



TALLINNA
TEHNIKA KÕRGKOOI

Ragnar Öövel

**TEOSTUSMUDELI ANALÜÜS
TALLINNA
TEHNIKA KÕRGKOOI
HOONESTIKU
REKONSTRUEERIMISE
NÄITEL**

LÕPUTÖÖ



Ragnar Öövel

**TEOSTUSMUDELI ANALÜÜS
TALLINNA TEHNIKAKÕRGKOO
HOONESTIKU REKONSTRUEERIMISE
NÄITEL**

LÕPUTÖÖ

Ehitusinstituut

Hoonete ehituse õppekava

Juhendaja: Egert-Ronald Parts

Tallinn 2022

Mina, Ragnar Öövel

tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autori/te/le ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Juhendaja (Egert-Ronald Parts, /allkirjastatud digitaalselt/)

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina,

Ragnar Öövel

sünnikuupäev:

24.04.1997

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

„Teostusmodeli analüüs Tallinna Tehnikakõrgkooli hoonestiku rekonstrueerimise näitel“

1. reprodutseerimiseks paberkandjal kõrgkooli raamatukogus avaldamise ja säilitamise eesmärgil;
2. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
3. kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et:

1. lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi;
2. PDF-failina esitatud töö vastab täielikult kirjalikult esitatud tööle.

Tallinnas,

/allkirjastatud digitaalselt/



Ehitusinstituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõpetaja: Ragnar Öövel

Õpperühm: HE/LA

Eriala: Hoonete Ehitus

Lõputöö teema: Teostusmodeli analüüs Tallinna Tehnikakõrgkooli hoonestiku rekonstrueerimise näitel

Lähteandmed töö koostamiseks:

Laborimaja rekonstrueerimise projektdokumentatsioon

Peamaja esimese korruse rekonstrueerimise projektdokumentatsioon

Tallinna Tehnikakõrgkooli peamajast kaardistatud punktipilv

Laborimaja rekonstrueerimise raames kaardistatud punktipilv

RKAS „Tehnilised nõuded mitteeluhoonetele“

Töö sisu, ülesehitus ja lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

Teostusmodelite olemuse uurimine ja sellele tuginedes Tallinna Tehnikakõrgkooli rekonstrueerimise raames koostatud teostusmodelite analüüs.

Seletuskirja ning graafilise materjali sisu ja maht:

Seletuskiri 40-60 lehekülge.

Lõputöö juhendaja:

Egert-Ronald Parts
(nimi)


(allkiri)

26.05.22
(kuupäev)

Lõpetaja:

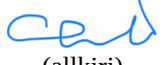
Ragnar Öövel
(nimi)


(allkiri)

26.05.22
(kuupäev)

Kinnitaja:

Aivars Alt
ehitusinstituudi direktor


(allkiri)

26.05.22
(kuupäev)

Lõputöö ülesanne antud: 28.02.2022

Lõputöö esitamise tähtaeg: 01.06.2022

SISUKORD

LÜHENDID	6
SISSEJUHATUS.....	7
1 TEOSTUSMUDEL	8
1.1 Olemus ja nägemus.....	8
1.2 Nõuded ja põhimõtted	8
1.2.1 Avalik sektor	9
1.2.2 Erasektor.....	10
1.3 Kasutus	11
1.3.1 Hoone haldus ja hooldus	11
1.3.2 Demonteerimine ja lammutamine	13
1.3.3 Digitaalkaksik.....	13
1.4 Probleemkohad	15
1.4.1 Teostusmudel ajakohastamine.....	15
1.4.2 Muudatuste dokumenteerimine	15
1.4.3 Teostusmudeli käsitsi koostamine.....	15
1.5 Teostusmudeli koostamine	16
1.5.1 Punktipilv	16
1.5.2 Rakendused teostusmudelite koostamiseks.....	18
2 TEGELIKKUSE ANALÜÜS TEOORIALE TUGINEDES	20
2.1 TTK laborimaja teostusmudel	21
2.1.1 Nõuded	21
2.1.2 Teostusmudeli koostamine	22
2.2 TTK peamaja esimese korruse teostusmudel	31
2.2.1 Nõuded	32
2.2.2 Teostusmudeli koostamine	32
2.3 Tulemused ja järeldused	38
KOKKUVÕTE.....	42
SUMMARY	44
VIIDATUD ALLIKAD.....	46

LÜHENDID

2D	– kahemõõtmeline
3D	– kolmemõõtmeline
AR	– arhitektuuri osamudel
AST	– avaliku sektori tellijate
BIM	– (<i>Building Information Modeling</i>) ehitusinfo modelleerimine
CAD	– (<i>Computer Aided Design</i>) Raalprojekteerimine e arvuti abil kujundamine
COBIM	– (<i>Common Building Information Modeling requirements</i>) Ühised ehitusinfo modelleerimise nõuded
EK	– konstruktsiooni osamudel
EL	– elektri osamudel
IFC	– (<i>Industry Foundation Classes</i>) rahvusvaheliselt kasutatav mudelifailide laiend
KK	– kütte osamudel
KV	– ventilatsiooni osamudel
KVJ	– jahutuse osamudel
MKM	– Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium
RKAS	– Riigi Kinnisvara AS
SA	– sisearhitektuuri osamudel
TTK	– Tallinna Tehnikakõrgkool
VK	– veevarustuse ja kanalisatsiooni osamudel

SISSEJUHATUS

Käesoleva lõputöö eesmärk on uurida Building Information Modeling (BIM) teostusmodelite olemust. Teostusmodel on oluline osa terviklikust BIM protsessist. Seega on oluline, et kõiksugused sellega seonduvad toimingud saaksid tehtud võimalikult efektiivselt, suurema ajalise või materiaalse raiskamiseta. Töö käigus analüüsitakse, tuginedes teooriale, tegelikku teostusmodelite koostamise protsessi Tallinna Tehnikakõrgkooli hoonestiku rekonstrueerimisel tellitud teostusmodelite näitel. Tuuakse välja teostusmodelitele kehtestatud nõuded ning käsitletakse kasutusvõimalusi, probleemkohti ja koostamist.

Teostusmodel peab järgima kokkulepitud nõudeid ja olema vastavuses tegelikkuses valminud ehitisele. Riiklike ehitusprojektide puhul on nõuded ette määratud Riigi Kinnisvara AS (RKAS) poolt avaldatud nõuetega. Eratellija projektide puhul lepatakse need osapoolte vahel kokku. Teostusmudeleid kasutatakse erinevate eesmärkide täitmiseks, millest lihtsaim on hoone tegeliku seisundi visualiseerimine, aga saab ka edukalt kasutada muuhulgas hoone haldamiseks või lammutusprojekti koostamiseks. Kuigi neil on palju kasutuskohi, kaasnevad nendega ka erinevad probleemkohad, selle koostamisel, kui kasutamisel.

Tallinna Tehnikakõrgkooli (TTK) laborimaja ja peamaja esimese korruse rekonstrueerimisel koostati kummastki hoone osast teostusmodelid. Teostusmodelid telliti eesmärgiga kasutada neid haldusprotsessis, kui terve TTK hoonestik on kaardistatud. Tööd telliti vastavalt aastatel 2020 ja 2021 ning teostusmodelite koostamist viis läbi PNL OÜ.

1 TEOSTUSMUDEL

1.1 Olemus ja nägemus

Ehitusprojektid muutuvad ajas järjest keerukamaks. Metoodikad nagu BIM aitavad kõigil ehitisega seonduvatel isikutel paremini orienteeruda projekti andmestikus. BIM teeb võimalikuks kolmemõõtmelise (3D) projekteerimise ja mudelile andmete lisamise. Lisaks lihtsustab mudel kogu hoone elukaare jooksul selle dokumentatsiooni digitaalse hoiustamise, kasutamise ja muutmise. [1]

Teostusmudeli näol on tegu infomudeliga mis on vastavusesse viidud tegelikkuses ehitatule. See sisaldab endas kõiki ehitise juurde kuuluvate elementide täpset asukohta. Lisaks täpsele asukohale peavad ka hoone elemendid olema teostusmudelil täpse geomeetriaga. Teostusmudeli aluseks on ehitise projektdokumentatsioon, kuid ükski ehitise ei valmi täpselt nii nagu projektis on ette nähtud. Põhjusi tegelikkuse ja projektis ette nähtud lahenduste erinevuse vahel on mitmeid, näiteks ristumise ilmnemine ehituse käigus või eelarvega seotud muudatused. [2].

Teostusmudelil on suur kasutegur ehitisega seonduvate osapoolte jaoks. Täpse teostusmudeli olemasolu ehitisest aitab analüüsida ja visualiseerida erinevaid rekonstrueerimise lahendusi ja valida nende seast parim. Märkimisväärsemaid võimalusi on võime talletada reaalses teavet hoone energiakasutuse kohta. Täna kasutatakse juba BIM tarkvarasid koostöös energiasimulatsiooni tarkvaradega uute hoonete energiakulude arvutamiseks ja nende võimekuse ennustamiseks. Kuid olemasolevate hoonete juures tekitavad samas probleeme ebakindlus ja ebamäärased ennustused hoone tegeliku seisundi kohta. [3]

Täpse teostusinformatsiooni vajadus tekib ka elemenditootjatel kui nad tahaksid toote tehases valmis teha ilma enne objektile käimata [4]. Lisaks kõigele eeltoodule on võimalik teostusmudeleid kasutada ka hoonete haldamise protsessis, kui viia sisse mõningad muudatused. Arvestada tuleks ka sellega, et kõik teostusmudelid mingil määral talletatakse. Seega on võimalus tulevikus saada teostusmudelitega ehitiste kohta täpseid ja terviklikke andmeid mis tahes otstarbeks.

1.2 Nõuded ja põhimõtted

Enne infomodelite koostamist pannakse paika tööde teostamise nõuded. BIM infomodelite, sealhulgas teostusmudeli, eripärad lepitakse kokku rakenduskavas. Kava koostatakse üldjuhul BIM koordinaatori teenust pakkuva ettevõtte poolt, koostöös tellija esindaja, projekteerimise projektijuhi ja projekteerijatega. Nagu teiste ehitisega seonduvate töödega Eestis, peab ka BIM projekti

koostades järgima vastavaid seadusega määratletud nõudeid. Normdokumendid lepatakse kokku ja selgitatakse lahti rakenduskavas.

Projekti rakenduskava eesmärgiks on kõikidele osapooltele nende rollide ja vastutuste üheselt arusaadavaks tegemine. Rakenduskava kirjeldab töös sisalduvaid protsesse, kasutatavaid tarkvarasid ja informatsiooni ning selle mahtu mida projekti jooksul jagatakse [5].

BIM rakenduskava ülesehitus võib koosneda järgnevast [5]:

1. projekti üldandmed;
2. projekti eesmärk, maht ja ajakava;
3. projekti koosseis;
4. organisatsioon;
5. tööde korraldamine;
6. vormistamine;
7. kvaliteedikontroll;
8. tehnoloogiline infrastruktuur;
9. vastutuse jagamise strateegia.

