



TALLINNA TEHNICAÜLIKOO  
INSENERITEADUSKOND  
Tartu Kolledž

**PUIESTEE 80A ABSTRAHHEERITUD DIGITAALSE  
MUDELI LOOMINE RUUMI SISEKLIIMAST**

**CREATION OF AN ABSTRACT DIGITAL MODEL OF THE  
INDOOR CLIMATE OF PUIESTEE 80A**

RAKENDUSKÕRGHARIDUSE TÖÖ

Üliõpilane: Aleksander Udentsov

Üliõpilaskood 207865EDTR

Juhendaja: Taavi Kase, Insener

Tartu 2023

(Tiitellehe pöördel)

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

10.01. 2024

Autor: Aleksander Udentsov

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

10.01. 2024

Juhendaja: Taavi Kase

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

".....".....201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina Aleksander Udentsov (*autori nimi*) (sünnipäev 29.01.2001)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Puiestee 80A abstraheeritud digitaalse mudeli loomine ruumi sisekliimast,

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on Taavi Kase,

(*juhendaja nimi*)

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

---

\_\_\_\_\_ (kuupäev)

---

<sup>1</sup> Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

# TalTech Tartu kolledž

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Aleksander Udentsov, 207865EDTR (nimi, üliõpilaskood)  
Õppekava, peeriala: EDTR17/18, Küberfüüsikalised süsteemid(kood ja nimetus)  
**Juhendaja(d):** Insener, Taavi Kase, 53989158 (amet, nimi, telefon)

### Lõputöö teema:

Puiestee 80A abstrahheeritud digitaalse mudeli loomine ruumi sisekliimast  
Creation of an abstract digital model of the indoor climate of Puiestee 80A

### Lõputöö põhieesmärk:

1. Modelleerida Puiestee 80A Eluslabori abstraktne mudel ruumi sisekliima käitumisest, arvestades nii välisõhu parameetreid kui ka inimeste käitumist ruumis kasutades itemis CREATE või Anylogic tarkvara.

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kirjanduse ülevaade	
2.	Itemis CREATE ja Anylogic tarkvaradega tutvumine	
3.	Ruumide sisekliima käitumise modelleerimine	

**Töö keel:** Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** 10.01.2024a

**Üliõpilane:** Aleksander Udentsov ..... 10.01.2024a  
/allkirjastatud digitaalselt/

**Juhendaja:** Taavi Kase ..... 10.01.2024a  
/allkirjastatud digitaalselt/

**Programmijuht:** Aime Ruus ..... ".....".....2022a  
/allkiri/

*Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel*

# SISUKORD

EESSÕNA .....	6
SISSEJUHATUS .....	7
1 LÄHTEÜLESANNE .....	9
2 DIGITAALNE MUDEL .....	10
2.1 Digitaalne kaksik .....	10
2.2 Lõplik olekumasin .....	11
2.3 Anylogic .....	11
2.4 Itemis CREATE .....	14
3 ALTERNATIIVSED TARKVARAD .....	16
3.1 Xcos.....	16
3.2 Stateflow .....	17
4 PUIESTEE 80A ÕPPEHOONE ELUSLABOR.....	20
4.1 Puiestee 80A õppehoone automaatikast.....	21
5 RUUMI SISEKLIIMA MUDEL .....	24
5.1 Mudeli skeemi olekud .....	26
5.2 Mudeli skeemi liidesed, sündmused ja muutujad .....	28
5.3 Olekute omavaheline dünaamika .....	32
6 TULEMUSTE ANALÜÜS .....	37
KOKKUVÕTE .....	39
SUMMARY.....	41
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	42
LISAD .....	45
Lisa 1 Varasem joonis pilvelabori hetkeseisust ja perspektiividest .....	46

## **EESSÕNA**

Antud rakenduskõrghariduse lõputöö teema on sõnastatud juhendaja algatusel. Töös kasutatud põhilised algandmed on kogutud Tallinna Tehnikaülikooli Tartu kolledžist. Õppehoone ja ruumide automaatikast andmete kogumisel oli suureks abiks juhendaja Taavi Kase.

Käesoleva lõputöö autor soovib tänada juhendajat insener Taavi Kase. Juhendaja oli abivalmis küsimuste tekkimisel ning andis kiirelt tagasisidet tehtud tööle.

Simulatsioon, digitaalne mudel, sisekliima, itemis CREATE, rakenduskõrgharidustöö

## SISSEJUHATUS

Suure süsteemi loomine on keeruline ning aega nõudev protsess. Suurel süsteemil on väga palju muutujaid, millega tuleb arvestada ning muutujate omavaheline suhtlemine võib mudeli käitumist teha ennustamatuks. Testide läbiviimine realses keskkonnas suure süsteemiga võib osutuda ka keeruliseks ja aega nõudvaks. Selleks, et aidata paremini aru saada mudeli tööst ning läbi viia teste kiiremini aitab kaasa digitaalne simulatsioonimudel.

TalTech Tartu kolledžis on enda Eluslabor A-hoonest, mis tähendab, et hoonet vaadeldakse kui üksteisega suhtlevaid võrkude süsteemi. Kolledži kontekstis on eluslabori osaks hooneautomaatika ning selle eesmärk on uurida hoone füüsikalist käitumist, energia tarbimist ja logida andurite ja täiturite tööd. Tartu kolledži üheks perspektiiviks on luua hoonest digitaalne kaksik ning selle üheks osaks on mudelite loomine Eluslaboris asuvatest ruumidest [1]. Üks osa Eluslaborist on ruumi sisekliima, mida jälgivad ja reguleerivad andurid ja täiturid. Lõputöö eesmärgiks on luua ruumi sisekliima abstraktne mudel, mis on võimeline arvestama nii välisõhu parameetritega kui ka inimeste käitumisega. Kolledžis mudeli loomiseks on võimalik kasutada kahte tarkvara, Anylogic ja itemis CREATE.

Autori tööks on luua abstraktne mudel ruumi sisekliimast, mis on võimeline arvestama ka välisõhu andmetega ja inimeste käitumisega. Mudel on lõplik olekumasin. Mudel on jaotatud kolme piirkonda. Esimeseks piirkonnaks on ruumi piirkond, milles toimuvad protsessid, mis on seotud ruumi sisekliimaga. Teiseks on piirkond, mis vastutab inimeste käitumise eest mudelis ning kolmandaks on piirkond, mis vastutab ruumist välise õhu eest. Kõik kolm piirkonda on võimelised üksteist mõjutama.

Lõputöö esimeses peatükis tutvustatakse lähteülesannet. Teise peatüki esimeses osas kirjeldatakse digitaalse mudeli, digitaalse kaksiku ning lõpliku olekumasinana mõisteid ning nende seotust lõputööga. Teise peatüki teises osas ning kolmandas peatükis tehakse lühiülevaade kolledžis olevatest ja alternatiivsetest tarkvaradest mudeli loomiseks. Neljandas peatükis kirjeldatakse Puiestee 80A õppehoone automaatikat. Töö praktiliseks osaks on viies ja kuues peatükk. Viiendas peatükis, kirjeldatakse loodud mudelit, selle olekuid, liideseid, sündmuseid ja muutujad. Viimases, kuuendas peatükis analüüsitakse saadud tulemused.

Sellel teemal on varem tehtud üks lõputöö, mille teemaks oli trepikoja valgustusest digitaalse mudeli loomine. Lõputöö tegevuse protsessis oli pööratud tähelepanu ruumis

kasutatavatele seadmetele ja nende omadustele süsteemis. Leiti, et saab kasutada itemis CREATE ja Anylogic tarkvarasid selleks, et luua digitaalset mudelit. Valgustussüsteemi täpse koopia loomine osutus liiga mahukaks ning seetõttu loodi digitaalne mudel, mille osi saab eraldi katsetada, kuid mitte kõik korraga. Sellest võib oletada, et ka sisekliima täpne modelleerimine võib osutuda liiga mahukaks. Lõputöö tulemusena loodud digitaalne mudel aitas süsteemi optimeerimisele kaasa [2].

Oli läbi viidud uuring Soome NZEB päevahoidudes ja koolide sisekliimast ja tegelikust energiatõhususest ning simulatsioonide abiga, mis simuleerisid kütte ja jahutussüsteeme, suudeti leida, et oli võimalik vähendada energiakasutust 1,9 kuni 3,1 korda tagades hea soojusmugavuse ja ruumi õhu kvaliteedi. See aitab kaasa hüpoteesile, et simulatsioonid aitavad kaasa süsteemide optimeerimisele [3]. Teises artiklis oli kasutatud simulatsioone selleks, et testida mudelite sisekliima optimeerimisvõimekust [4]. Simulatsioonide abi on kasutatud ka sisemuse mudeli loomisel. Lisaks sellele uuriti ka energia vajadust ning linnakliima ja ehitiste vahelist koostoimet. Leiti, et sise- ja välistemperatuuri erinevusest tulenev soojusülekanne, ventilatsioonist tingitud soojuse ülekandmine ja hoone kiirgussoojusülekanne ehitise ja linnakliima vahel tulemuseks on tugev vastastikmõju ehitatud keskkonna ja linnakliima vahel. Leiti ka samas, et iga hoone varustamine toob kaasa inimtekkelise heitesoojuse, mis omakorda soojendab või jahutab välisõhku [5]. Simulatsioone kasutati ka selleks, et arvutada välja vajalikud ventilatsioonivahemiku määrad tervishoiuasutustes. Simulatsiooni läbiviimiseks oli kasutatud Anylogic tarkvara. Simulatsioonid näitasid, et valitud haiglates oli selgesti näha erinevus olemasolevate ventilatsioonide tulemuste ja nõutavate ventilatsioonide tulemuste vahel. Tulemusena leiti, et tuleb moderniseerida ventilatsioonid nendes kohtades [6].



# 1 LÄHTEÜLESANNE

Tallinna Tehnikaülikooli Tartu kolledži küberfüüsikaliste süsteemide õppekavas on väljendatud soov arendada digikaksikut õppehoone Eluslabori baasil selleks, et seda tuleviks saaks kasutada Eluslabori edasiseks arenduseks. Soovist edasi arenes vajadus luua Eluslabori õppehoone mudelit sisekliimast, mis on võimeline arvestama ka välisõhu loetavatest parameetritest ning inimese käitumist ruumis. Eluslabori ruumid asuvad aadressil Puiestee 80A. Eesmärk on luua abstraktne mudel Eluslabori ruumi sisekliimast, mida saab kasutada abina hoones asuvate konkreetsete ruumide mudelite loomiseks.

Antud lõputöö raames on plaanis kaardistada andmete liikumine serverisse nimega MeiePilv, mudeldada seadmete tööd ning mudeldada inimeste käitumist ruumis. See tähendab, et simulatsioon peab töötama võimalikult reaalse elu lähedaselt ehk mudelis kajastub see, kuidas automaatika töötab, kuidas andmeid logitakse ning ka see, kuidas inimeste käitumine automaatika tööd mõjutab. Ideaalis mudel on võimeline arvestama andmetega, mis on logitud MeiePilve. Mudeli loomiseks on kasutada Anylogic või itemis CREATE tarkvarasid.

## **2 DIGITAALNE MUDEL**

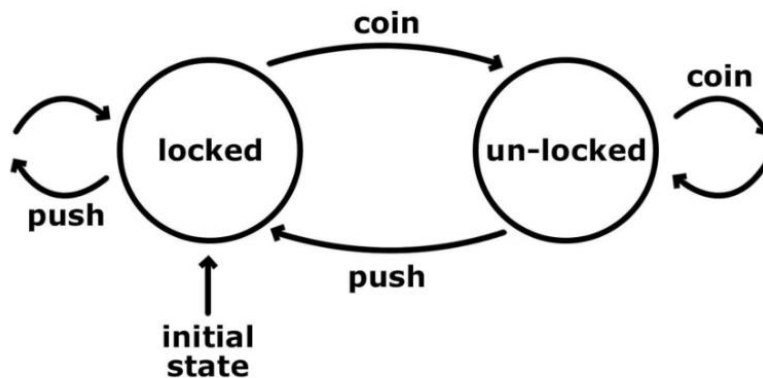
Üldiselt mudel on objekti või süsteemi informatiivne, lihtsustatud esitus. Digitaalseid mudelit on võimalik defineerida mitmeti. Digitaalsed mudelid on simulatsioonid mingist keskkonnast või inimestest selles keskkonnas. Digitaalsed mudelid on tavaliselt mingi objekti virtuaalne kahe- või kolmemõõtmeline esitus, mida saab kasutada objekti töö simuleerimiseks ja analüüsimiseks. Digitaalne mudel on toote 3D-esitus [7]. Digitaalse modelleerimise eesmärk on võimaldada disaineritel luua füüsilisi mudeleid, mida saab kasutada disaini edukuse testimiseks. Digitaalse modelleerimise ja valmistamise potentsiaalsed kasutusalaad hõlmavad mitmesuguseid tööstusharusid, alates arhitektuurist kuni disainini [8]. Digitaalseid mudeleid kasutatakse teiste mudelite, näiteks füüsiliste mudelite, asemel mitmel põhjusel. Esiteks digitaalsed mudelid asuvad arvutites, mis tähendab, et füüsilist hoiuruumi on vaja väga vähe võrreldes näiteks objekti füüsilise mudeliga. Digitaalsete mudelite arvu tõusmisega ei ole vaja rohkem hoiuruumi, sest neid hoitakse samas arvutis või interneti pilves. Füüsiliste mudelite koguse tõusu puhul on vaja rohkem hoiuruumi ruumi [9].

