. Mohamed Khodeir L., Ali Nessim A. BIM2BEM integrated approach: examining status of the adoption of building information modelling and building energy models in Egyptian architectural firms. *Ain Shams Engineering Journal.* 2017. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2017.01.004>

29. Lee C.-Y., Chong H.-Y., Wang X. Streamlining digital modeling and building information modelling (BIM) uses for oil and gas projects. *Archives of Computational Methods in Engineering*. 2016; 1–48.
<https://doi.org/10.1007/s11831-016-9201-4>
 30. Azhar S., Carlton W. A., Olsen D., Ahmad I. Building information modeling for sustainable design and LEED® rating analysis. *Automation in Construction*. 2011; 20(2):217–224.
 31. Wong J. K. W., Fan Q. Building information modelling (BIM) for sustainable building design. *Facilities*. 2013; 31(3/4):138–157.
 32. Kamel E., Memari A. M. Review of BIM's application in energy simulation: tools, issues, and solutions. *Automation in Construction*. 2019; 95:164–180.
- 2 pav. Kamel E., Memari A. M. Review of BIM's application in energy simulation: tools, issues, and solutions. *Automation in Construction*. 2019; 95:164–180.