1.2.1 Avalik sektor

Avalikus sektoris korraldab hoonetega seonduvaid tellimustöid RKAS. Antud asutus tegeleb riigi ülesannete täitmiseks vajalike kinnisvaraobjektide tellimise ja haldamisega, sealkohal ise mitte teenuseid pakkudes, vaid kasutades selleks erasektoris olevat tööjõudu [6].

RKAS on väljastanud „Tehnilised nõuded mitteeluhoonetele“. Neid nõuded peab järgima kõikides RKAS-iga seotud ehitusprojektides. Tingimusi on võimalik kokkuleppel muuta või lisada neile täiendusi. Nõuetes välja toodud BIM osa on koostatud Soomes ilmunud COBIM mudelprojekteerimise nõuete alusel. [7]

RKAS-i nõudeid järgides peab teostusmodeli loomine toimuma samaaegselt ehitustööde teostamisega. Tööde graafik lepatakse kokku ja dokumenteeritakse rakenduskavas. Rakenduskavas peavad olema välja toodud lisaks graafikule meetodid teostusmodeli koostamiseks, teostusmodeli valideerimiseks ja nõutud tolerantside saavutamiseks. Teostusmodel peab vastama tegelikkuses valminud objektile ja sisaldama samas mahus elemente mis on väljatoodud hankedokumentides. Teostusmodel koostatakse lisades töömodelisse ehitusaegsed muudatused ning ehituse ajal tekkinud informatsiooni. Kvaliteedi saavutamiseks tuleb ette näha valideerimise meetod mille läbi

tõendatakse teostusdokumentatsiooni vastavus tegelikkusele. Tellija ja omanikujärelevalve kontrollivad teostusmodeli arengut vastavalt kokkulepitud aegadele. [7]

Nõuete lisades on toodud välja elementide lubatud ristumised ning nende andmesisuväljad. Teostusmodeliga koos tuleb üle anda modelis olevate elementide mahtude loend. Loend tuleb komplekteerida vastavalt nõuete lisas välja toodud kogumite kaupa. [7]

Võrreldes töömudeli elementide andmesisu nõudeid teostusmodeli omadega, lisandub teostusmodeli faasis mudelile tooteinfo ning kasutus- ja hooldusjuhendi lahter. Viited neile lisatakse modelisse lokaalse lingina ning neid sisaldavate kaustade sisu antakse üle koos teostusmodeliga. Tooteinfo ning kasutus- ja hooldusjuhend peab olema kättesaadav kõigilt nõutud elementidelt. [7]

Lõputöö kirjutamise hetkel ei ole avalikus sektoris rohkem kohustuslikke nõudeid, kuid see ei tähenda seda, et lisaks eeltoodud nõuetele on teiste kasutamine keelatud.

1.2.2 Erasektor

Erasektoris on vabadus järgida nõudeid, mis on kõige rohkem sobivuses ehitatava projektiga. Siiski, kasutatakse enamasti samu põhimõtteid, mis on kirjeldatud nõuetena eelnevas peatükis. Erasektori BIM nõuete kasutavuse vabadus tähendab ka seda, et teostusmodeli koostamine ei ole kohustuslik. Kuigi BIM nõudeid otseselt määratud ei ole, kehtivad sellegipoolest BIM projekteerimisele samad põhimõtted, mis 2D projekteerimisele.

Lisaks RKAS väljatöötatud nõuetele koostati 2019. aastal MKM-i tellimusel „Avaliku sektori tellijate ühiste BIM nõuete juhend“. Eelmainitud juhend koostati seoses Majandus ja Kommunikatsiooniministeeriumi (MKM) sihiga kasutada BIM-põhiseid automaatkontrolle ehituslubade menetlemise protsessis. Selle eelduseks on standardiseeritud nõuete põhjal BIM mudelite üleslaadimine Ehitusregistrisse. [8]

Avaliku sektori tellijate (AST) hoonete ja rajatiste teostusmodeli nõuete andmesisu osa põhineb mõningate erinevustega RKAS mittelehoonete nõuetel. Kuid AST nõuetel erinevalt RKAS nõuetest on lisaks eraldi andmesisunõuded ka infrastruktuuri elementidele, mis määravad millise detailsusega ja kuidas mudeli elemendid esitatakse. [9]

1.3 Kasutus

Nagu lühidalt peatüki alguses kirjeldatud, on teostusmodelil mitmeid rakenduskohi. Väljaspool Eestit on teostusmodelite kasutamine laiemalt levinud. Sellest hoolimata on Eestis teostusmodelite kasutamine kiires arengus olev osa BIM tehnoloogiast.

1.3.1 Hoone haldus ja hooldus

Seoses ehitiste omanike tahtega haldusprotsessi parendada, hakkab BIM tehnoloogia kasutamine ehitiste ekspluatatsiooni faasis alles hoogu koguma. BIM tehnoloogiaga hoone mudelile lisatud teave ehitisest tekitab kinnisvara halduritele väärtust erinevatel ehitise elutsükliga seotud tegevustel. [10]

Teostusmodeli kasutamine haldusmodelina eeldab mõningaid muudatusi mudeli ülesehituses [10]:

- üleliigsete andmete eemaldamine mudelist, mille hulka kuuluvad näiteks tööjoonised või konstruktsiooni detailid. Vajadusel on võimalik need andmed kätte saada teostusmudelist;
- kui projekt on koostatud kasutades osamudeleid, siis tuleb need võimalusel ühildada üheks tervikuks. See ei pruugi olla praktiline kui tegemist on suurema projektiga;
- oluline on hoida haldusmodelis korrektseid andmeid ruumide kohta, sealhulgas ruumi asukoht ja number ning maksimaalne ruumis paiknevate inimeste arv;
- hoones olevatele seadmetele tuleb anda kordumatu tähistus;
- haldusmodel tuleb ühildada hoones kasutatava haldustarkvaraga.

Kohad kus tekib lisaväärtus kinnisvara haldamisel haldusmodeliga [10]:

- parenenud ruumikasutus. Kui halduritel õnnestub vähendada kasutamata pinda hoones, on see arvestatav rahaline võit;
- tõhustatud korrashoid. Teostusmodelites säilitatav informatsioon hoones olevate seadmete kohta vähendab märgatavalt aega mis kulub haldussüsteemide seadistamisele. Teostusmodel võib sisaldada andmeid ka elemendi kasutusea ja asenduskulude kohta, mis aitab omanikul kaaluda erinevaid võimalusi asendamisel või renoveerimisel;
- efektiivne energiakasutus. BIM tehnoloogia hõlbustab andmete analüüsimist, mille abil on võimalik optimeerida energiakasutust hoone elukaare vältel;
- ökonoomilised uuendused ja renoveerimised. Korrektne teostusmodel lihtsustab hoone ruumilist visualiseerimist. See omakorda annab hoonest usaldusväärsema ja täpsema ülevaate töövõtjale ja vähendab töö käigus, puudulikust infost tekkivaid probleeme.

Teostusmudelit kasutatakse ka hoone hooldamisel. Hooldusel eristatakse ennetavat hooldust ja reaktiivset hooldust (remont). Hooldusremondi puhul on mudelist abi visualiseerimisel ja töö kavandamisel. Rohkem kasutust leiab mudel ennetava hoolduse tegemisel. Ennetava tarbeks on vajalik, et hooldatavad osad oleksid mudelis kirjeldatud. Osale on võimalik mudelisse sisestada muuhulgas elemendi kasutusiga, hooldusintervall ja hooldusülesandeid. Kasutades andmebaasi, mis sisaldab ennetavat hooldust vajavaid osi, on võimalik nende hooldusolukorda lihtsustatult visualiseerida 3D vaates erivärvidega. [11]

Infomodelite kasutus ehituses on kasvutrendis ning hooldusettevõtted kasutavad oma töös igapäevaselt IT-süsteeme. Sellest hoolimata kasutatakse mudeleid hooldusel veel vähe. [12]

Hooldusmodeli vähese kasutamise põhjused on [11]:

- vähene arvuti mälu maht takistab BIM-programmide efektiivset kasutamist;
- sisendiks kasutatav infomudel on koostatud puudulikult;
- vähene usaldus mudeli korrektsusele;
- visualiseerimisprogrammide omavaheline mitteühildumine;
- ehitusaegsed muudatused ei kajastu mudelis;
- hoolduseks vajalikud andmed puuduvad;
- mudelit ei täiendata eksploatatsiooni käigus;
- käitlusel saadud kogemusi või tegevusi ei salvestata mudelisse;
- ei ole liidest visualiseerimisprogrammi, hooldusrakenduse, mõõtesüsteemidega või hooneautomaatika süsteemidega;
- vastuseis muudatustele;
- ei soovita muuta hooldust läbipaistvaks;
- andmete süsteemide vaheline vahetamine nõuab palju käsitööd.

Teostusmudelit on võimalik kasutada ka energiatõhususe ja sisekeskkonna haldamisel. Mudeli abil saab võrrelda arvutuslikku ja tegelikku energiakulu. Energiakulu on võimalik näiteks visualiseerida erinevate värvidega, suurendades kõrvalekallete silmatorkavust. Lisaks eelnevale on mudeli abil võimalik tuvastada ka energiakulu mõjutavaid tegureid. Kõige selle eelduseks on mudeli kontrollitus päriselt kasutusel olevate seadmete põhjal. [11]

1.3.2 Demonteerimine ja lammutamine

Demonteerimine on ehitise osaline või täielik süstemaatiline lahti võtmine eesmärgiga taaskasutada võimalikult palju eemaldatud materjali. Ehitise elukaare jätkusuutlikumaks muutmisel on tähelepanu alla sattunud just ehitusjäätmete koguse vähendamine. BIM tehnoloogia kasutamine annab võimaluse jätkusuutlikule demonteerimisele, kuid selle rakendamine on alles arengufaasis. [13]

Ehitustööstus kasutab palju materjale, tekitades samal ajal tohutu hulga jäätmeid. Suurimaks jäätmeid tootvaks etapiks ehitise elukaares on selle lammutamine. Mehaanilisele lammutamisele kulub vähem aega kui demonteerimisele. See takistab demonteerimise projektide koostamist, mille elluviimisel tekib vähem jäätmeid. [14]

Teostusmudeli kasutamise võimalused demonteerimisel on [15]:

- ehitise seisundi hindamine. Olulisemaid tegevusi demonteerimisel on ehitise eelnev analüüs, et teha selgeks taaskasutatavad elemendid;
- taaskasutatavate elementide märgistamine. Elementide märgistamine mudelis võimaldab organiseerida ehitise lahtivõtmist;
- demonteerimise simulatsioon. Ühendades ehitise demonteerimise projekti teostusmudeliga on võimalik simuleerida tervet demonteerimise protsessi.