### **2.1 Digitaalne kaksik**

Digitaalne kaksik on kavandatava või juba olemasoleva füüsilise toote, süsteemi või protsessi digitaalne mudel, mis digitaalse vastena toimib reaalsest füüsilisest tootest võimalikult eristamatult praktilistel eesmärkidel, nagu simuleerimine, integreerimine, testimine, jälgimine ja hooldus [10]. Digitaalse kaksiku abil on võimalik vaadelda süsteeme nii, nagu oleksid need reaalses maailmas. See on üks põhjusi, miks keerulisi tööstuslikke väljakutseid on võimalik täpselt hinnata [7]. Kontseptuaalselt digitaalne kaksik jäljendab enda füüsilise kaksiku olekut reaalses ja vastupidi, mõlemad kaksikud hoiavad üksteisega ühendust läbi andmevahetuse, mis toimub reaalses [11]. Digitaalset kaksikut saab kasutada näiteks ruumide ennetava jahutamise või kütmise jaoks.

## 2.2 Lõplik olekumasin

Lõplik olekumasin on riist- või tarkvara abil realiseeriv arvutusmudel, mida saab kasutada järjestikuse loogika ja mõnede arvutiprogrammide simuleerimiseks [12]. Tegemist on abstraktse masinaga ehk arvutisüsteemiga, mis on loodud selleks, et võimaldada detailselt ja täpselt analüüsida arvutussüsteemi tööd [13]. Lõplik olekumasin võib igal hetkel olla täpselt ainult ühes olekus piiratud arvust olekutest. Lõplik olekumasin saab mõnele sisendile vastuseks muutuda ühest olekust teise ning seda nimetatakse üleminekuks või siirdeks [14]. Lõplik olekumasin on määratletud selle olekute, algoleku ja üleminekut käivitavate sisendite järgi [12]. Joonisel 2.1 on võimalik näha pöördvärava oleku diagrammi. Mustad ringid on olekud, nooled on sisendid ja väljundid ning must täpp on algolek.



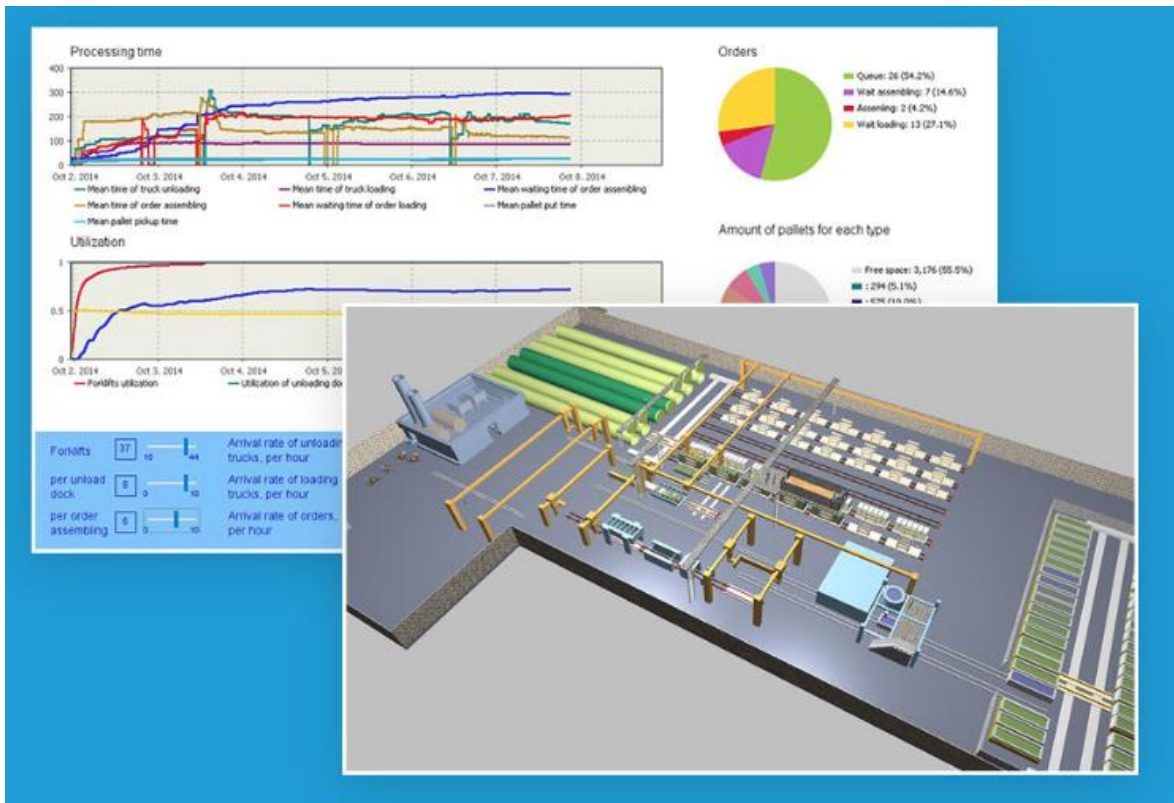
Joonis 2.1 Olekudiagramm pöördvärava tööst [15]

## 2.3 Anylogic

Anylogic on mitmemetoodilise simulatsiooni modelleerimise tööriist, mille on välja töötanud The Anylogic Company. Anylogic võimaldab luua mudeleid kasutades kolme kaasaegset meetodit: süsteemidünaamika, diskreetne sündmuspõhine ja agendipõhine mudeldamine. Neid kolme meetodit saab kasutada mistahes kombinatsioonis selle ühe tarkvaraga mistahes keerukusega ärisüsteemide simuleerimiseks. Anylogicus saab kasutada erinevaid visuaalseid modelleerimisskeeme: protsesside vooskeemid, olekuskeemid, tegevusskeemid ning lao- ja voodiagrammid. Anylogic oli esimene tööriist, mis tutvustas mitmemetoodilist simulatsioonimodelleerimist, ja on väidetavalt endiselt ainus tarkvara, millel on see võimalus [16].

Mitmemetoodilise modelleerimise idee on lihtne: integreerida sujuvalt erinevaid modelleerimis- ja simulatsioonimeetodeid, et ületada üksikute lähenemisviiside puudused ja saada neist igaühest enim kasu. Erinevate meetodite kombineerimine viib tõhusate ja huvitavate mudeliteni ajutisi lahendusi kasutamata. Dünaamiliste ärisimulatsioonimudelite koostamiseks kasutatakse kolme peamist meetodikat: süsteemi dünaamika, diskreetsete sündmuste modelleerimine ja agendipõhine modelleerimine. Süsteemidünaamika meetod eeldab kõrget abstraktsioonitaset ja seda kasutatakse peamiselt strateegilise tasandi probleemide puhul, nagu turul omaksvõtu määrad ja sotsiaalsete protsesside sõltuvus. Diskreetsete sündmuste modelleerimist kasutatakse peamiselt operatiivsel ja taktikalisel tasandil, nagu tootmisprotsessid ja seadmeinvesteeringute hindamine. Agendipõhiseid mudeleid kasutatakse kõigil tasanditel, kusjuures agendid võivad olla mis tahes aktiivsed üksused. Agendipõhist modelleerimist saab näiteks rakendada tarneahelate optimeerimiseks või epidemioloogias. Kasutades ühte meetodit, võib sobival abstraktsioonitasemel modelleerimine olla keeruline. Autonoomsete üksuste toiminguid võib olla võimalik modelleerida süsteemi dünaamika kaudu, kuid see pole vajalik, kui agendipõhised tööriistad väldivad vajadust täiendavate abstraktsioonide ja eelduste järele. Samamoodi on diskreetsete meetodid ebaefektiivsed pidevate muutujate modelleerimiseks, kui süsteemidünaamika meetodid on saadaval [17].

Anylogic võimaldab ka visualiseerida ja luua animatsioone, et näilisemalt väljendada andmeid ja mudelis toimuvat. Näiteks on võimalik kasutada suurt kogust graafilisi objekte nagu sõidukid, töötajad, hooned ja muu selleks, et protsesse visualiseerida. Kui sellest ei piisa, siis on võimalik ka importida enda 3D mudeleid, pilte, CAD-jooniseid ja lisada neid enda simulatsiooni ning joonisel 2.2 on välja toodud näited andmegraafidest ja 3D mudelitest, mida on võimalik luua Anylogic tarkvaras [16].



Joonis 2.2 Näide Anylogic visuaalsetest graafidest ja 3D mudelist [16]

Kõik need mudelid on võimalik teha interaktiivseks. Anylogic pakub ka valdkonnaspetsiifilisi tööriistade komplekte. Paljud erinevad komplektid spetsiifiliste vajaduste jaoks on võimalik kätte saada Anylogicu Protsessi modelleerimise raamatukogus [18]. Joonisel 2.3 on võimalik näha näiteid mudelistest, mis olid loodud kasutatud valdkonnaspetsiifilisi raamatukogusid.



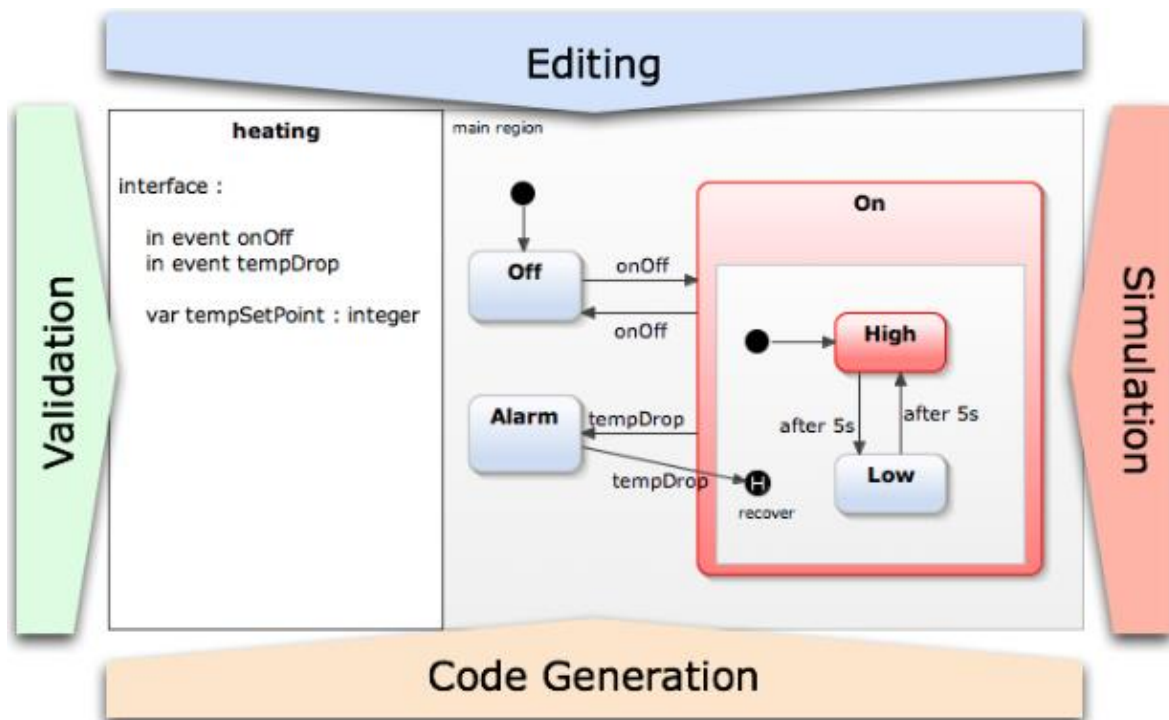
Joonis 2.3 Näited valdkonnaspetsiifilistest mudelistest [16]

## 2.4 Itemis CREATE

Itemis CREATE, varem tuntud kui YAKINDU Statechart Tools, on modulaarne tööriistakomplekt lõplike olekumasinade arendamiseks, simuleerimiseks ja genereerimiseks. Lõplikud olekumasinad on kasulikud süsteemide mudelipõhiseks arenduseks, mis on alati täpselt ühes olekus, lõpliku arvu olekute seas. Lõplikud olekumasinad sobivad eriti hästi manussüsteemide jaoks, kuid ei piirdu ainult nendega [19]. Puiestee 80A Eluslaborit saab kutsuda manussüsteemiks. Manussüsteem on arvutisüsteem, mis koosneb arvutiprotsessorist, mälust ja sisend/väljundseadmetest kombinatsioonist, millel on spetsiaalne funktsioon suuremas mehaanilises või elektroonilises süsteemis [1]. See on manustatud osana terviklikust seadmest, mis sageli sisaldab elektrilist või elektroonilist riistvara ja mehhaanilisi osi. Itemis CREATE standardväljaanne pakub lõplikute olekumasinatega tegelemiseks järgmisi funktsioone:

- **Olekuskeemide diagrammiredaktor** olekuskeemide graafiliseks loomiseks ja redigeerimiseks, et graafiliselt neid esitada
- **Olekukaardi simulaator** olekukaartide käitumise simuleerimiseks
- **Java, C, C++ ja Python'i koodigeneraatorid** olekukaartide teisendamiseks programmeerimiskeele lähtekoodiks
- **Kohandatud generaatoriprojektid**, et hõlpsasti luua teisendusi mudelist tekstiks kasutades Xtend või Java't, et luua mistahes kasutaja valitud koodi
- **Integreeritud validaator** olekukaardi mudeli süntaktiliste või semantiliste probleemide kontrollimiseks
- **Testimisraamistik** lõplikute olekumasinade testimiseks ühiktest

Joonis 2.4 näitab varem väljatoodud funktsioone ning nende seosed üksteisega [19].



Joonis 2.4 itemis CREATE funktsioonid [19]

Lõputöö raames, sisekliima mudeli loomiseks oli kasutatud itemis CREATE tarkvara. Anylogic pakub rohkem võimalusi mudeli loomiseks ning vormistamiseks nagu 3D mudelite lisamine ning andmegraafide vormistamine, kuid suurem valik tähendab, et tuleb leida ja lugeda/vaadata rohkem materjali, mis selgitab kuidas seda kasutada, mille jaoks selle lõputöö raames aega ei jätkunud. Kuigi itemis CREATE pakub vähem võimalusi, oli tarkvara kasutus lõputöö autorile intuiitsemalt arusaadav ning lisaks sellele oli lihtsam leida õpetlikku materjali, mis oli lihtsasti arusaadav ning mida sai kohe kasutada mudeli loomiseks. Ajalise piirangu tõttu tehti otsus kasutada programmi, mille baasfunktsioonides oli lihtsamalt ja kiiremini aru saadud, et alustada mudeli loomisega.

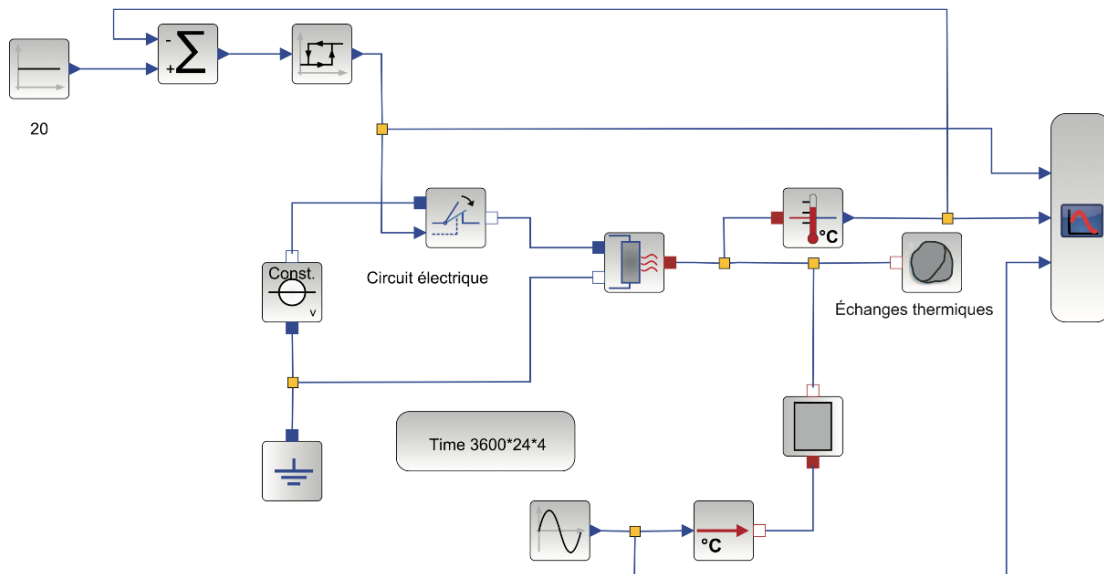
### **3 ALTERNATIIVSED TARKVARAD**

Järgmises peatükis vaadeldakse võimalikke tarkvaralisi alternatiive Eluslabori ruumi sisekliima modelleerimiseks. TalTech'i Tartu kolledžis on võimalik tasuta kasutada Anylogic ja itemis CREATE tarkvarasid, kuid on olemas ka teisi, mis võimaldavad luua ruumi sisekliima mudeleid.

#### **3.1 Xcos**

Tarkvara Xcos kasutatakse dünaamiliste süsteemide modelleerimiseks ja simuleerimiseks diskreetses või pidevas ajas. Xcos on graafiline redaktor hübriidsete dünaamiliste süsteemide mudelite loomiseks. Mudeleid saab kujundada, salvestada, kopeerida ja simuleerida. Xcos pakub funktsionaalsust juhtimissüsteemide, mehaaniliste süsteemide ja hüdroahelate modelleerimiseks [20]. Lisaks sellele on võimalik ka spetsiifiliselt termodünaamilisi süsteeme luua, mis on väga kasulik ruumi sisekliima modelleerimiseks. Antud tarkvaras on ruumi sisekliima mudelite loomiseks olemas mitmeid tööriistu. Esiteks seoses termodünaamikaga on võimalik lisada mudelisse kütteseade, isolaatorid ja temperatuuriregulaatorid. Õhuga seoses on võimalik kasutada Xcos'i pakutavad tööriistapakki, milles on sellised elemendid nagu maandus, ventilaator, katted, takistustoru ja ideaalne ühendusdiod [21]. Joonisel 3.1 on näide ruumi termilise reguleerimise mudelist, mis oli loodud Xcos tarkvara kasutades. Kuigi programmis on olemas paljud elemendid ruumi sisekliima modelleerimiseks. Mudeli loomine programmis võib muutuda palju keerulisemaks kui mingi spetsiifiline element puudub.

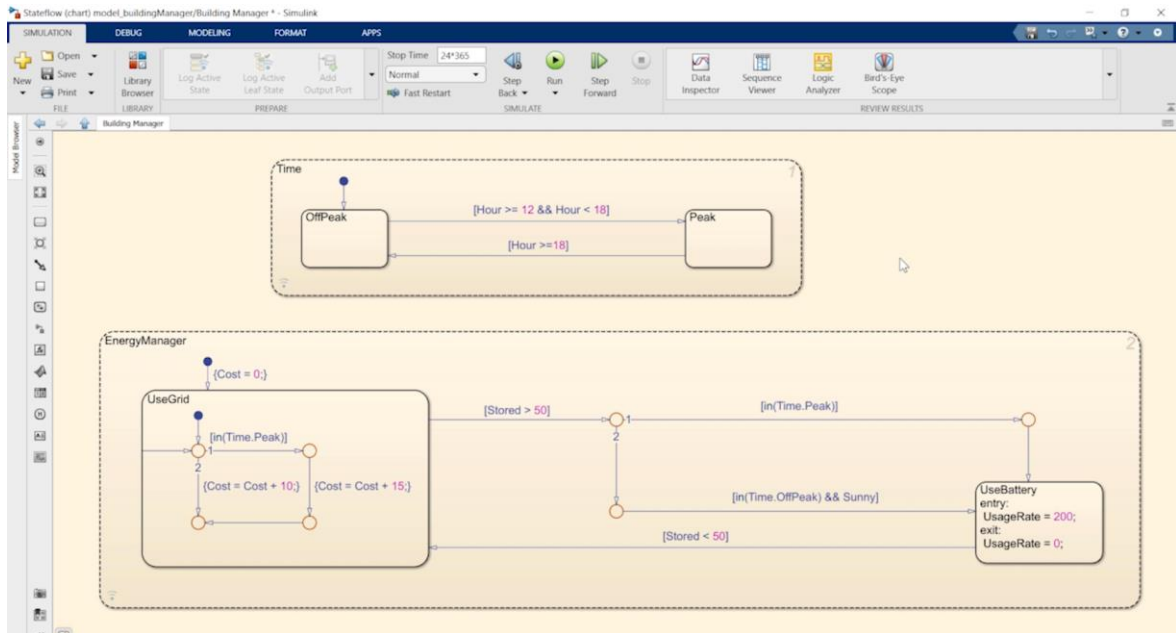




Joonis 3.1 Maja termilise reguleerimise mudel [21]

### 3.2 Stateflow

Stateflow on toode, mis pakub graafilist keelt, mis sisaldab endas olekusiirde diagramme, vooskeeme ja olekusiirdetabeleid. Stateflow võimaldab modelleerida kombinatoorset ja järjestikust otsustusloogikat, mida saab simuleerida plokinähtena Simulink mudelis või käivitada objektina MATLAB-is. Programmid Stateflow, Simulink ja MATLAB on kõik tooted, mis olid loodud MathWorks nimelise korporatsiooni poolt [22]. MATLAB on programmeerimis- ja arvandmetöötlusplatvorm ning seda saab kasutada ruumi sisekliima mudeli loomisel vajalike funktsioonide kirjutamiseks [23]. Simulink on plokk skeemide keskkond, mida kasutatakse mitme domeeni mudelitega süsteemide kujundamiseks, simuleerimiseks enne riistvarale üleminekut ja juurutamiseks ning seda programmi saab kasutada näiteks ruumi termodünaamika kirjeldamiseks [22]. Kahte programmi saab kombineerida Stateflow tarkvaras sellest, et aidata kaasa lõpliku oleku masinate disainimisel. Joonisel 3.2 on näide loodud mudelist Stateflow tarkvara kasutades. Kuigi tarkvara on väga paindlik, selle efektiivseks kasutamiseks on vaja ennast kurssi viia kahe teise tarkvaraga, MATLAB ja Simulink.



Joonis 3.2 Lõplik olekumasin maja energiakasutusest loodud Stateflow tarkvaraga [24]

Lõputöös on vaadeldud nelja tarkvara, mida on võimalik kasutada, et luua mudel Tartu kolledži Eluslabori ruumides. Nendeks tarkvaradeks on itemis CREATE, Anylogic, Xcos ja Stateflow. Lõputöös oli kasutatud itemis CREATE. Autor kasutas seda tarkvara, kuna tema jaoks oli see programm eelpoolmainitudest kõige intuitiivsem ning lihtne oli leida õpetlikku materjali, mida sai kohe kasutada mudeli loomiseks. Anylogic pakub rohkem võimalusi mudeli loomiseks ja analüüsimiseks kui itemis CREATE, näiteks on võimalik luua kolmemõõtmelisi mudeleid. Lisaks võimaldab tarkvara mitmemetoodilist simulatsioonimodelleerimist. Põhjus, miks seda ei ole kasutatud lõputöös seisneb selles, et valikute küllus tegi raskeks informatsiooni leidmise, mis oleks kasulik ruumi sisekliima loomiseks ning autoril jäi aega väheks tarkvaraga lähemalt tutvuda.

Xcos tarkvara on hea selle poolest, et on olemas spetsiifilised elemendid, mida saab kasutada näiteks termodünaamika kirjeldamiseks. Probleemiks on see kui elemendid spetsiifilistest protsessidest, mida läheb vaja lõputöö mudelis, puuduvad. See teeb mudeli loomist palju keerulisemaks ning seetõttu autor arvab, et see programm ei ole sobilik tulevikus kasutamiseks. Stateflow positiivseks osaks on tarkvara paindlikkus, kuid selle kasutamiseks on vaja tunda ka MATLAB ja Simulink tarkvarasid.

Parim tarkvara tulevasteks sisekliima mudelite loomiseks, autori arvates, on Anylogic. Põhjusteks on see, et Anylogic pakub palju võimalusi mudeli loomiseks. Lisaks olekupõhisele mudelile on võimalik luua ka näiteks kolmemõõtmeline mudel ruumist. Tarkvara pakub ka võimaluse mudeli analüüsimiseks ja andmete vormistamiseks.