Praegu kasutatakse põhiliselt infomudelis sisalduvaid andmeid projekteerimisel ja ehitamisel. Mudelist väljastavate andmete põhjal on võimalik teha ka lammutuste planeerimisel jäätmete halduse tasuvusanalüüsi, kontrollimaks, kas planeeritud tegevused tooks ettevõttele kasu. Täna ei ole andmete kogumine ja nende täpsus veel piisavalt hea, et eelnimetatud uuringute tegemine kasumlik oleks. See omakorda tähendab, et ettevõtjad on ka vähem avatud keskkonnasõbralikele lammutusmeetoditele. [16]

1.3.3 Digitaalkaksik

BIM lihtsustab nn tarkade hoonete ehitamist ning digitaalkaksik lihtsustab nende haldamist. Digitaalkaksikut võib pidada digitaalseks ehitise koopiaks, mille abil juhitakse ehitist andmepõhisest vaatepunktist. Targad hooned toodavad andmeid, mida haldurid kasutavad teadlikuma järelevalve teostamisel. [17]

Digitaalkaksikul on kolm põhilist funktsiooni [17]:

1. andmete mudeldamine, mille abil saab näha milleks hoonet kasutatakse ja ka kõiki hoonega kaasnevaid andmeid;
2. simuleerimine, mis aitab andmetepõhiselt planeerida muutuseid ja parendusi;
3. koondatud andmetepõhine haldus, mis digitaalksiku kontekstis võib viidata ruumi planeerimisele, varahaldusele või tööjõu juhtimisele.

Las Vegase linnas on teostamisel projekt, mille eesmärk on olemasolevate hoonete süsihappegaasi heitekogus viia nulli. Projektis loodi Las Vegase ühe äärelinna seitsme ruutkilomeetri suuruse ala digitaalksiku. Kasutades erinevaid sensoreid, mis tunnetavad ja mõõdavad muutusi keskkonnas, kogutakse analüüside tarbeks andmeid. Nende analüüside tulemuste põhjal, vähendatakse hoonete süsihappegaasi tootlikkust ning optimeeritakse veekasutust ja parendatakse linna õhukvaliteeti. [18]

Ehituses võimaldavad digitaalksikud hoone seisundit hinnata mitte vaid paar korda elukaare jooksul, vaid vastavalt vajadusele reaalajas. Lisaks saab märkimisväärselt vähendada füüsiliste prototüüpide valmistamise vajadust, selle asemel saab neid teostada digitaalselt, hoides kokku raha ja aega. Digitaalksikute koostamine ja nende kasutamine on kiires arengus. Neid kasutatakse lisaks ehitusele veel teistes valdkondades, näiteks tervishoid, tehasealine tootmine ja autotööstus. Ettevõtted alles õpivad tundma, teevad katseid ja kohanevad digitaalksikutega, et kasutada neid oma ärimudelis. Tehnoloogia arenedes võib olla digitaalksikutel oluline osa jätkusuutlikus ehituses. Foto 1 kirjeldatakse digitaalksiku koostamist. [19]

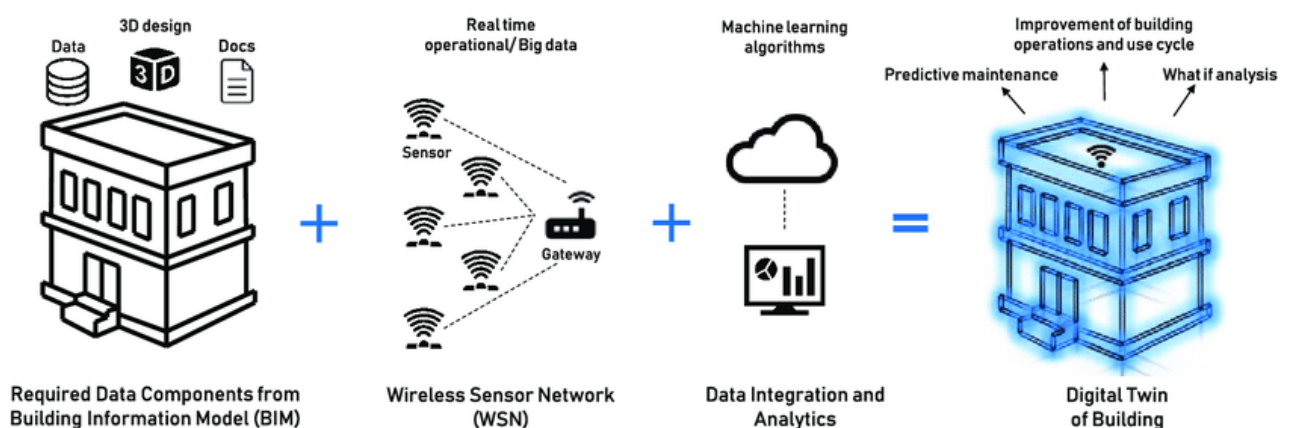


Foto 1. Digitaalksiku; võimalus digitaalksiku saamiseks: kui BIM-ile lisandub reaalajas toimiv sensorite võrgustik ning masinõppel baseeruvate algoritmide kasutamisel kogutud andmete lisamine ja andmestiku analüüsimine [20]

1.4 Probleemkohad

Nagu eelnevalt mainitud ei ole teostusmodelite kasutamine veel laialdaselt levinud. Tulenevalt sellest on neil erinevaid probleemkohti, mida järgnev peatükk kirjeldab.

1.4.1 Teostusmodeli ajakohastamine

Üks põhilisemaid probleeme, mis kaasneb teostusmodeliga, on selle ülalpidamine. Tihti ei ole üleandmise järel paigas, kes peab sellega edasi tegelema. Samas on kinnisvarahalduritele oluline, et mudelis olevad andmed oleks võimalikult täpsed. Isegi kui teostusmodeli valmimisel on andmed ajakohased, siis muutustega ehitise juures kaotavad need ehitise halduse seisukohast kiiresti oma kasutatavuse. Ehitise omaniku BIM koostööpartner võib olla see, kes hoiab silma peal muutustel ja nendest lähtuvalt teostusmodelit uuendab. [21]

1.4.2 Muudatuste dokumenteerimine

Muudatused ehituse käigus on paratamatud ja tulevad tihti erinevatelt osapooltelt. Muudatuste haldamine on osa projekti juhtimisest ning see vajab samuti struktureeritud korraldamist. Tõhusa muudatuste haldamise süsteemi ülesehitus on keeruline, kuid on olemas tarkvarasid, mille abil saab korraldada muutuste dokumenteerimist ja muid sellega kaasnevat tegevusi. [22]

Välja saab tuua kaks probleemkohta seoses muudatuste käsitlemisega: muudatustest teavitamine ja muudatuste dokumenteerimine. Kasutades muudatusest teavitamiseks e-maili, mis on kõige levinum viis informatsiooni edastamiseks, võib juhtuda, et nendest küll teavitatakse, kuid ei dokumenteerita. Sel juhul ei pruugi jõuda muudatus osapoolteni, kes tegelevad mudeli koostamisega. Toimiv muudatustest teavitamise ja andmete vahetamise süsteem osapoolte vahel aitab mudeldajatel jõuda tervikliku teostusmodelini. [23]

1.4.3 Teostusmodeli käsitsi koostamine

Teostusmodel on veel maailmas suhteliselt uus mõiste ning ei ole veel arendatud tarkvara või seadet, mis koostaks teostusmodeli meie eest. Hetkel koostatakse teostusmudeleid suuresti käsitsi, toetudes laserskaneerimisel tekitatud punktipilvele. Teostusmodelite käsitsi koostamise protsess on tülikas, keeruline ja nõuab oskustöölisi. Lihtsamate osade mudeldamine suurt ajakulu ei tekita, aga keskmise suurusega hoone mudeldamine võib võtta mitu kuud. Kuigi mudeli koostamisel võib olla palju korduvaid tegevusi, on tarkvarad keerukad ja spetsiifikat hoone juures leidub piisavalt, et tööde läbiviimiseks on vajalikud oskuslikud mudeldajad. Isegi täpsete juhendite olemasolul võivad

erinevate tegijate poolt koostatud teostusmodelid olla väga erinevad. Väljatoodud probleemid tõendavad, et vajatakse automatiseeritumat teostusmodelite koostamise võimalust. [24]

1.5 Teostusmodeli koostamine

Teostusmudeleid koostatakse, kasutades erinevaid selleks mõeldud rakendusi. Mudeldada on võimalik terviklikult ühes rakenduses või valida erinevate osade jaoks spetsialiseeritum tarkvara.

Teostusmodeli koostamine koosneb kolmest põhiülesandest [25]:

- geomeetria mudeldamine;
- mudeldatud objektile materjali ja kategooria määramine;
- mudeldatud osade ühendamise või nende vahel seose tekitamine.

Parim aeg teostusmodeli koostamiseks on samaaegselt ehitusega, kuid seda on võimalik teha ka hiljem, peale ehitise valmimist. Koostades mudelit ehituse ajal on võimalik seda teha suurema täpsusega ning saada jooksvalt teada muudatustest ning vajadusel küsida küsimusi.

Ühe ehitise kohta koostatud infomudelid peavad omavahel ka kokku sobituma. Osamudelid, mis on näiteks konstruktsiooni- või ventilatsioonimudel, ühendatakse tervikuks ehk koondmudeliks. Selleks koostatakse osamudelitest vastavad IFC failiformaadis mudelid. Neid mudeleid on võimalik enamiku BIM tarkvaradega avada. [12]

Ehitiste puhul on täpsem ja usaldusväärsem lähteandmete kogumise viis laserskaneerimine, mille põhjal genereeritakse punktipilv. Väiksemate projektide puhul võib piisava täpsusega lähteandmeteks lugeda ka objektile tehtud fotosid ja videoid. Järgnevas peatükis kirjeldatakse lähemalt teostusmodeli koostamise võimalusi ja üksikasju.

1.5.1 Punktipilv

Laserskaneerimise abil on võimalik saada kiirelt ja täpselt ehitise 3D kujutis punktipilvena. Selle abil mudeldamine on enimlevinud viis teostusmodeli koostamiseks. [24]

Laserskaneerimise abil teostusmodeli koostamise võib jaotada kolmeks etapiks [24]:

1. andmete kogumine – laserskaneerimise tulemusel punktipilvede genereerimine;
2. andmete eeltöötlamine – punktipilvede korrastamine ning seejärel nende koondamine üheks punktipilveks;
3. mudeldamine – mudeli koostamine lähtudes punktipilvest.