Võrreldes kõikide teiste programmide on Anylogic võimeline ka kasutama mitmemetoodilist simulatsioonimodelleerimist

## 4 PUIESTEE 80A ÕPPEHOONE ELUSLABOR

Puiestee 80A õppehoones õpetatakse kübefüüsikalisi süsteeme ning see nõuab võimalust vaadelda ja uurida kübefüüsikalisi süsteeme õppekeskkonnas. Tartu kolledži ülikoolilinnakus saab sellisele süsteemile ligi. Õppe- ja uurimistöö ajal asutakse ülikoolilinnaku igapäevaelu keskel, mis õpilaste jaoks teeb toimuvad protsessid lihtsasti jälgitavaks. Kolledži töötajad saavad vahetult tagasisidet ning õpilased saavad võimaluse hinnata nende ümber toimuvat põhinedes nende endi kogemusel. Seda õppe- ja teaduskeskkonda kutsutakse õppehoones Eluslaboriks [1]. Eluslabori loomise suunas hakati töötama alatase aastast 2015. Tartu kolledži kontekstis on eluslabori osaks hooneautomaatika ja tema eesmärk on uurida hoone füüsikalist käitumist, energia tarbimist ja logida andurite ning täiturite tööd. Automaatikasüsteemi mõõdetud sisekliima andmed, seadeparameetrid, automaatika seisundid ja ilmajaama informatsioon salvestatakse aegridadena MeiePilv nimelisse andmebaasi [25]. Eluslabori erinevus tavapärasest laborist seisneb selles, et puudub vajadus luua tehiskeskonda, et uurida üksikut protsessi [1].

Eluslabori vastandiks on traditsioonilisele labor ning eluslabor erineb selle poolest, et ühtegi nähtust, elementi, looma või muud taolist ei võeta keskkonnast välja vaid uuritakse selles keskkonnas. Lisaks sellele uuritakse ka seda, kuidas uurimisobjekt suhtleb keskkonnaga. Uuritakse uurimisobjekti käitumist keskkonna erinevate osadega, näiteks sellega, kuidas uuritav objekt reageerib muudatustele, mis toimuvad keskkonnas. Eluslaboril puudub ühtne definitsioon, kuid mõned elemendid on olemas enamus eluslaborites. Nendeks elementideks on katsed, mida viiakse läbi päriskeskkonnas, ehk uuritav objekt jääb enda keskkonda. Teiseks kaasatakse kasutajaid eesmärkidega nagu näiteks tagasiside saamine kasutajate kogemusest ning ka arendustegevusteks [26].

Eluslabor kolledži kontekstis täpsemalt tähendab hoone vaatlemist kui võrkude süsteemi, mis kommunikeerivad üksteisega. Hoone võrkudeks on näiteks füüsilise hoone termaalne võrk, energia jaotusvõrk, andurite ja täiturmehhanismide võrk ja inimeste võrk.

Hoone füüsikalise käitumise all peetakse silmas näiteks hoone jahtumist ja soenemist ning nendest protsesside sõltuvus välisõhu parameetritega. Samuti, lisaks ruumi enda sisekliima parameetritele, selle alla käib ka ruumide sisekliima muutumine nii välistingimustest kui ka inimeste käitumisest sõltuvalt

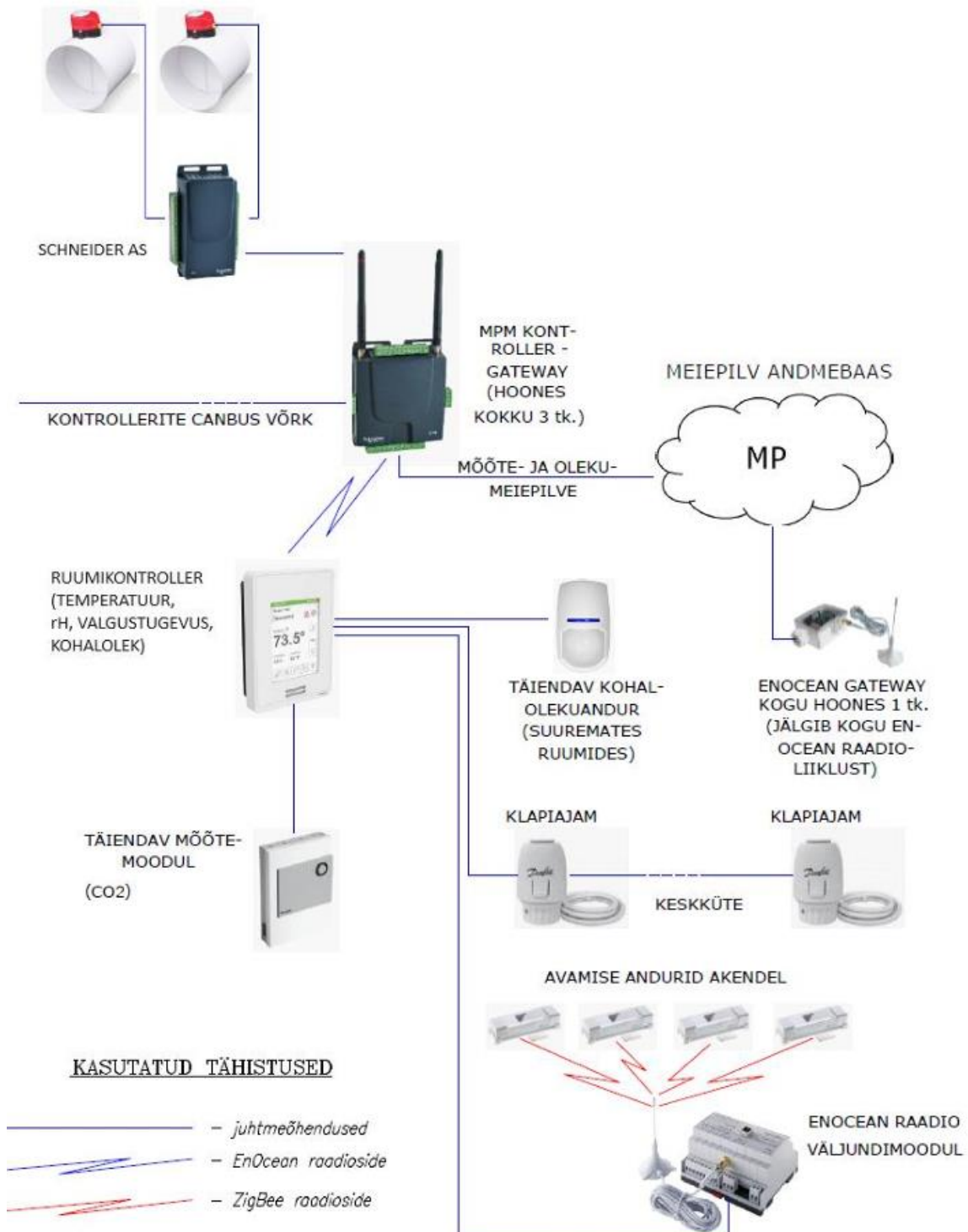
Seoses energiatarbega töötatakse välja meetodid, kuidas simuleerida, mudeldada ja kontrollida võrke koos rakendustega selleks, et minimiseerida energia tarvitamine ning samal ajal hoida inimestele sobivat sisekliimat. MeiePilv on andmebaas, kuhu salvestatakse erinevate Eluslaboris kasutatavate täiturite ja andurite näidud iga kümne minuti tagant. MeiePilve salvestamisel lisatakse igale andmereal ka ajatempel, mis tähendab, et on võimalik jälgida, kuidas on mõningad muudatused toimunud aja jooksul. See annab võimaluse jälgida ruumide sisekliimat etteantud perioodi jooksul ning lisaks sellele see võimaldab ka vajadusel välja selgitada erinevate vigade tekkimise põhjusi või kui see ei ole võimalik, siis lihtsustada vea otsingut [1]. Lisa 1 illustreerib pilvelabori süsteemi. Rohelisega on välja toodud osad, mis on juba implementeeritud ning sinisega on märgitud osa, mida plaanitakse tulevikus arendada. Tegemist on vananenud joonisega ning see ei vasta üks ühele pilvelabori seisule lõputöö kirjutamise ajal.

## **4.1 Puiestee 80A õppehoone automaatikast**

Puiestee 80A Tartu kolledži õppehoones Eluslabori seadmete võrk koosneb neljast kihist. Esimeseks kihiks on andurid ja ajamid. Teine kiht on Schneider SE ruumikontrollerid. Kolmas on Schneider MPM-kontrollerid ning viimaseks kihiks on MeiePilv ja Schneider AS seade kui andmete kogumise kiht. Õppehoone peale on Schneider MPM-kontrollereid on kokku kolm. Üks on õppehoone esimesel korrusel ning kaks on õppehoone teisel korrusel. Õppehoone Esimesel korrusel olev MPM-kontroller vastutab seadmete eest, mis asuvad esimesel korrusel. Teisel korrusel olevad MPM-kontrollerivad vastutavad seadmete eest, mis on nii teisel kui ka kolmandal korrusel. On üks peakontroller, mis asub teisel korrusel ning kaks alamkontrollerit, üks on esimesel korrusel ja teine on teisel korrusel. Kontrollerid on omavahel ühendatud CANbus-kaabelvõrgu kaudu. Lisaks sellele saab kõikide kontrollerite poole pöörduda siseveebi kaudu, kõikidel kontrolleritel on staatilised IP-aadressid. Kontrollerite veebiliides võimaldab neid eraldiseisvalt seadistada, programmeerida ja juhtida.

Andmed, mis salvestatakse MeiePilve tulevad MPM-kontrolleritelt. Infot, mis tuleb MPM-kontrolleritelt logitakse kasutades oBIX protokollit. Schneider AS seade vastutab ventilatsiooni kontrollimise eest ning andmed selle jaoks saab Schneider AS MPM-kontrolleritelt maha loetud parameetritelt. Schneider AS on ühendatud nii Tartu kolledži võrku kui ka Tallinna võrku logide edastamiseks.

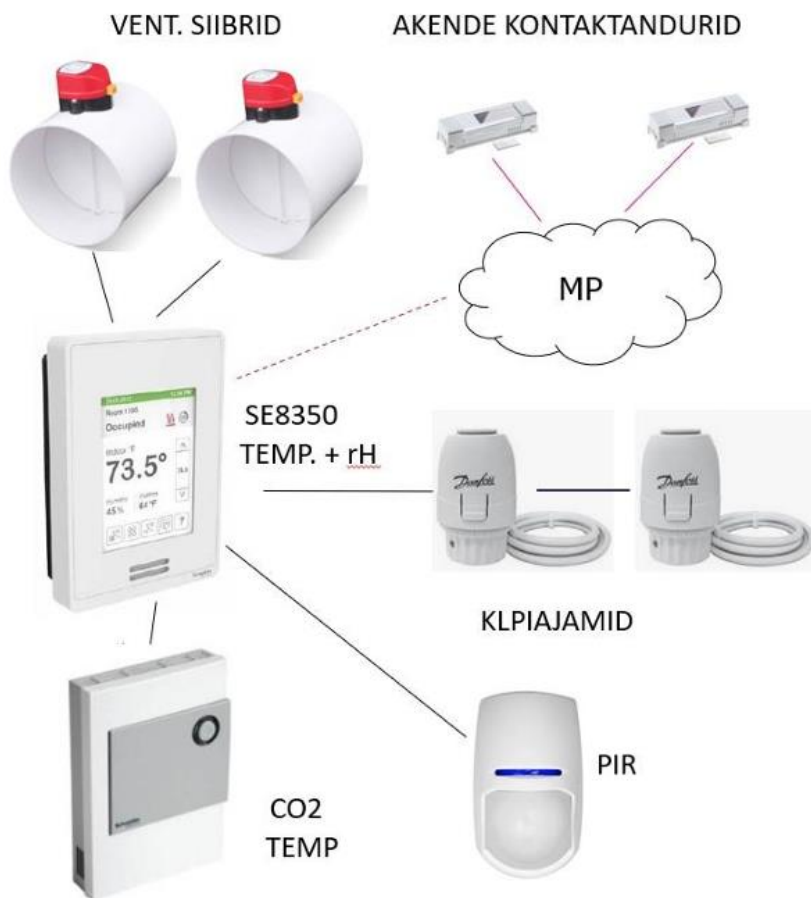
Järgmine tasand MPM-kontrolleritest on Schneider SE-ruumikontrollerid. Neid on iga ruumi kohta üks, ning neid kasutatakse, et logida ruumide temperatuuri, CO<sub>2</sub> sisaldust, suhtelist õhuniiskust ning ruumi hõivatust. Hõivatuse all mõeldakse, kas ruumi on hõivatud või mitte. Lisaks sellele ruumikontrollerid juhivad ka ruumi kütet. Kontrollerid ning see, kuidas nemad on seotud üksteisega üldisemalt terve Eluslabori suhtes on näidatud joonisel 4.1.



Joonis 4.1 Eluslabori skeem

Kontrollerid ja andurid ning kuidas need on seotud üksteisega Eluslabori ruumi kohta on nähtavad joonisel 4.2. Ühe ruumi kohta tavaliselt on olemas üks SE-ruumikontroller, mille andmed lõpuks jõuavad MeiePilve. Lisaks SE-ruumikontrollerile on enamus ruumides olemas ka täiendav mõõtemoodul, mis võimaldab mõõta CO<sub>2</sub> sisaldust ruumis. Suuremates ruumides on ka täiendav kohalolekuandur ehk PIR andur.

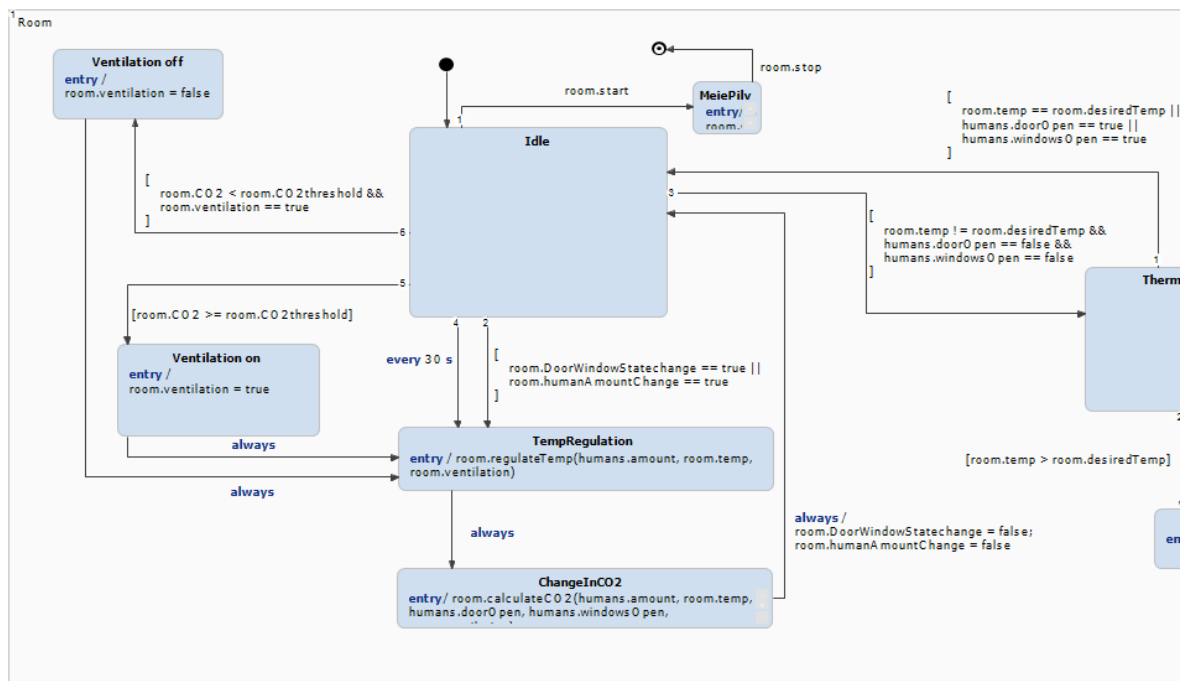
Ruumide kütmine eluslaboris toimub selliselt, et ruumikontrolleritele on ette antud seadepunkt, mida tuleb hoidma. Kui ruumi temperatuur langeb seadepunktist liiga alla, milleks vaikimisi on üks kraad alla seadepunkti, siis avatakse radiatori klapid, et alustada ruumi kütmine. Kui avatakse aknad või aknad olid juba varem avatud, siis radiatori klappe ei avata ja ruumi kütmist ei toimu. Kui ruumi temperatuur langeb liiga madalale, siis isegi avatud akendega ruumi hakatakse kütma. Temperatuur milleni langemisel see toimub on tavaliselt 16 kraadi. Seda on tehtud selleks, et vältida ruumi liigset jahtumist olukorras, kus aknad unustati lahti näiteks öösel või talvel. Ruumi kütmine toimub nii kaua, kuni on saavutatud temperatuur, mis on üks kraad rohkem kui seadepunkt ette näeb.



Joonis 4.2 Ruumi automaatika skeem

## 5 RUUMI SISEKLIIMA MUDEL

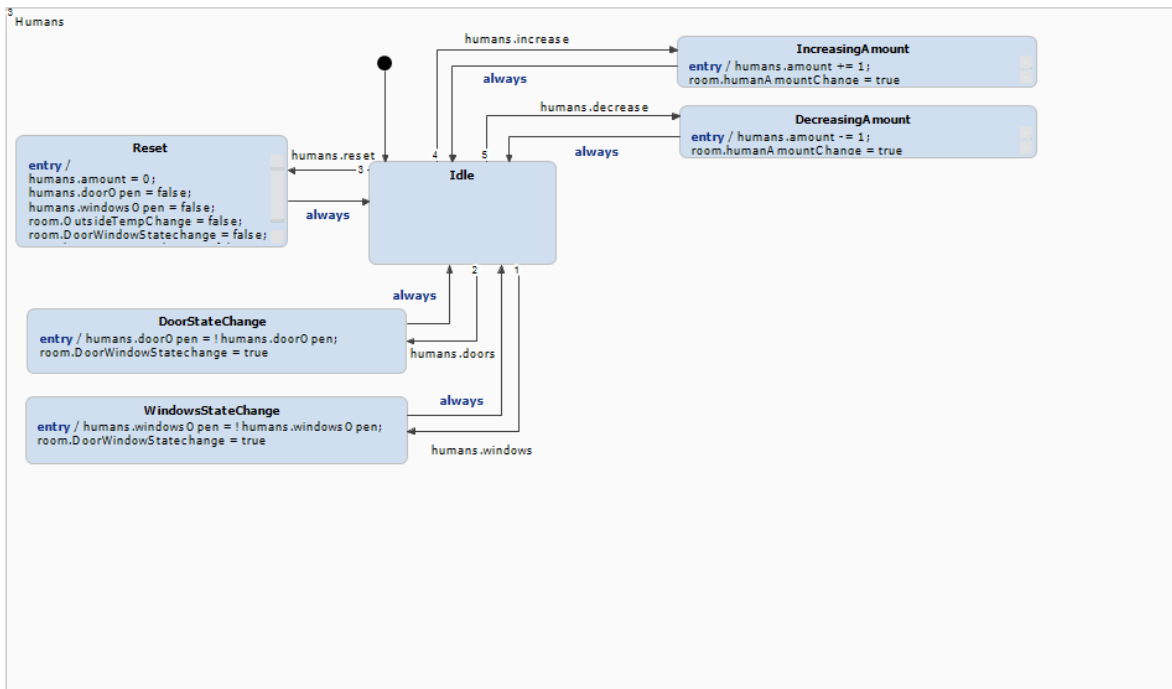
Järgnevas peatükis tutvustatakse itemis CREATE tarkvaras loodud mudelit. Loetletakse üle kõik mudelis kasutatud olekud ja muutujad ning selgitatakse olekute ülemineku dünaamikat. Mudel koosneb kolmest piirkonnast: „Room“, „Humans“ ja „Outdoors“. „Room“ piirkond vastutab Eluslabori ruumisest funktsioonide eest nagu ruumi temperatuuri ja CO<sub>2</sub> sisalduse mõõtmine ja reguleerimine. Piirkonnas „Humans“ toimuvad inimeste käitumisega seotud tegevused nagu nende arvu muutus ning uste ja akende avamine ja sulgemine. Piirkond „Outdoors“ vastutab väljaspool ruumi toimuvaga nagu välistemperatuuri ja välisõhu suhtelise niiskuse mõõtmine. Piirkonnad on ka omavahel seotud, näiteks kui „Humans“ piirkonnas on avatud aken, siis „Room“ piirkonnas ei saa töötada termostaat ning siseruumi temperatuur hakkab võrdsustuma välistemperatuuriga, mida saab kätte „Outdoors“ piirkonnast. Joonistel 5.1, 5.2 ja 5.3 on näha piirkonnad „Room“, „Humans“ ja „Outdoors“ vastavalt.



Joonis 5.1 Piirkond „Room“

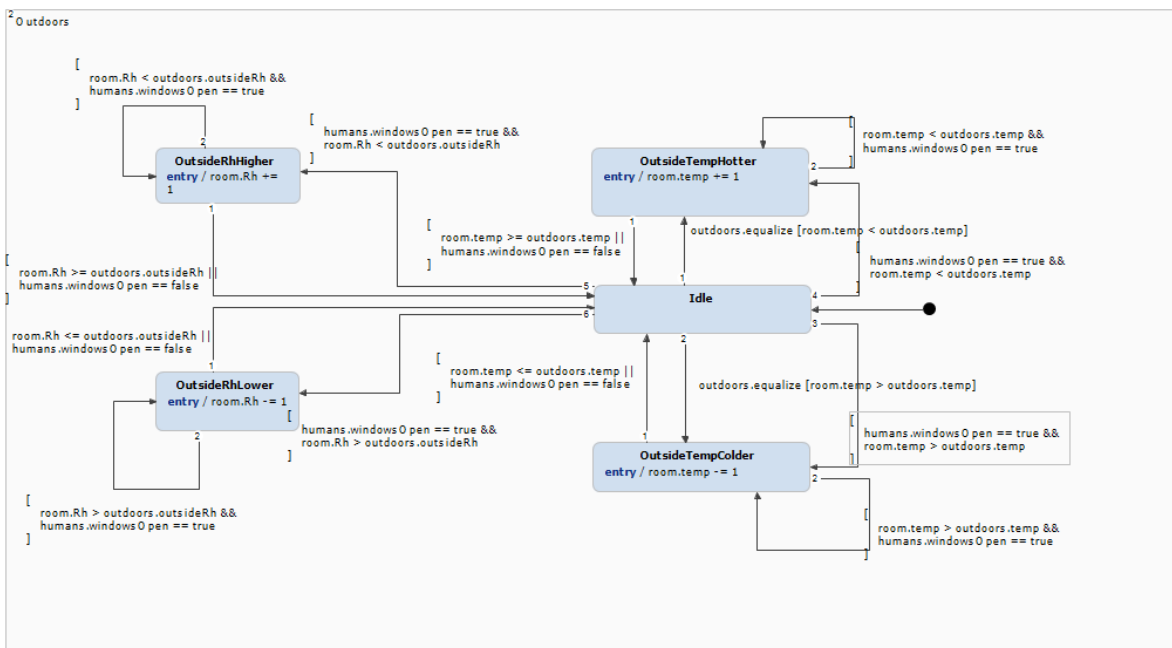
Mudeli piirkond „Room“ koosneb osadest, mis on seotud ruumisest protsessidega. „Room“ piirkond koosneb ventilatsioonist, küttest ning osadest, mis mõõdavad siseõhu andmed nagu temperatuur ja CO<sub>2</sub> sisaldus. Selle piirkonna osaks on ka andmete salvestamine serverisse MeiePilv, sest SE-ruumikontroller, mis saadab ruumi andmed reaalkeskkonnas MeiePilve asub ruumis sees.





Joonis 5.2 Piirkond „Humans“

Mudeli piirkond „Humans“ koosneb osadest, mis on seotud inimtegevusega. Nendeks osadeks on inimeste arvu tõusmine ja langemine ning uste ja akende avamine ja sulgemine.



Joonis 5.3 Piirkond „Outdoors“

Mudeli piirkonnas „Outdoors“ toimuvad protsessid, mis on mõjutatud väljaspool ruumi olevatest protsessidest. Väljaspool ruumi on suhteline õhuniiskus ja temperatuur, mis võib mõjutada siseruumi juhul kui näiteks aknad on lahti.

Piirkondade nimed on nähtavad jooniste ülemises vasakus nurgas. Iga piirkonna kohta on võimalik olla ainult ühes olekus, mis tähendab, et selles mudelis ollakse kokku kolmes olekus samaaegselt. See on tähtis, sest ühes piirkonna olekus toimunud protsess võib põhjustada teises piirkonnas üleminekut ühest olekust teise.