Laserskaneerimine on muutnud teostusmodelite koostamise kontrollitavamaks. Laserskannerid mõõdavad kaugust pinnast, tekitades seeläbi tuhandeid kuni sadu tuhandeid punkte sekundis. Skaneerimist teostatakse ühe ehitise puhul mitmetest erinevatest asukohtadest, et kaardistatud saaks iga detail ehitisest. Lisaks skaneerimisele tehakse keskkonnast fotosid ka, mis hiljem ühildatakse skaneeritud andmetega, lihtsustades modelleerimist. [24]

Punktipilvede omavahelise asukoha täpsuse jaoks määratakse andmete eeltöötlemisel neile kõigile ühine koordinaatsüsteem. Punktipilvest eemaldatakse üleliigne info, mille hulgas võivad olla näiteks liikuvad objektid, peegeldused või muu sarnane. [24]

Soodsam alternatiiv laserskaneerimisele on fotogramm-meetria abil punktipilve genereerimine. Sobilikke fotosid on võimalik teha erinevate seadmetega, millel enamikul, võrreldes laserskanneriga, on odav hind ja vähene tehniliste oskuste vajadus. [26]

Fotogramm-meetrial põhineva punktipilve alusel mudeldamise võib jagada järgnevateks etappideks [26]:

1. fotode tegemine;
2. 3D punktipilve koostamine;
3. punktipilve joondamine mudeliga;
4. punktipilve puhastamine;
5. punktipilves objektide eristamine;
6. tegeliku ja planeeritud ehitise võrdlemine.

Nagu laserskanneriga tekitatud punktipilvega, on fotode põhjal punktipilve genereerimisel omad eelised ja probleemid. Fotogramm-meetria abil punktipilve koostamine on soodsam ja tehniliselt kättesaadavam. Olenemata suurest hulgast erinevatest seadmetest, mille abil saab teha sobilikke fotosid, on neil sarnased probleemid. Neil on raskusi toime tulla muutuva valgusega, varjudega ning liikuvate või statsionaarsete objektidega, mis takistavad ehitise otsest jäädvustamist. [26]

Fotodest punktipilve koostamiseks on vajalik esmalt neist üles leida ühised punktid. Selleks on välja töötatud erinevad algoritmid protsessi automatiseerimiseks. Olenemata seadmest, mille abil punktipilv on koostatud, on selles peale koostamist palju ebaolulist ja üleliigset müra. Seega punktipilvedest, mis on fotode põhjal koostatud, peab samuti andmete lihtsustamise ja üleüldise arusaama parendamiseks puhastama. Võrreldes fotode abil genereeritud punktipilvedega, koosnevad laserskannerit kasutades need eristamatutest punktidest, millel on määratud ainult kindel

asukoht. Fotogramm-meetrias kasutatud fotod on värvilised ning see kajastub ka punkt pilves. Värvilise abil on võimalik punkt pilves eristada väiksema vaevaga ehitise osasid. [26]

1.5.2 Rakendused teostusmodelite koostamiseks

Käesolevas peatükis käsitletakse erinevaid rakendusi, mida on võimalik kasutada erinevate hoone osade teostusmodelite koostamiseks. Käsitletakse ka rakendusi, mis võimaldavad teostusmodelit vaadelda ning veenduda selle vastavuses reaalsusega.

Autodesk Revit on rakendus, mida saab kasutada kõigiks BIM-iga seotud toiminguteks. See sisaldab muuhulgas mudeldamise tööriistad arhitektidele, konstruktoritele, kui ka tehnosüsteemide projekteerijatele. Lisaks mudeldamisele võimaldab see koostada mahutabeleid, analüüsida ja simuleerida tehnosüsteeme või vaadelda mudelit. Lisaks eelnevale on võimalik koostada ka mudeli põhjal kahemõõtmelisi (2D) jooniseid. Revit võimaldab mitmel osapoolel samaaegselt ühe mudeliga tegeleda, mis aitab vähendada mudelis tekkivaid ristumisi või hilisemat ümbertegemist. [27]

Graphisoft ArchiCAD on juhtiv BIM rakendus arhitektide ja sisekujundajate seas. ArchiCAD on arendatud põhiliselt arhitektidele, mille tulemusel katavad programmis kasutatavad tööriistad kogu arhitektuurse projekteerimise elukaare. See võimaldab teha ehitise realistlikke kujutusi ja animatsioone presentatsioonide tarvis. Lisaks jooniste koostamisele, saab teha erinevaid analüüse, mille abil on võimalik kontrollida elementide vahelisi ristumisi, potentsiaalseid nõrkusi või vigu ehitise juures ja ka mudeli energiatõhusust. [28]

Tekla Structures ja Tekla Structural Designer on rakendused, mis on suunatud konstruktoritele. Tekla Structures sisaldab kõiki ehitusmaterjale, mille abil on võimalik ehitist täpselt mudeldada ning Tekla Structural Designeri abil selle kohta vajalikud arvutused ja analüüsid teostada. Tekla Structures võimaldab mudeli põhjal koostada jooniseid ja mahutabeleid. [29]

MagiCAD for Revit on tehnosüsteemide projekteerijatele suunatud rakendus. MagiCAD for Revit on integreeritud Autodesk Revit tarkvarasse, lisades sellele erinevaid funktsioone ja tööriistu tehnosüsteemide projekteerimise lihtsustamiseks. MagiCAD elemendid põhinevad turul olevatel toodetel, mis sisaldavad peale korrektsete mõõtude ka tehnilist informatsiooni. Selle põhjal on võimalik vajadusel teha tarkvarasiseselt tehnosüsteemide projekteerimise ajal asjakohaseid kalkulatsioone. [30]

CADMATIC Electrical on tarkvara, mille abil on võimalik koostada elektriprojekte. See tarkvara võimaldab elektrisüsteemide projekteerimisel kasutada IFC formaadis mudeleid, et vältida võimalikke ristumisi teiste osapoolte elementidega. CADMATIC Electrical sisaldab elektritoodete kogumit, mida saab kasutada projekteerimisel. Need elemendid sisaldavad endas andmeid, mis tootja on oma toodetele määranud. [31]

Autodesk Civil 3D on infrastruktuuri projekteerimisele suunatud tarkvara. Civil 3D võimaldab teha taristuga seonduvaid analüüse, kalkulasioone ja simulatsioone. Läbi eelnimetatud funktsioonide saab jooksvalt veenduda ehitise toimivuses ja vajadusel muuta projekteeritud lahendust. Civil 3D sisaldab tööriistu, mille kaudu on lihtsustatud torustike, pindade ning teede mudeldamine. [32]

Autodesk ReCap tarkvara kasutatakse punktipilvede töötlemiseks, muutmiseks või vaatlemiseks. Lisaks punktipilve vaatlemisele on ReCap abil töödeldud punktipilvi on võimalik kasutada teistes Autodeski tarkvarades. Näiteks importides ReCap tarkvaraga puhastatud punktipilve Autodesk Civil 3D tarkvarasse, saab selle abil mudeldada pinnast. [33]

Solibri tarkvara võimaldab IFC formaadis failide avamist. Seda kasutades on võimalik, mitme osamudeli sisselaadimisel koostada koondmudeleid. Solibri abil saab teostada visuaalset kontrolli mudelitele, kuid saab ka teha automaatseid kontrole ristumistele. Rakendus teostab automaatseid kontrole eelnevalt seadistatud reeglite põhjal, mida on võimalik seadistada ise või laadida programmi. Tekkinud vastuoludest saab koostada märkused, mis sisaldavad asukohta ning sellele lisatud andmeid. Tehtud märkused on võimalik ka tabelina eksportida. Solibri võimaldab lisaks eelnevale koostada ka mudelites sisalduvatest andmetest mahutabeleid. [34]

Dalux Field võimaldab mobiili või tahvelarvuti vahendusel mudelite kontrollimist objektil. Dalux Field sisaldab lisaks mudelivaaturile ka märkuste koostamise funktsiooni. Märkused saab suunata vastavatele osapooltele ning kontrollida, millised märkused on lahendatud ja millised mitte. Neile saab lisada fotosid, kommentaare ning ka asukoha mudelis või plaanil. Märkuste kasutamine lihtsustab objektil puuduste või muutuste kaardistamise. [35]

2 TEGELIKKUSE ANALÜÜS TEOORIALE TUGINEDES

Eelnevas peatükis käsitletud teooriale tuginedes analüüsi TTK poolt tellitud teostusmodelite koostamist. Esimene tellimus, mida analüüsi on TTK laborimaja kolmanda korruse rekonstrueerimisjärgne teostusmodel. Teine analüüsitud tellimus on TTK peahoone esimese korruse rekonstrueerimisjärgne teostusmodel. Laborimaja teostusmodel koostati 2020. aastal ning peamaja esimese korruse teostusmodel 2021. aastal. Mõlemad teostusmodelid koostati rekonstrueerimise käigus ettevõtte PNL OÜ poolt. Foto 2 on kirjeldatud TTK hoonestik.

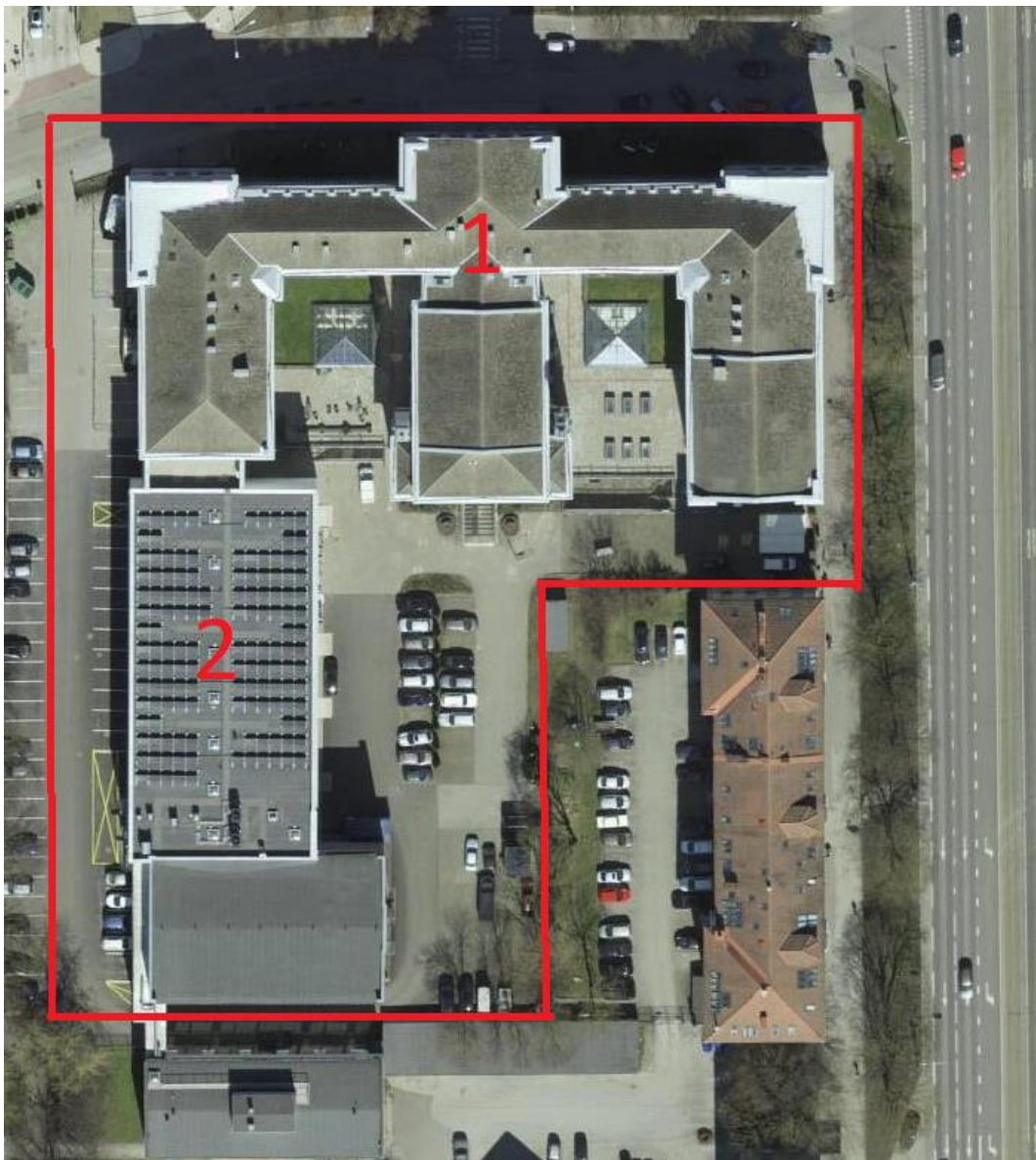


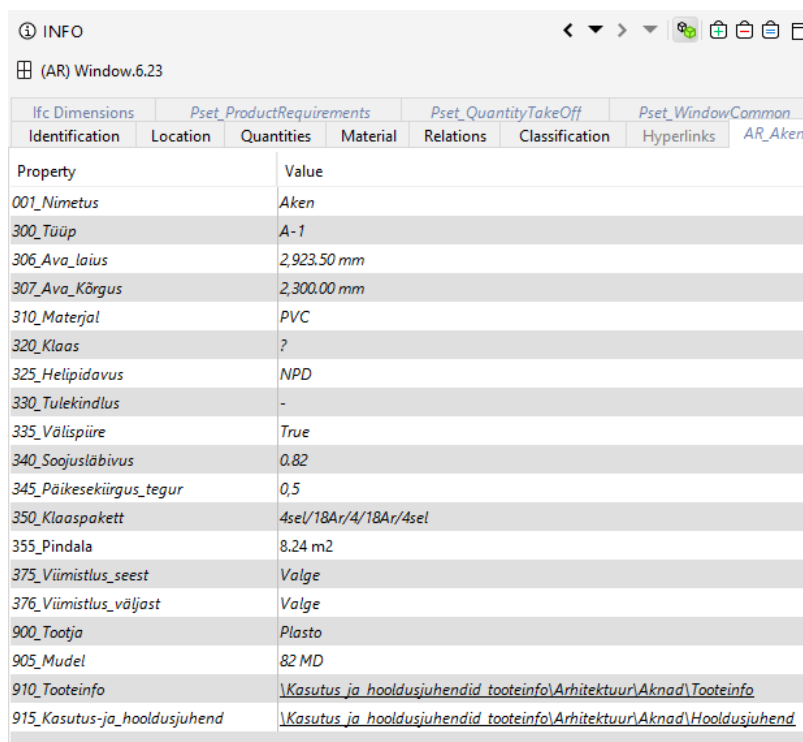
Foto 2. Tallinna Tehnikakõrgkooli hoonestik; punaste joonte sees on kujutatud TTK hoonestik, millest number ühega on tähistatud peamaja ning number kahega laborimaja [36]

2.1 TTK laborimaja teostusmudel

Laborimaja kolmanda korruse rekonstrueerimist alustati 2019. aasta esimeses pooles, plaaniga lõpetada 2020. aasta augustiks. Rekonstrueerimise eesmärk oli TTK varustada multifunktsionaalsete tööruumide ja puuduva 110 kuni 120-kohalise konverentsisaaliga. Uuendatud laborimaja kõik korrused pidid olema ligipääsetavad peahoonest, sealhulgas ka erivajadustega inimestele. Uuendati ka info- ja kommunikatsioonitehnoloogiat, mille raames asendati projektorid puutetundlike ekraanidega ja lisati keskne, pilveteenusel põhinev õppekeskusi teenindav autoriseerimiskeskond. [37]

2.1.1 Nõuded

Põhilised piirid mis seati laborimaja teostusmudeli koostamisele olid kajastatud RKAS-i „Tehnilised nõuded mitteeluhoonetele“ nõuetes. Selles määrati elementide värvid, lubatud elementide vahelised tolerantsid jmt. Lisaks mudelite originaalformaadile nõuti mudeleid IFC formaadis. Selle abil on võimalik mudelivaatlustarkvarade abil vaadelda tervikut ehitisest, tekitada märkuseid ja koostada mahutabeleid. Andmesisunõudeid kohandati osapoolte vahelisel kokkuleppel, lisades täpsustavaid andmesisuväljasid. Näide nõutud andmesisust on toodud välja Foto 3.



INFO							
(AR) Window.6.23							
Ifc Dimensions		Pset_ProductRequirements		Pset_QuantityTakeOff		Pset_WindowCommon	
Identification	Location	Quantities	Material	Relations	Classification	Hyperlinks	AR_Aken
Property	Value						
001_Nimetus	Aken						
300_Tüüp	A-1						
306_Ava_laius	2,923.50 mm						
307_Ava_Kõrgus	2,300.00 mm						
310_Materjal	PVC						
320_Klaas	?						
325_Helipidavus	NPD						
330_Tulekindlus	-						
335_Välispiire	True						
340_Soojuslabivus	0.82						
345_Päikesekiirgus_tegur	0,5						
350_Klaaspakett	4sel/18Ar/4/18Ar/4sel						
355_Pindala	8.24 m2						
375_Viimistlus_seest	Valge						
376_Viimistlus_väljast	Valge						
900_Tootja	Plasto						
905_Mudel	82 MD						
910_Tootinfo	\Kasutus ja hooldusjuhendid tooteinfo\Arhitektuur\Aknad\Tooteinfo						
915_Kasutus-ja_hooldusjuhend	\Kasutus ja hooldusjuhendid tooteinfo\Arhitektuur\Aknad\Hooldusjuhend						

Foto 3. Näide täidetud andmesisuväljadest aknaelemendi puhul

2.1.2 Teostusmudeli koostamine

Laborimaja infomudel koostati enne ehitamist ja täiendati ehituse käigus. Teostusmudel, aga koostati ehituse käigus, kasutades Autodesk Revit 2020 tarkvara. Mudel koostati käisitsi, kasutamata eelmainitud automaatseid või poolautomaatseid meetodeid. Teostusmudeli koostamisel kasutati laborimaja rekonstrueerimise ajal tehtud punktipilve, tööprojektil põhinevaid mudeleid, erinevad jooniseid projektdokumentatsioonist ja kohapeal tehtud jäädvustusi. Teostusmudel koostati mitte ainult kolmanda korruse mahus, vaid sellele lisandus ka peamajaga ühenduses olev trepikoda ja sellest maja teisel poolel olev trepikoda. Peamaja poolse trepikojaga lisandus omakorda esimesel korrusel olev soojussõlm ja selle kohal oleval poolkorrusel asuv ruum. Mudeli koostamise käigus tehtud ehitusaegsed muudatused selgusid regulaarsete koosolekute käigus. Foto 4 on kujutatud laborimajast koostatud punktipilv.

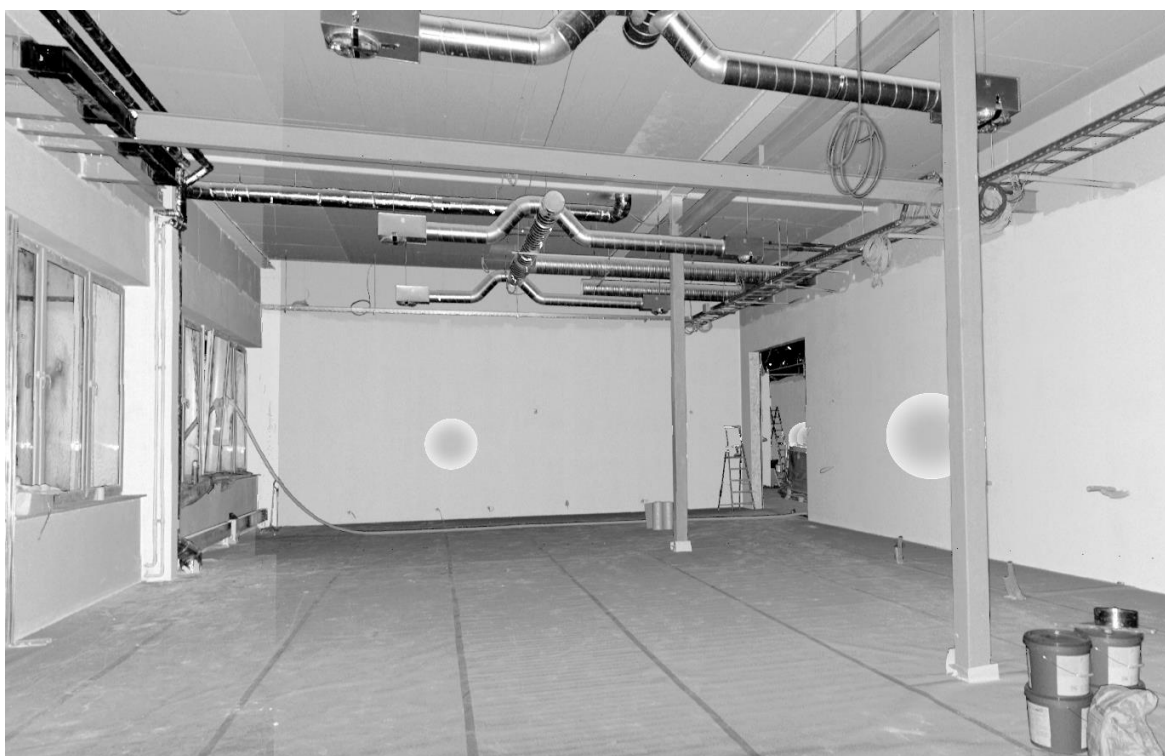


Foto 4. Väljavõte laborimaja punktipilvest

Teostusmudel jagati protsessi käigus järgnevateks osamudeliteks:

- arhitektuurimudel (AR);
- konstruktsioonimudel (EK);
- sisearhitektuurimudel (SA);
- ventilatsioonimudel (KV);

- küttemudel (KK);
- jahutusmudel (KVJ);
- veevarustuse ja kanalisatsioonimudel (VK).
- elektrimudel (EL).

Teostusmudel jagati nimetatud osamudeliteks, mis valmides eksporditi Reviti vahendusel IFC failiformaati. Selleks, et andmesisu kajastuks IFC formaadis, tekitati tekstifail, mis loeb Revitist andmeid ja IFC mudelit luues grupeerib tekstifailis nimetatud andmeväljad ettemääratud lahtritesse. Seda meetodit kasutades kajastati mudelis nõutud andmed. Foto 5 on nähtav väljavõte eelmainitud tekstifailist.