## 5.1 Mudeli skeemi olekud

Loodud Eluslabori mudel koosneb kolmest piirkonnast. Kõikides piirkondades on olemas *Idle* olek, milles vaikimisi ollakse ning millesse minnakse tagasi, kui piirkonnas midagi ei toimu. Esimene piirkond, mida vaadeldakse on nimega „Outdoors“. Piirkonnas „Outdoors“ on protsessid, mis on seotud väljaspool ruumi toimuvaga nagu välistemperatuuri ja välise suhtelise õhuniiskusega seotud protsessid. Väljaspool ruumi olevad olekud on kirjeldatud järgmiselt:

- Idle – Olek, milles ollakse kui midagi ei toimu „outside“ piirkonnas. Selles olekus midagi ei tehta.
- OutsideTempHotter – Olek, milles toimub siseruumi temperatuuri võrdsustamine välistemperatuuriga. Väljaspool ruumi on soojem ning seetõttu siseruumi temperatuur tõstetakse, kuni see on võrdne välistemperatuuriga selles olekus
- OutsideTempColder – Olek, milles toimub siseruumi temperatuuri võrdsustamine välistemperatuuriga. Väljaspool ruumi on külmem ning seetõttu siseruumi temperatuur vähendatakse, kuni see on võrdne välistemperatuuriga selles olekus.
- OutsideRhHigher – Olek, milles toimub siseruumi suhtelise õhuniiskuse võrdsustamine välisõhu niiskusega. Väljaspool ruumi on suurem suhteline õhuniiskus ning seetõttu siseruumi suhteline õhuniiskus tõuseb, kuni see on võrdne välisõhu niiskusega
- OutsideRhLower – Olek, milles toimub siseruumi suhtelise õhuniiskuse võrdsustamine välisõhu niiskusega. Väljaspool ruumi on madalam õhu niiskus ning seetõttu siseruumi suhteline õhuniiskus väheneb, kuni see on võrdne välisõhu niiskusega

Järgmisena on mudeli olekud, mis on piirkonnas nimega „Humans“. Selle piirkonna olekud, on seotud inimese käitumisega, näiteks inimeste kogus ruumis, uste ja akende avamine ning sulgemine. Olekud selles piirkonnas on kiirelt toimuvad ning kiiresti lähevad tagasi *Idle* olekusse. Inimese käitumist kirjeldavad olekud on järgmised:

- Idle – Olek, milles ollakse kui midagi ei toimu „Humans“ piirkonnas. Selles olekus midagi ei tehta
- IncreasingAmount – Olek, milles tõstetakse inimeste arvu ning salvestatakse mälus, et inimeste arv muutus
- DecreasingAmount – Olek, milles vähendatakse inimeste arvu ning salvestatakse mälus, et inimeste arv muutus.
- DoorStateChange – Olek, milles muudetakse ukse olekut. Ust muudetakse kas avatuks või suletuks
- WindowStatechange – Olek, milles muudetakse akende olekut. Aknaid muudetakse kas avatuks või suletuks
- Reset – Olek, millesse minnes piirkonnas „Humans“ muudetakse kõik muutujad nende algolekusse. Inimeste arv on null, aknad ja ukсед on suletud. Inimeste arv, akende ja uste seis ei ole muutunud

Järgmiselt on mudeli olekud, mis on piirkonnas nimega „Room“. Selle piirkonna olekud on seotud protsessidega, mis toimuvad vaadeldavas ruumis. Protsesside näideteks on ruumi temperatuuri ja süsihappegaasi sisalduse arvutamine, ventilatsiooni kontrollimine ja kütmise kontrollimine. Ruumis olevad olekud on kirjeldatud järgmiselt:

- Idle – Olek, milles ollakse kui midagi ei toimu „Room“ piirkonnas. Selles olekus midagi ei tehta
- Thermostat – Olek, millest edasi hakatakse reguleerima siseruumi temperatuuri
- HeatingUp – Olek, milles tõstetakse siseruumi temperatuuri soovitud temperatuurile
- CoolingDown – Olek, milles vähendatakse siseruumi temperatuuri soovitud temperatuurile
- MeiePilv – Olek, milles salvestatakse serverisse „MeiePilv“ kogutud andmed
- Ventilation on – Olek, milles lülitatakse ventilatsioonisüsteem sisse
- Ventilation off – Olek, milles lülitatakse ventilatsioonisüsteem välja
- TempRegulation – Olek, milles arvutatakse siseruumi temperatuur põhinedes välisfaktoritele nagu inimeste arv, akende ja uste avatus või suletus ning ventilatsioonisüsteemi töötamine
- ChangeInCO<sub>2</sub> – Olek, milles arvutatakse CO<sub>2</sub> sisaldus ruumis arvestades välisfaktoreid nagu inimeste kogus, akende ja uste avatus või suletus ning ventilatsiooni töötamine

## 5.2 Mudeli skeemi liidesed, sündmused ja muutujad

Mudeli skeemis on kasutatud palju muutujaid. Muutujaid kasutatakse programmeerimises arvuti mälu ruumi reserveerimiseks ning mäluruumi viitele inimloetava nime andmiseks. Muutuja eluiga on määratud tema skoobiga ning mäluviited eksisteerivad töö alustamisest kuni selle töö lõpetamiseni skoobis [27]. Muutujate väärtused on võimalik muuta. Muutujad on kasutatud mudelis selleks, et salvestada tarkvaras väärtused nagu temperatuur, õhu suhteline niiskus, CO<sub>2</sub> sisaldus jmt. Muutujaid saab kasutada, et võrrelda neid üksteisega, mis on peamine ajend mudelis üleminekuks ühest olekust teise. Liidesed itemis CREATE kontekstis on kasutatud selleks, et rühmitada muutujaid ja sündmusi. Rühmitust on kasutatud selleks, et teha kujundust selgemaks ja anda paremat ülevaadet. Liideseid kasutades lisaks deklaratsioonile tuleb ka viidata, mis liideses see on, näiteks muutuja „temp“ kasutamiseks tuleb viidata liidesele „room“ või „outdoors“, sest mõlemas on olemas see muutuja ning välistemperatuuri muutuja deklaratsioon näeks välja järgmiselt „outdoors.room“. Sündmused itemis CREATE'is on kasutatud olekute muutmiseks. Sündmused saab käivitada, kas manuaalselt simulatsiooni ajal sündmuse nuppu vajutades või seda käivitatakse automaatselt, näiteks vastavalt muutujate väärtustele. Muutujad, liidesed ja sündmused on programmi vasakul poolel ning joonisel 5.4.

```
Statechart Room
// Use the event driven execution model.
// Switch to cycle based behavior
// by specifying '@CycleBased(200)'.
@EventDriven

// Use @SuperSteps(yes) to enable
// super step semantics.
@SuperSteps(no)

interface outdoors:
  in event equalize

  var temp: integer
  var outsideRh: integer

interface humans:
  in event increase
  in event decrease
  in event doors
  in event windows
  in event reset

  var amount: integer = 1
  var doorOpen: boolean = false
  var windowsOpen: boolean = false

interface room:
  in event start
  in event stop

  var temp: integer
  var Rh: integer
  var CO2: integer
  var desiredTemp: integer = 20
  var CO2threshold: integer = 10000

  var OutsideTempChange: boolean = false
  var DoorWindowStatechange: boolean = false
  var humanAmountChange: boolean = false
  var ventilation: boolean = false

operation regulateTemp(i: integer, j:integer, k:boolean): void
// increase temp by 0.25 degrees per person
operation calculateCO2(i: integer, j:integer, k:boolean, l:boolean, n:boolean): void
// if windows or doors are open then take the outside CO2
// else increase CO2 based on amount of people inside
```

Joonis 5.4 muutujate tabel

Esimesena vaadeldakse muutujaid, liideseid ja sündmusi, mis olid kasutatud piirkonnas nimega „Outdoors“. Need muutujad on üldiselt välisõhu andmed, mida antud keskkonnas asuvad andurid on suutelised mõõtma. Väljaspool ruumi toimuvat kirjeldavad järgmised muutujad:

- interface outdoors – liides, mida kasutatakse „Outdoors“ piirkonna muutujate eristamiseks
- in event equalize – sündmus, mida kasutatakse, et võrdsustada ruumisise temperatuur välistemperatuuriga

- var temp: integer – muutuja, mida kasutatakse, et näidata väljaspool ruumi olevat temperatuuri
- var outsideRh: integer – muutuja, mida kasutatakse, et näidata väljaspool ruumi olevat suhtelist õhuniiskust

Järgmisena vaadeldakse muutujaid, liideseid ja sündmusi „Humans“ piirkonnas. Muutujad selles piirkonnas üldiselt on seotud kas inimeste arvuga või teadaanded millegi juhtumisest. Teadaanded sellest, et uste ja akende olek või inimeste arv on muutunud. Lisaks sellele on ka muutujad, mis annavad konkreetselt teada millises olekus on ukсед ja aknad ning kui mitu inimest on ruumis. Inimeste käitumist kirjeldavad järgmised muutujad:

- interface humans – liides, eristamiseks kõik piirkonnaga “Humans” seotud muutujaid
- in event increase – sündmus, mida kasutatakse inimeste arvu tõstmiseks ruumis
- in event decrease – sündmus, mida kasutatakse inimeste arvu vähendamiseks ruumis
- in event doors – sündmus, mida kasutatakse uste avamiseks ja sulgemiseks ruumis
- in event windows – sündmus, mida kasutatakse akende avamiseks ja sulgemiseks ruumis
- in event reset – sündmus, mida kasutatakse ruumis kõikide andmete tagastamiseks algseisu. Inimeste arv nullitakse, ukсед ja aknad pannakse suletud olekusse. Akende, uste, inimeste arvu muutust ei toimunud
- var amount: integer = 1 – muutuja, mida kasutatakse, et näidata kui palju inimesi on hetkel ruumis
- var doorOpen: Boolean = false – muutuja, mida kasutatakse, et näidata, kas ukсед on lahti või kinni
- var windowsOpen: Boolean = false – muutuja, mida kasutatakse, et näidata, kas aknad on kinni või lahti

Järgmisena vaadeldakse piirkonna „Room“ muutujaid, liideseid ja sündmusi. Muutujad „Room“ piirkonnas näitavad ruumisisesi andmeid nagu temperatuur, süsihappegaasi sisaldus ja suhteline õhuniiskus. Lisaks sellele on ka andmed nagu seadetemperatuur ning suhteline õhuniiskus, mille puhul tuleks ventilatsioonisüsteem tööle panna. Ruumi käitumist kirjeldavad järgmised muutujad:

- interface room – liides, mida kasutatakse "Room" piirkonna muutujate eristamiseks
- in event start – sündmus, mida kasutatakse, et minna olekusse, mis alustab andmete salvestamist "MeiePilv" serverisse
- in event stop – sündmus, mida kasutatakse, et lõpetada simulatsioon pärast andmete salvestamist
- var temp: integer – muutuja, mida kasutatakse, et näidata ruumis olev temperatuur
- var Rh: integer – muutuja, mida kasutatakse, et näidata, mis on ruumis olev suhteline õhuniiskus
- var CO2: integer – muutuja, mida kasutatakse, et näidata, mis on süsihappegaasi sisaldus ruumis
- var desiredTemp: integer = 20 – muutuja, mida kasutatakse, et näidata, mis on ruumi seadetemperatuur
- var CO2theshold: integer = 1000 – muutuja, mida kasutatakse, et näidata, mis on ruumis oleva süsihappegaasi sisalduse läve, alates millest pannakse ventilatsioon tööle
- var OutsideTempChange: boolean = false – muutuja, mida kasutatakse, et näidata, kas välistemperatuur on muutunud
- var DoorWindowStatechange: boolean = false – muutuja, mida kasutatakse, et näidata, kas akende olek on muutunud
- var humanAmountChange: boolean = false – muutuja, mida kasutatakse, et näidata, kas inimeste kogus ruumis on muutunud
- var ventilation:Boolean = false – muutuja, mida kasutatakse, et näidata, kas ventilatsioon töötab või mitte
- operation regulateTemp(humans: integer, temp:integer, ventilation:Boolean): void – funktsioon, mida kasutatakse, et arvutada temperatuur ruumis
  - humans:integer – inimeste arv ruumis
  - temp:integer – ruumi hetketemperatuur
  - ventilation:boolean – muutuja, mis annab teada, kas ventilatsioon töötab või mitte
- operation calculateCO2(co2:integer, humans:integer, temp:integer, doors:Boolean, windows:boolean, ventilation:Boolean): void – funktsioon, mida kasutatakse, et arvutada süsihappegaasi sisaldus ruumis
  - co2 – ruumi süsihappegaasi sisaldus hetkel
  - humans:integer – inimeste arv ruumis
  - temp:integer – ruumi hetketemperatuur

- doors:boolean – muutuja, mis annab teada, kas ukсед on avatud või mitte
- windows:boolean – muutuja, mis annab teada, kas aknad on avatud või mitte
- ventilation:boolean - muutuja, mis annab teada, kas ventilatsioon töötab või mitte
- operation saveData():void – funktsioon, mida kasutatakse, et salvestada andmed serverisse

Eraldi teabeks, funktsioonid temperatuuri arvutamiseks, süsihappegaasi arvutamiseks ja andmete salvestamiseks olid loodud šabloonina ning tegelikkuses funktsioonides sisuliselt ei ole midagi ehk tegelikkuses mingit arvutust või andmete salvestamist ei toimu. Mudel on abstraktne ning oli loodud, et aidata inimestel hiljem luua mudelid spetsiifiliste Eluslabori ruumide jaoks.

### **5.3 Olekute omavaheline dünaamika**

Mudeli simulatsiooni ajal toimub liikumine ühest olekust teise igas piirkonnast. Liikumine toimub kas vastavalt mingitele muutujate väärtustele või sündmuse nupule vajutades. Joonisel 5.5 on näha simulatsiooni ajal tabelit, millel sinise tekstiga on välja toodud sündmuse nupud, millele on võimalik vajutada ning halliga on kirjas muutujad ja nende väärtused, mida saab jälgida.





liigutakse tagasi „Idle“ olekusse. See toimub nii „OutsideTempHotter“ kui ka „OutsideTempColder“ olekute puhul.

Olekutesse „OutsideTempHotter“ või „OutsideTempColder“ on võimalik liikuda ka manuaalselt vajutades sündmusele „equalize“. Vajutades sellele sündmusele automaatselt minnakse ühte neist olekutesse. Olekut valitakse põhinedes sellel, kas siseruumi temperatuur on kõrgem või madalam välistemperatuurist.

Piirkonnas „Outside“ juhul kui aknad on lahti ning siseruumi suhteline õhuniiskus ei ole võrdne välise õhuniiskusega, sellisel juhul minnakse liigutakse „Idle“ olekust edasi kas „OutsideRhHigher“ või „OutsideRhLower“ olekusse. Millisesse olekusse minnakse oleneb sellest kas siseruumi suhteline õhuniiskus on kõrgem või madalam kui õhuniiskus väljaspool ruumi. Juhul kui ruumi sisene õhuniiskus on madalam kui väline õhuniiskus, siis minnakse olekusse „OutsideRhHigher“. Selles olekus tõstetakse ruumi sisene õhuniiskus ühe võrra kuni ruumi sisene õhuniiskus võrdsustub välise õhuniiskusega. Kui ruumi sisene õhuniiskus on kõrgem kui õhuniiskus väljaspool ruumi, siis liigutakse olekusse „OutsideRhLower“ ning ruumi sisene õhuniiskus vähendatakse, kuni see on võrdne õhuniiskusega. Juhul kui aknad pannakse kinni olles olekutes „OutsideRhHigher“ või „OutsideRhLower“, siis siseruumi ja ruumi välise õhuniiskuse võrdsustamine peatatakse ning liigutakse tagasi „Idle“ olekusse.

Mudeli töö piirkonnas „Inimesed“ algab olekus „Idle“. Olekus „Idle“ midagi ei toimu, kuid selt saab edasi liikuda viite olekusse, nendeks olekuteks on „IncreasingAmount“, „DecreaseAmount“, „DoorStateChange“, „WindowsStateChange“ ja „Reset“. Ühtegi nendest olekutest ei liiguta automaatselt. Iga oleku puhul „Humans“ piirkonnas on sündmuse nupp millele tuleb vajutada, et minna uude olekusse. Olekusse „IncreasingAmount“ liigutakse kui vajutatakse nupule „increase“, selles olekus tõstetakse inimeste arv ruumis ühe võrra ja antakse teada, et inimeste arv on muutunud, pärast seda liigutakse tagasi „Idle“ olekusse. Olekusse „DecreasingAmount“ liigutakse kui vajutatakse nupule „decrease“, seal vähendatakse inimeste arvu ruumis ühe võrra ja antakse teada, et inimeste arv ruumis on muutunud, pärast seda liigutakse tagasi „Idle“ olekusse. Olekusse „DoorStateChange“ liigutakse kui vajutada sündmuse nupule „doors“, selles olekus muudetakse ukse olek avatuks või kinniseks ja antakse teada, et olek on muutunud, siis liigutakse tagasi „Idle“ olekusse. Olekusse „WindowsStateChange“ liigutakse kui vajutada nupule „windows“, selles olekus muudetakse uste olek avatuks või kinniseks ning antakse teada, et uste olek on muutunud ja liigutakse tagasi olekusse „Idle“. Olekusse „Reset“ liigutakse kui vajutatakse sündmuse nupule „reset“, selles olekus muudetakse inimeste arv nulliks ja

antakse teada, et kõik inimeste piirkonnaga seotud tegevused ei ole juhtunud, aknad ja ukсед on kinni ning inimeste, akende ja uste olekud ei ole muutunud.

Piirkonnas „Room“ alustatakse tööd olekus „Idle“. „Idle“ olekus ei toimu midagi ning sinna liigutakse tagasi kui piirkonnas midagi ei toimu. „Idle“ olekust edasi saab liikuda olekutesse „Thermostat“, „TempRegulation“, „Ventilation on“, „Ventilation off“ ja „MeiePilt“.

„Idle“ olekust liigutakse „Thermostat“ olekusse juhul kui ruumi temperatuur ei ole soovitud temperatuur ning ukсед ja aknad on kinni. Olekus „Thermostat“ otseselt midagi ei toimu. Olekust „Thermostat“ saab liikuda edasi olekutesse „HeatingUp“ ja „CoolingDown“. Kui ruumi temperatuur on madalam kui soovitud temperatuur, siis liigutakse olekusse „HeatingUp“. Olekus „HeatingUp“ tõstetakse ruumi temperatuuri ühe kraadi haaval, kuni temperatuur on võrdne soovitud temperatuuriga, siis liigutakse tagasi „Thermostat“ olekusse. Kui ruumi sisetemperatuur on kõrgem kui soovitud temperatuur, siis liigutakse olekusse „CoolingDown“, selles olekus vähendatakse ruumi temperatuuri ühe kraadi võrra kuni see on võrdne soovitud temperatuuriga ning liigutakse tagasi „Thermostat“ olekusse. Olekus „Thermostat“ kui ruumi temperatuur on võrdne soovitud temperatuuriga, siis liigutakse „Idle“ olekusse. Ruumi temperatuuri tõstes või vähendades olles olekutes „HeatingUp“ ja „CoolingDown“ avatakse aknad või ukсед, siis lõpetatakse temperatuuri viimist soovitud temperatuurile ning liigutakse „Thermostat“ olekusse. „Thermostat“ olekus, kui aknad või ukсед on avatud, siis liigutakse tagasi „Idle“ olekusse.

„Idle“ olekust liigutakse „TempRegulation“ olekusse kahel juhul. Esiteks seda tehakse automaatselt iga kolmekümne sekundi tagant. Teiseks see toimub, siis kui antakse teade et inimeste arvu kogus on muutunud, akende olek on muutunud või uste olek on muutunud. Olekust „TempRegulation“ ei liiguta tagasi „Idle“ olekusse. Olekus „TempRegulation“ arvutatakse ruumi sisetemperatuur ning liigutakse edasi „ChangeInCO2“ olekusse. Olekus „ChangeInCO2“ arvutatakse ruumi süsihappegaasi sisaldus ning liigutakse edasi olekusse „Idle“.

Olekud „Ventilation off“ ja „Ventilation on“ on mõlemad otseselt seotud CO<sub>2</sub> sisaldusega ruumis. Kui süsihappegaasi sisaldus ruumis on kõrgem või võrdne selle lävega ruumis, siis liigutakse olekusse „Ventilation on“. Olekus „Ventilation on“ pannakse ventilatsiooni süsteem tööle ning see mõjutab ruumi sisetemperatuuri ning süsihappegaasi sisaldust. Seetõttu liigutakse automaatselt „Ventilation on“ olekust edasi olekusse „TempRegulation“, järgmisena liigutakse „ChangeInCO2“ ning lõpuks tagasi „Idle“

olekusse. Juhul kui süsihappegaasi sisaldus ruumis on alla läve, siis liigutakse olekusse „Ventilation off“, selles olekus lülitatakse ventilatsioon välja. Kuna ventilatsioon mõjutab ruumi sisetemperatuuri ja süsihappegaasi sisaldust, siis sellest olekust liigutakse edasi olekutesse „TempRegulation“, siis „ChangeInCO2“ ja lõpuks „Idle“ olekusse.

Mudeli interaktsioonid toimuvad sellisel viisil, sest mudel üritab olla võimalikult lähedane sellele, mida teeb ruumi automaatika päris keskkonnas. Näiteks ka füüsiliselt Eluslaboris ruumide kütmist ei alustata kui aknad on lahti.

## 6 TULEMUSTE ANALÜÜS

Praktilise töö tulemusena sai valmis puiestee 80A kolledžist abstraktne mudel ruumi sisekliimast ning lisaks sellele on mudel võimeline arvestama ka välisõhuga ja inimeste käitumisega. Töö protsessis valmis mudel kasutades itemis CREATE tarkvara.

Loodud mudel koosneb kolmest piirkonnast „Room“, „Outdoors“ ja „Humans“. Piirkonnad on seotud ruumi sisekliimaga, ruumivälise kliimaga ja inimeste käitumisega vastavalt. „Room“ piirkonnas toimuvad ruumi õhu parameetrite arvutamine ning temperatuuri ja õhu reguleerimine läbi termostaat ja ventilatsiooni vastavalt. „Outdoors“ piirkonnas toimuvatele protsessidele, mis on seotud siseruumi kliima mõjutamisega ruumist väljaspool olevate faktoritega, näiteks välisõhu temperatuur ja suhteline õhu niiskus. „Humans“ piirkonnas toimuvad tegevused, mis on inimeste poolt mõjutatavad, näiteks inimeste sisenemine ruumi ning uste ja akende avamine.

Peamine probleem, mis tekkis töö protsessis oli selle uudsus autori jaoks. Autoril oli väga vähe kogemust mudelite loomisega. Itemis CREATE programmiga ka varasemat kogemust ei olnud. Mudeli loomisele lisandus vajadus viia ennast kurssi hoone automaatikaga ning programmiga, mida tuli kasutada. Programmi õppimist tegid palju lihtsamaks olemasolevad õpetlikud videod ning hoone automaatikat selgitas insener Taavi Kase. Hästi läks see, et töö protsessis palju probleeme ei tekkinud ning sai lõpuks valmis töötav mudel, mis töötab vastavalt püstitatud eesmärgile. Abstraktne mudel ruumi sisekliimas, mis lisaks on suuteline arvestama ka välisõhule ja inimeste käitumisega.

Mudelit on võimalik täiendada mitmeti. Esiteks oleks kasulik lisada võimalus mudelil suhelda MeiePilve andmehoidlaga ning salvestada sinna simulatsiooni ajal saadud andmed. Teiseks mudelil saab lisada juurde funktsionaalsust nagu konkreetsete andurite ja tajurite lisamine ning nendevahelise suhtlemise mudeli loomine. Täiendada saab ka olemasolevat funktsionaalsust. Näiteks reaalses keskkonnas ruumi kütmist alustatakse ka siis kui aknad on lahti juhul kui temperatuur langeb alla 16 kraadi.

Esimest korda tegeledes mudeli loomisega kasutasin programmi, mis oli kõige lihtsamini arusaadav, intuitiivne ning mille kohta oli lihtne leida õpetlikku informatsiooni, mida saab kohe kasutada mudeli loomise alustamiseks. Palju aega läks ka välja nuputamisele, kuidas mudel peaks välja nägema. Tulevikus autor oleks loonud joonise mudelis olevatest komponentidest ning nende omavahelisest suhtlemisest. See aitaks hea ülevaate saamiseks mudelist ning võimaldaks paremini otsida sobiv

programm selle loomiseks. Kuigi autori valitud tarkvara sobis tööks vajaliku mudeli jaoks, valik oli tehtud teadmatult.

Loodud mudelit saab edasi kasutada abiks Eluslabori konkreetsete ruumide modelleerimiseks. Konkreetsed loodud mudelid saab tulevikus kasutada edasi Eluslabori digitaalse kaksiku loomiseks.

## KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärgiks oli luua 80A Puiestee Eluslabori ruumi abstraktne sisekliima mudel, mis on samas võimeline arvestama nii välisõhuga kui ka inimeste käitumisega. Tulevikus saab loodud abstraktset mudelit kasutada konkreetsete mudelite loomiseks ruumi sisekliimast hoonest, mida edasi kasutatakse digitaalse kaksiku loomiseks hoonest.

Lõputöö teoreetilises osas tutvustati lähteülesannet esimeses peatükis. Teise peatüki esimeses osas kirjeldati digitaalse mudeli, digitaalse kaksiku ning lõpliku olekumasina mõisteid ning nende seotust lõputööga. Teise peatüki teises osas ning kolmandas peatükis tehti lühiülevaade kolledžis olevatest ja alternatiivsetest tarkvaradest mudeli loomiseks. Neljandas peatükis kirjeldati Puiestee 80A õppehoone automaatikat. Töö praktilises osas, viiendas peatükis, kirjeldati loodud mudelit, selle olekuid, liideseid, sündmuseid ja muutujad. Viimases, kuuendas peatükis analüüsiti saadud tulemused.

Tulemusena sai valmis abstraktne mudel Eluslabori ruumist, mis on võimeline arvestama ka välisõhuga ja inimeste käitumisega. Mudel tehti itemis CREATE tarkvaras ning koosneb kolmest piirkonnast. Abstraktne mudel ei olnud tehtud spetsiifilisest ruumist vaid töötab kui šabloon tulevaste ruumide jaoks. Abstraktset mudelit saab tulevikus kasutada abiks spetsiifiliste ruumide mudelite loomiseks.