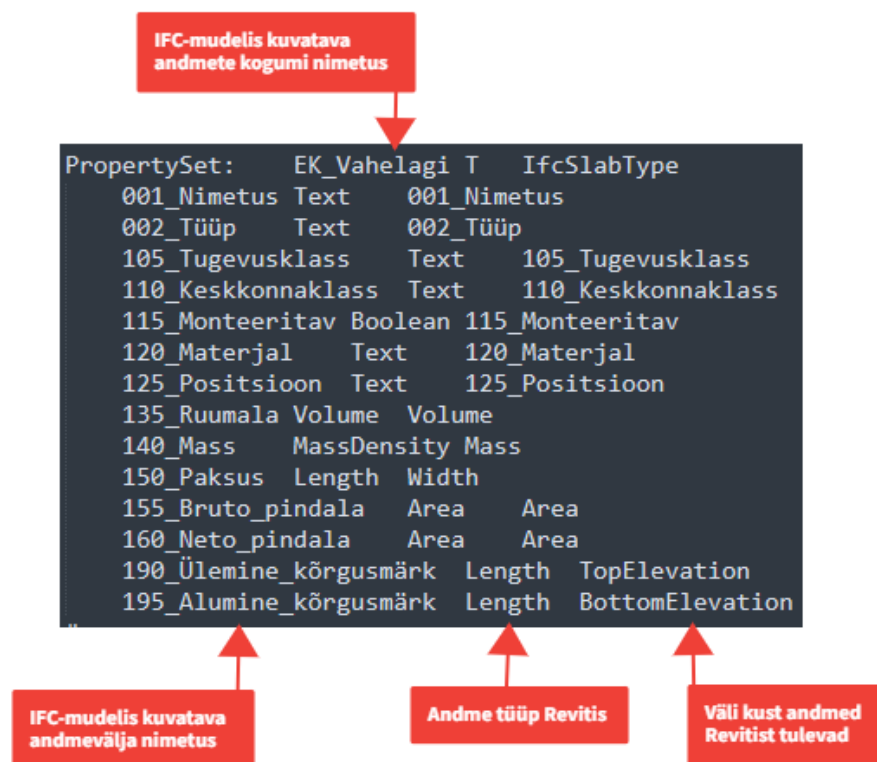


Foto 5. Andmete kaardistamine

Teostusmudelit koostades kontrolliti perioodiliselt nii geomeetria kui ka andmeväljade korrektsust. Geomeetria puhul osamudelite tehnilise õigsuse ning andmeväljade olemasolu ja nende sisu kontrollimiseks kasutati Solibri mudelivaaturit. Selle abil sai visuaalselt veenduda osamudelite omavahelise asetuse õigsuses ning nõutud elementide olemasolus. Solibri abil on võimalik ka koostada elementides sisalduvatest andmetest mahutabeleid, mis on ka välja toodud RKAS-i nõuetes. Seda funktsiooni kasutades kontrolliti andmesisu olemasolu ja korrektsust.

Selleks, et kontrollida teostusmodeli vastavust reaalsusega, kasutati laborihoone projekti raames projektihaldustarkvara Dalux. Dalux võimaldas objektil ringkäiku tehes vaadelda, telefoni või tahvelarvuti vahendusel, eelnevalt koostatud mudelit ning erisuse või küsimuse puhul tekitada märkuse (Foto 6). Märkuste koostamine Daluxi abil on struktureeritud, seega saab märkuse juurde lisada foto, kirjelduse ja need suunata vastavatele osapooltele. Märkuse all kajastub nii 3D vaates kui ka korruseplaanil asukoht, kus märkus tehti.

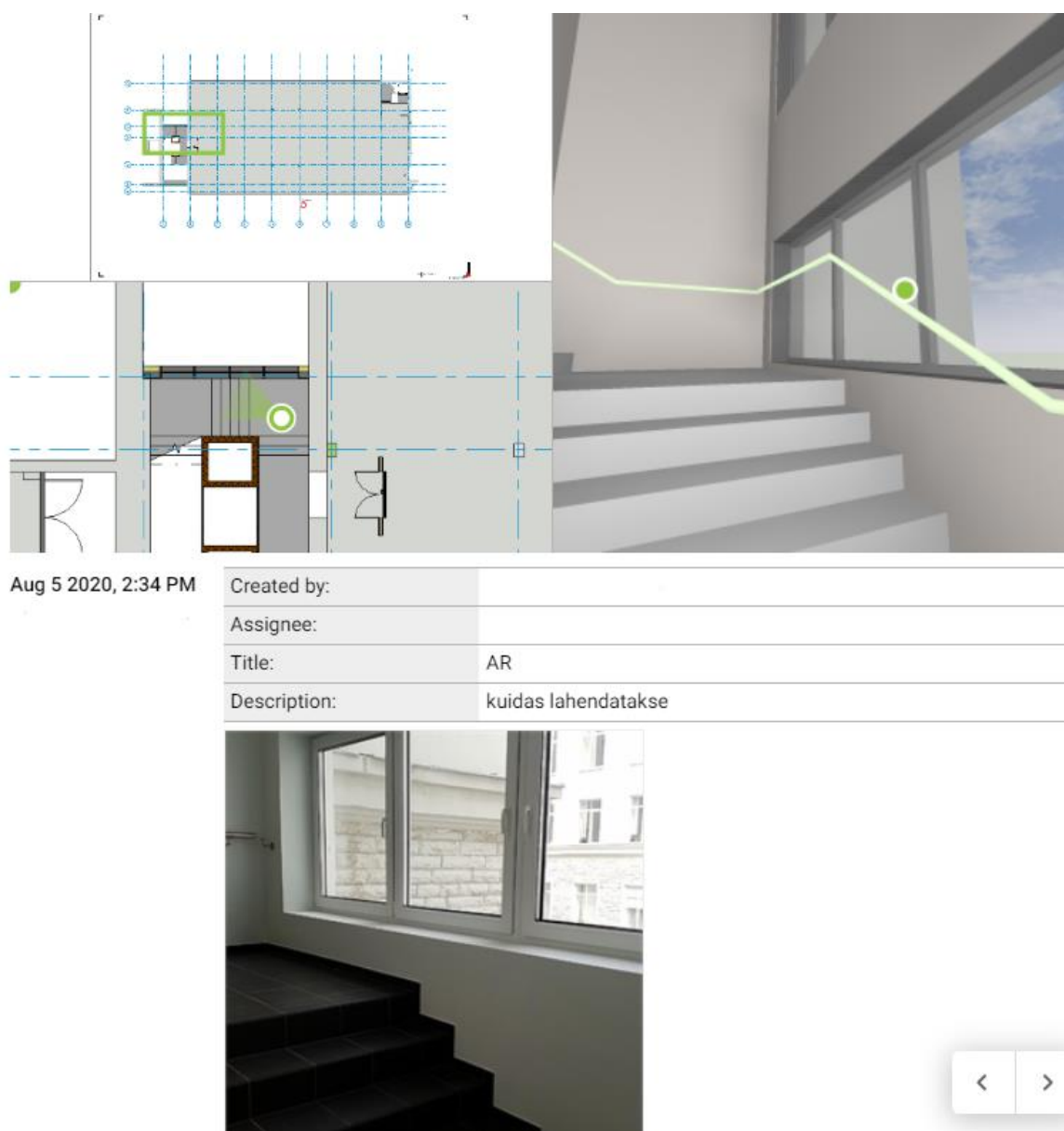


Foto 6. Näide Daluxi vahendusel koostatud märkusest

Peale mudeldamise lisati kõikidele elementidele ka vastav andmesisu. Andmesisu täideti võimalikult palju mudeldamise käigus, lähtudes tootelehtedest või joonistest, kuid kõike ei olnud

võimalik olemasolevate vahenditega täita. Puuduva tooteinfo saamiseks kaasati protsessi objektijuht. Andmete vahendamist korraldati MS Excel rakenduse vahendusel.

Puuduva andmesisu lisamine toimus järgnevalt:

1. osamudelitest eksporditi tabelitena iga elemendi tüübiga kaasnevad andmed;
2. tabelid koondati üheks koondtabeliks, milles oli selgelt tuvastatav kas tüübitähise või nimetuse järgi, millise elemendiga on tegu;
3. täitmist või kinnitamist vajavad andmeväljad eristati vastavate värvidega, mis on nähtavad Foto 7;
4. tabel edastati objektijuhtile, kes sisestas tabelisse vastavad tootelehed ja hooldusjuhendid;

176	SA_Mööbel	Märkused	Kommentaariid						
177	Mööbel			001_Nimetus	002_Tüüp	900_Tootja	905_Mudel	910_Tooteinfo	915_Kasutus-ja_hooldusjuhend
178				WC inva tööpind	S-62	Duravit	Vero Console VEC	-	-
179				WC valamukapp	S-61	Duravit	L-Cube Vanity Un	Kasutus_ja_hooldusjuhendi	Kasutus_ja_hooldusjuhendid_tooteinfo
180				WC hari	S-55	?	?	-	-
181				WC invatugi	S-57	?	?	-	-
182				WC kätepaberihoidja	S-52	?	?	-	-
183				WC mähkimislaud	S-58	?	?	-	-
184				WC paberihoidja	S-53	?	?	-	-
185				WC prügikast	S-51	?	?	-	-
186				WC seebidosaat	S-54	?	?	-	-

Foto 7. Väljavõte kasutatud tabelist

Mudeldamist alustati arhitektuuri osamudelitest, mille koostamisel lähtuti tööprojekti joonistest. See sisaldas lisaks arhitektuursetele elementidele ka ruumielemente, millele lisati kõik ruumiga seonduvad andmed. Arhitektuuri puhul olulisi erinevusi ehitamise ja projekti vahel ei tekkinud. Kuna see mudel pidi sisaldama vastavalt nõuetele endas ka konstruktiivseid elemente, tuli konstruktsiooni osamudeli koostamisel kontrollida seda, et arhitektuuri osamudeliga saaks ka need kaetud. Foto 8 on näha valminud laborimaja arhitektuuri osamudelit.