Mudeli loomiseks oli kolledžil kasutuseks kaks tarkvara, itemis CREATE ja Anylogic. Valituks osutus autori jaoks intuitiivsem tarkvara, mille kohta oli õpetlikku materjali, mida sai kohe kasutada mudeli loomiseks. Selleks tarkvaraks oli itemis CREATE. Mudel on lõplik olekumasin ning olekute funktsionaalsus tuleneb hoone enda tööst. Piirkondadeks jaotus oli tehtud vastavalt kolmele keskkonnale. Nendeks keskkondadeks on ruumi enda sisekliima, ruumi väline kliima ning inimesed ning nende käitumine, milleks on näiteks akende ja uste avamine ja sulgemine. Jaotus oli selline kasutusmugavuse jaoks, et oleks lihtsam jälgida ja täiendada mudelit.

Valmis sai eesmärkidele vastav abstraktne mudel. Loodud mudel võimaldab teistel inimestel, kes plaanivad luua mudeleid sisekliima käitumisest, kasutada enda töös abiks loodud abstraktset mudelit ning seega kiirendada spetsiifiliste ruumide loomise protsessi. Autori hinnanguna valminud mudel on kasulik materjal kasutamiseks abina konkreetsete ruumide sisekliima mudelite loomiseks. Töö protsess oli üldiselt probleemitu ja sujuv.

Eluslaboris toimub ka suhtlemine MeiePilv nimelise andmehoidlaga. Antud lõputöös jäi see funktsionaalsus lahendamata. MeiePilvega suhtlemine peaks tulema päevakorda tulevikus. Edasi saab seda abstraktset mudelit kasutada edasi ruumidest konkreetsete mudelite loomiseks, mis edasi saab kasutada hoone digitaalse kaksiku loomises.



## **SUMMARY**

The aim of the thesis was to create an abstract indoor climate model for the 80A Puiestee Living Lab room, which is also capable of taking into account external air conditions and human behavior. The subsequently developed abstract model can be used to create models for specific building rooms, which are then used to generate a digital twin of the Living Lab.

As a result, an abstract model of the Living Lab room was completed, capable of considering external air conditions and human behavior. The model was created using the CREATE software and consists of three zones. The abstract model was not created for a specific room but serves as a template for future rooms. This abstract model can be used in the future as a guide for creating models of specific rooms.

The theoretical part of the thesis introduced the source task in the first chapter. In the first part of the second chapter, the concepts of the digital model, digital twin, and finite state machine, and their relevance to the thesis were described. The second part of the second chapter and the third chapter provided a brief overview of the software available at the college and alternative software for model creation. The fourth chapter described the automatics of the Puiestee 80A educational building. The practical part was discussed in the fifth and sixth chapter. The fifth chapter described the created model, its states, interfaces, events, and variables. In the last, sixth chapter, the results were analyzed.

The college utilized two software programs, itemis CREATE and Anylogic, for model creation. The author used the more intuitive software with available instructional materials, which was itemis CREATE. The model is a finite state machine, and its state functionality is derived from the building's own operations. The division into zones was done according to three environments that needed to be considered: the indoor climate of the room, the external climate of the room, and people and their behavior, such as opening and closing windows and doors.

Although the model met the objectives, the functionality of communication with the MeiePilv data repository in the Living Lab remained unresolved in this thesis. Interaction with MeiePilv is expected to be addressed in the future. The abstract model can be further used to create specific models for rooms, which can then be utilized in the creation of a digital twin of the building.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] „Laborid,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://taltech.ee/tartu-kolledz/laborid>. [Kasutatud 29 December 2023].
- [2] R. Rubis, PUIESTEE 80A PEATREPIKOJA VALGUSTUSE, Tartu, 2022.
- [3] W. Haiying, B. W. Olesen ja O. B. Kazinci, „Using thermostats for indoor climate control in offices: The effect on thermal comfort and heating/cooling energy use,” Energy and Buildings, Kd-d. %1/%2188 - 189, pp. 71 - 83, 2019.
- [4] S. Yang, M. P. Wan, W. Chen, B. F. Ng ja D. Zhai, „An adaptive robust model predictive control for indoor climate optimization and uncertainties handling in buildings,” Building and Environment, kd. 163, 2019.
- [5] J. Pfafferott, S. Reißmann, M. Sühning, F. Kanani-Sühning ja B. Maronga, Building indoor model in PALM model system 6.0: Indoor climate,, 2020.
- [6] M. Khan, M. J. Thaheem, M. Khan, A. Maqsoom ja M. Zeeshan, „THERMAL COMFORT AND VENTILATION CONDITIONS,” Environmental Engineering and Management, kd. 19, nr 11, pp. 2059-2075, 2020.
- [7] „Difference between digital twin, digital model, and digital shadow,” Wizata, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.wizata.com/knowledge-base/difference-between-digital-twin-digital-model-and-digital-shadow#:~:>. [Kasutatud 29 December 2023].
- [8] I. R. M. Association, „Architecture and Design: Breakthroughs in Research and Practice,” %1 Architecture and Design: Breakthroughs in Research and Practice, IGI Global, 2018, p. 271.
- [9] S. D. J. S. W. L. B. J. L. Matthew J. Peluso, „Digital models: An introduction,” Seminars in Orthodontics, kd. 10, nr 3, pp. 226-228, 2004.
- [10] M. Grieves, „ResearchGate,” October 2002. [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/356192963\\_SME\\_Management\\_Forum\\_Completing\\_the\\_Cycle\\_Using\\_PLM\\_Information\\_in\\_the\\_Sales\\_and\\_Service\\_Functions](https://www.researchgate.net/publication/356192963_SME_Management_Forum_Completing_the_Cycle_Using_PLM_Information_in_the_Sales_and_Service_Functions). [Kasutatud 29 December 2023].
- [11] E. F. E. P. H. Y. Q. Maulshree Singh, „Digital Twin: Origin to Future,” Applied System Innovation, pp. 1-2, 2021.
- [12] Brilliant, „Finite State Machine,” [Võrgumaterjal]. Available: <https://brilliant.org/wiki/finite-state-machines/>. [Kasutatud 29 December 2023].

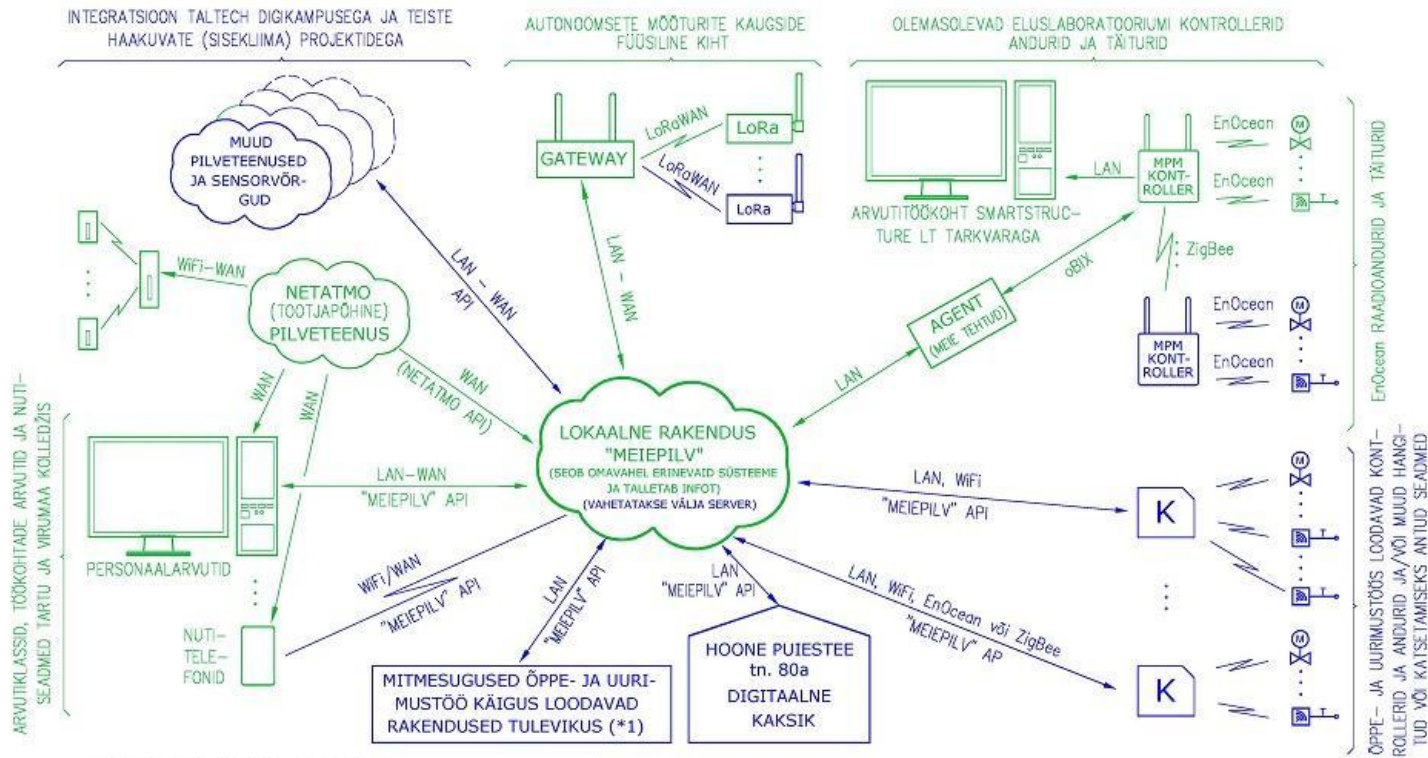
- [13] „Abstract Machine,” Wolfram MathWorld, [Võrgumaterjal]. Available: <https://mathworld.wolfram.com/AbstractMachine.html>. [Kasutatud 29 December 2023].
- [14] J. Wang, Formal Methods in Computer Science, New York: Chapman & Hall, 2019.
- [15] K. Tsonev, „Smashing Magazine,” 4 January 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.smashingmagazine.com/2018/01/rise-state-machines/>. [Kasutatud 29 December 2023].
- [16] Anylogic, „Anylogic,” Anylogic, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.anylogic.com/features/>. [Kasutatud 29 December 2023].
- [17] Anylogic, „Multimethod Simulation Modeling,” Anylogic, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.anylogic.com/use-of-simulation/multimethod-modeling/>. [Kasutatud 29 December 2023].
- [18] Anylogic, „Process Modeling Library,” Anylogic, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.anylogic.com/features/libraries/process-modeling-library/>.
- [19] itemis CREATE, „What is itemis CREATE?,” itemis CREATE, [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.itemis.com/en/products/itemis-create/documentation/user-guide/overview\\_what\\_are\\_itemis\\_create\\_statechart\\_tools](https://www.itemis.com/en/products/itemis-create/documentation/user-guide/overview_what_are_itemis_create_statechart_tools). [Kasutatud 29 December 2023].
- [20] Xcos, „Xcos,” Xcos, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.scilab.org/software/xcos>. [Kasutatud 29 December 2023].
- [21] Xcos, „Mechanics/Thermodynamics,” Xcos, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.scilab.org/software/xcos/mechanicsthermodynamics>. [Kasutatud 29 December 2023].
- [22] MathWorks, „Stateflow,” MathWorks, [Võrgumaterjal]. Available: <https://nl.mathworks.com/products/stateflow.html>. [Kasutatud 29 December 2023].
- [23] MathWorks, „MATLAB,” MathWorks, [Võrgumaterjal]. Available: <https://ww2.mathworks.cn/en/products/matlab.html>. [Kasutatud 29 December 2023].
- [24] MathWorks, „Videos and Webinars,” MathWorks, [Võrgumaterjal]. Available: <https://ww2.mathworks.cn/en/videos/getting-started-with-stateflow-1608719415568.html>. [Kasutatud 29 December 2023].

- [25] A. Rootsi, „Tartu kolledž arendab laboribaasi,” Taltech, 17 June 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://taltech.ee/uudised/tartu-kolledz-arendab-laboribaasi>. [Kasutatud 29 December 2023].
- [26] „Living Labs | FISSAC,” 18 September 2023. [Võrgumaterjal]. Available: <https://fissacproject.eu/en/livinglabs/>. [Kasutatud 18 September 2023].
- [27] „Muutuja programmeerimises,” Pythoni õppematerjalid, [Võrgumaterjal]. Available: <https://pydoc.pages.taltech.ee/variable/variable-intro.html>. [Kasutatud 29 December 2023].

**LISAD**

## Lisa 1 Varasem joonis pilvelabori hetkeseisust ja perspektiividest

### PILVELABORI HETKESEIS JA PERSPEKTIIVID



#### VÄRVIDE KASUTUS JOONISEL:

- - juba olemasolevad süsteemid
- - tulevikus arendatav osa \*1

#### MÄRKUS:

- \*1 Perspektiivselt loodav osa süsteemist võib ajas muutuda, kuna jooksvalt koguneb infot asjade otstarbekuse kohta ja valdkond ise areneb kiiresti.