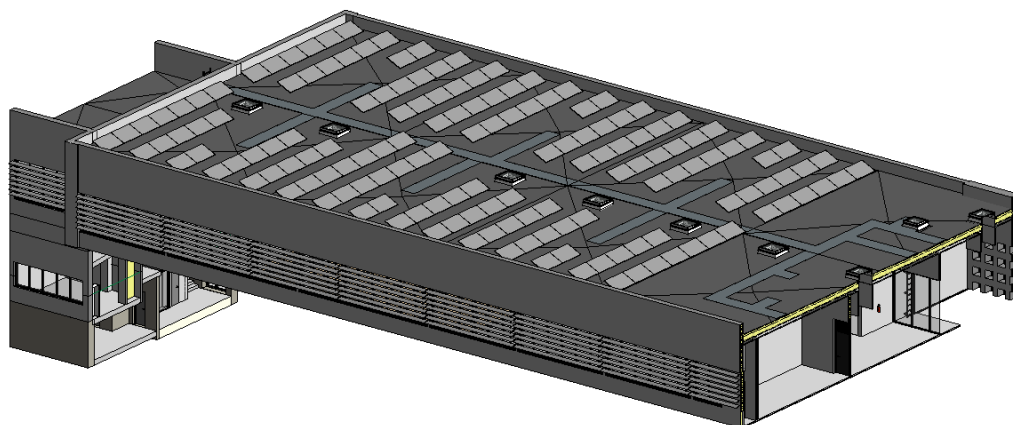


Foto 8. Arhitektuuri osamudel

Peale arhitektuuri osamudeli valmimist koostati teised osamudelid ilma kindla järjekorrata. Töömahust tulenevalt koostati tihti kahte osamudelit samaaegselt ja mitme mudeldaja poolt. Konstruktsiooni osamudelit koostades lähtuti samuti tööprojekti joonistest. Mudel koosnes hoone konstruktiivsetest elementidest. Foto 9 on kujutatud valminud laborimaja konstruktsiooni osamudelit.

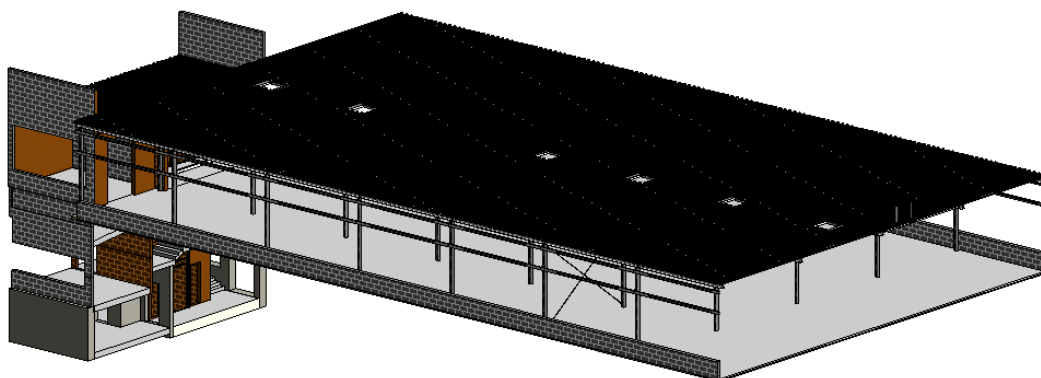


Foto 9. Konstruktsiooni osamudel

Tulenevalt sellest, et teostusmudelit koostati ehituse ajal ja punktipilv oli enne sisearhitektuursete elementide paigaldamist tehtud, lähtuti sisearhitektuuri osamudeli koostamisel põhiliselt tööprojekti joonistest ja objektil tehtud jäädvustustest. See mudel koosnes sisearhitektuursetest elementidest.

Sisearhitektuuri osamudeli puhul oli oluline teha koostööd objektijuhiga, et saavutada geomeetriliselt täpne ja andmetelt korrektne teostusmodel. Foto 10 on kujutatud sisearhitektuuri osamudel.

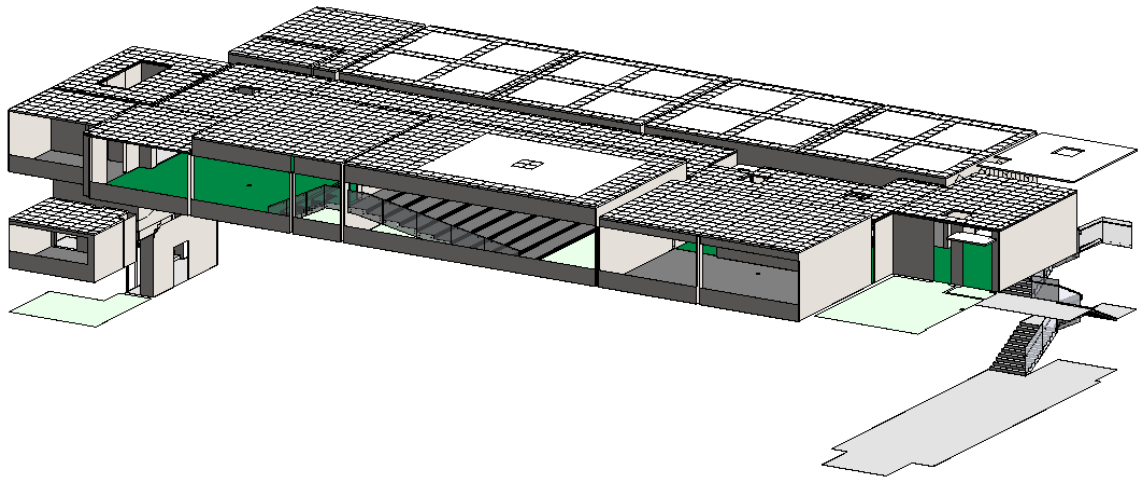


Foto 10. Sisearhitektuuri osamudel

Tulenevalt tehnoruumi ehitusaegsetest muudatustest, ei olnud võimalik tehnosüsteeme mudeldades lähtuda olemasolevatest joonistest. Torude keeruka asetuse tõttu jäädvustati mudeldamise lihtsustamiseks tehnoruum fotode ja videotega. Jäädvustust tehnoruumist on kujutatud Foto 11.



Foto 11. Torustik peale tehnoruumi ehitusaegseid muudatusi

Tehnosüsteemide mudeldamist alustati ventilatsiooni osamudeli koostamisest. See koosnes ventilatsioonisüsteemiga seonduvatest elementidest. Mudeldamise alustamise hetkeks oli koostatud laborimaja kolmanda korruse punktipilv. Seega sai selle mudeli puhul lähtuda lisaks tööprojekti joonistele ka punktipilvest. Nendele materjalid põhjal valmis ventilatsiooniosamudel, mida on näha Foto 12.

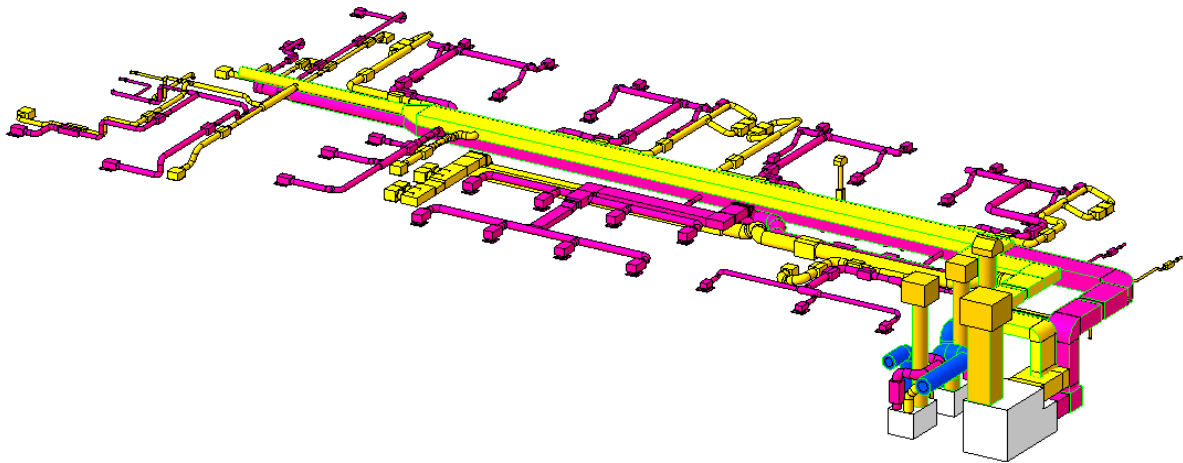


Foto 12. Ventilatsiooni osamudel

Kütte osamudeli koostamisel lähtuti samuti punktipilvest ja tööprojekti joonistest. See koosnes küttesüsteemiga seonduvatest elementidest. Lisaks laborimaja kolmandale korrusele, kus põhiline rekonstrueerimise maht suunati, mudeldati projekti raames ka esimesel korrusel olev soojussõlm. Soojussõlm sisaldus skeemina projektdokumentatsioonis, kuid sellest teostusmudeli koostamiseks ei piisanud. Torude ja seadmete asetuse kaardistamiseks kasutati siin sama meetodit, mis eelnevalt kolmanda korruse tehnoruumi puhul – soojussõlm jäädvustati fotode ja videote abil. Oluline osa selle jäädvustamisest oli torude ja nende isolatsiooni läbimõõtude täpne ülesmärkimine. Kolmandal korrusel tehnoruumis oli samuti soojussõlm, kuid oluliselt lihtsam ja väiksem, seega sai selle eelnevalt tehtud jäädvustuste põhjal edukalt teostusmudelisse kanda. Foto 13 on kujutatud valminud küttemudel, millel on näha ka esimese korruse soojussõlm.

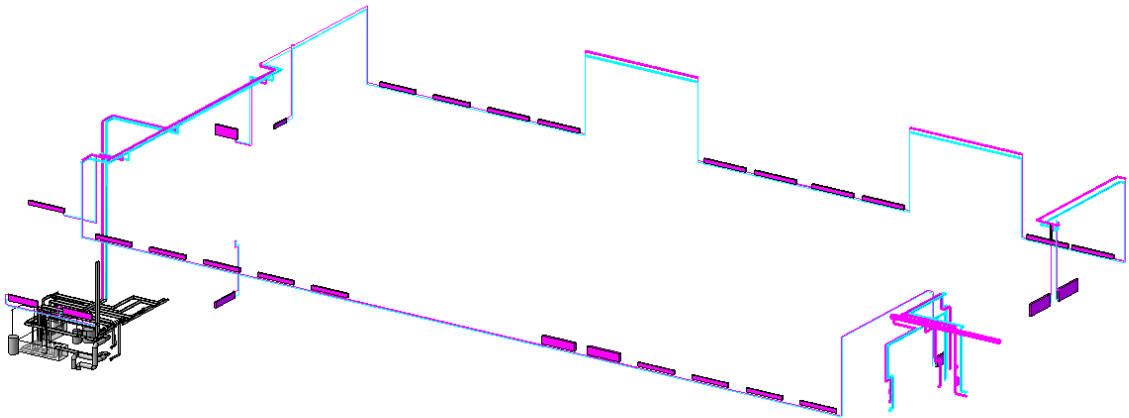


Foto 13. Kütte osamudel

Jahutuse osamudeli puhul lähtuti punktipilvest ja tööprojekti joonistest. Antud mudel koosnes jahutuse süsteemiga seonduvatest elementidest ning selle koostamisel kõige keerulisemaks osutus tehnoruumi mudeldamine. Siinkohal jäädvustati tehnoruum teist korda, keskendudes jahutussõlmele. Punktipilv koostati ajal, millal ei olnud veel paigaldatud torude otsa jahutusseadmeid. Seega pidi need mudeldama vastavalt joonistele ja võrdlema seda objektil tegeliku olukorraga. Laborihoone jahutussüsteemi lihtsusest tulenevalt, ei olnud peale tehnoruumi mahu rohkem takistusi. Foto 14 on kujutatud jahutuse osamudel.

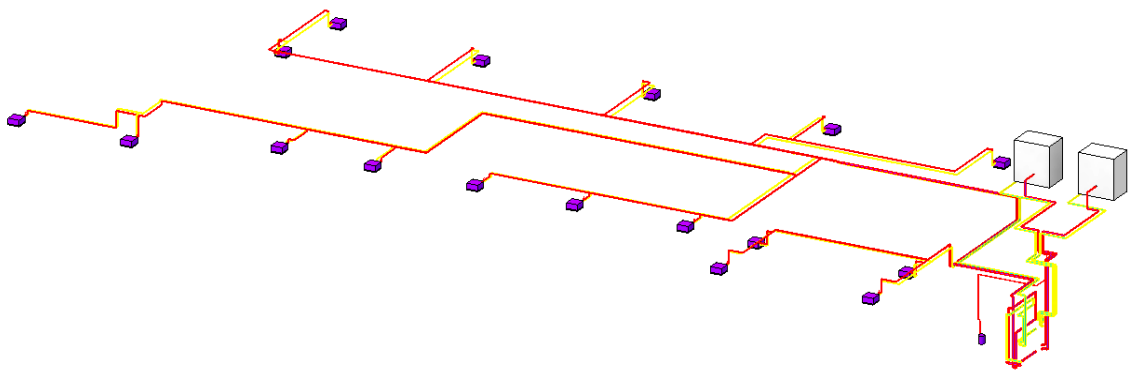


Foto 14. Jahutuse osamudel

Veevarustuse ja kanalisatsiooni osamudeli koostamisel lähtuti punktipilvest ja tööprojekti joonistest. See koosnes veevarustuse, kanalisatsiooni-, ja tulekustutussüsteemi elementidest. Seda

osamudelit koostades mudeldati sademevee torud mitte ainult kolmanda korruse raames vaid terviklikult esimese korruseni. Foto 15 on kujutatud veevarustuse ja kanalisatsiooni osamudel.

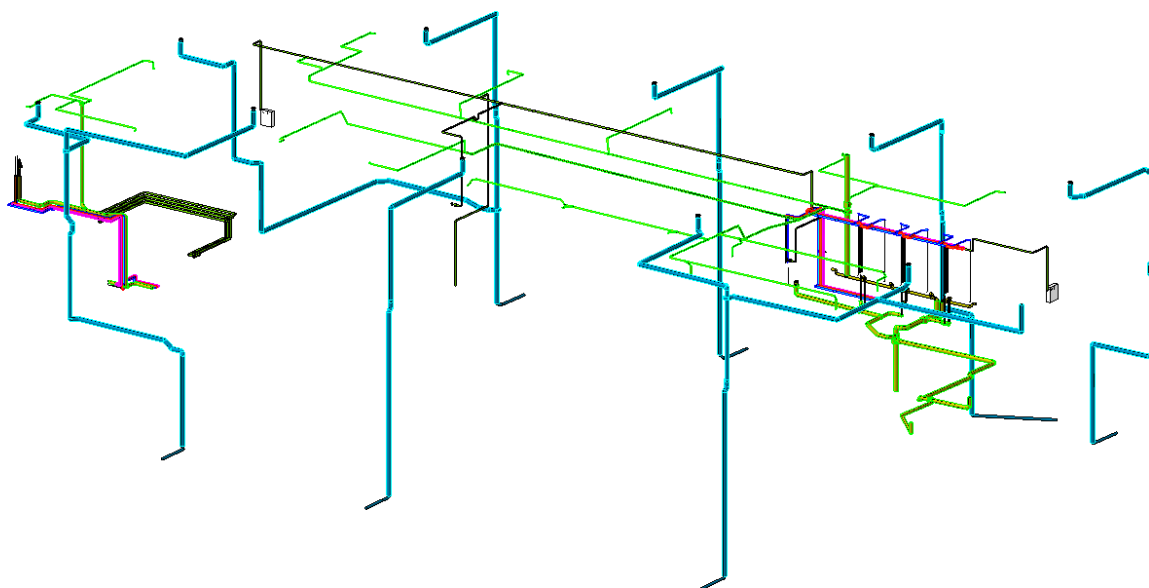


Foto 15. Veevarustuse ja kanalisatsiooni osamudel

Elektri osamudel koostati tuginedes tööprojekti joonistele. Punkt pilv oli koostatud enne elektrielementide paigaldamist. Mudel koosnes kõigest elektriga seonduvast, nii tugevvoolust kui ka nõrkvoolust. Osamudeli koostamisel oli oluline jäädvustada täpsed pistikute ja lülitite asukohad. Jäädvustamise vajadus tulenes sellest, et kuigi tööprojekti joonistel olid olemas elemendid, kujutatav asukoht ja mõningad kõrgusmärgid, ei olnud sellel täpseid mõõte nende ruumis või kaabliarbikus paiknemisele. Tehtud jäädvustuste põhjal veenduti ka teiste elektrielementide õigetes asukohtades. Foto 16 on kujutatud elektri osamudelit.

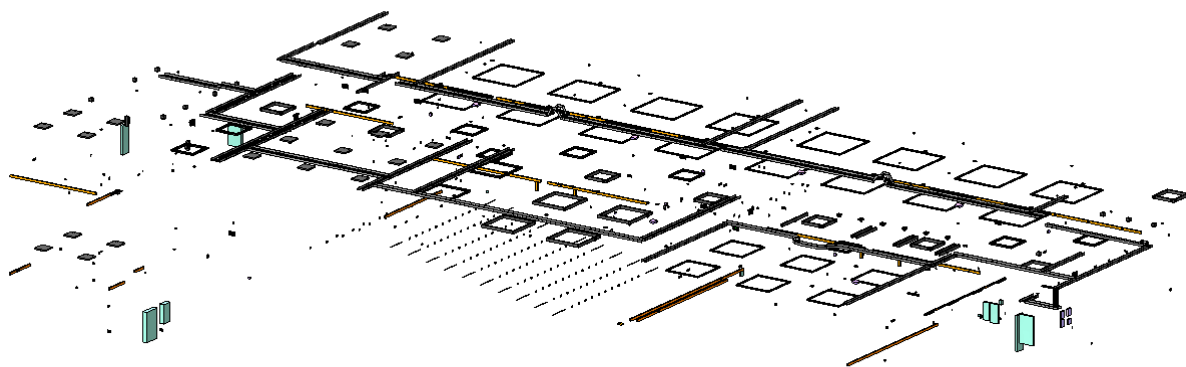


Foto 16. Elektri osamudel

Kõikide osamudelite valmimisel ühendati need Solibri abil üheks koondmudelist. Koondmudel võimaldas vaadelda hoone terviklikku geometriat ja sellega kaasnevat andmesisu, korraga, ühe faili vahendusel. Foto 17 on kujutatud laborimaja koondmudel.

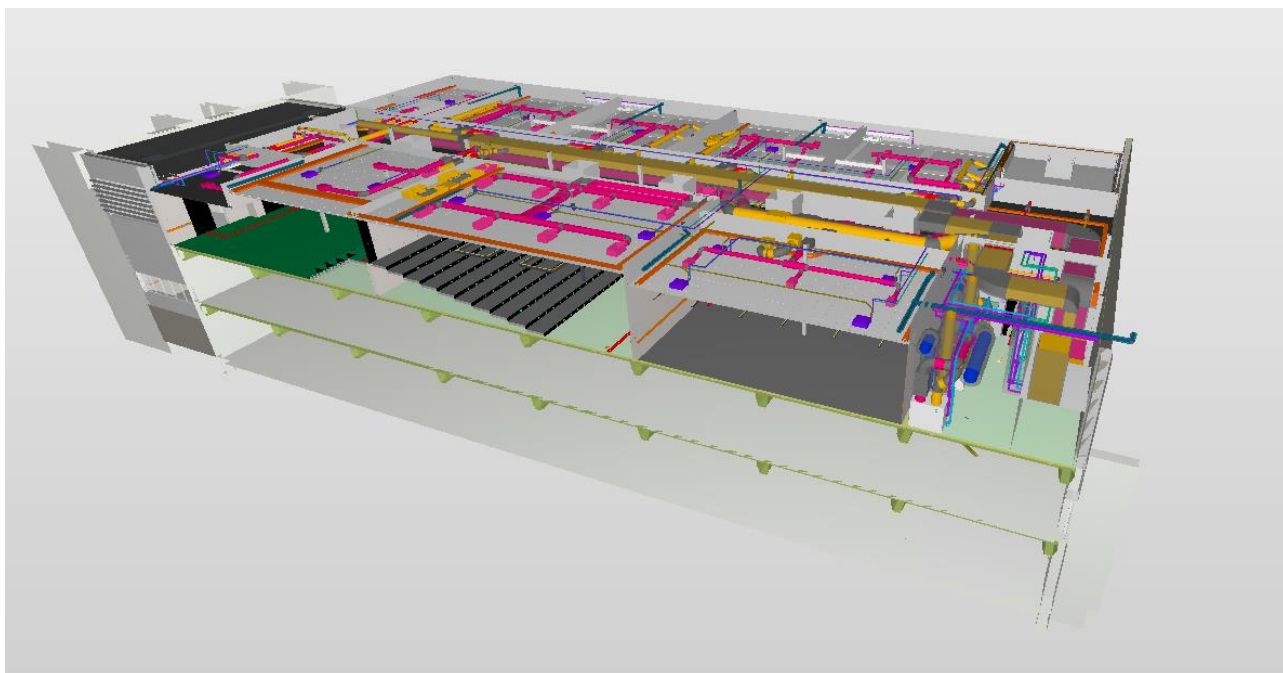


Foto 17. TTK laborimaja koondmudel

2.2 TTK peamaja esimese korruse teostusmudel

Peamaja esimese korruse teostusmudelit hakati koostama 2021. aastal, laborimaja rekonstrueerimise projektile järgneval aastal. Esimese korruse rekonstrueerimise käigus eemaldati lisaks muule ka

kõik vaheseinad ja põrandakatted. Enne ehituse algust olid alles konstruktiivsed elemendid, aknad, kütetorud ja osaliselt ka ventilatsioonitorud.

2.2.1 Nõuded

Peamaja esimese korruse teostusmudeli koostamisel kasutati RKAS-e poolt väljastatud „Tehnilised nõuded mitteeluhoonetele“ nõudeid. Kasutati sama andmesisu, mis laborimaja teostusmudeli puhul.

2.2.2 Teostusmudeli koostamine

Esimese korruse teostusmudeli koostamisega alustati samaaegselt lammutuse lõpuga ja rekonstrueerimise algusega. See tähendas, et kuni valmimiseni oli selge ülevaade ehitusest ja sellega kaasnevatest muudatustest. Sarnaselt laborimajaga, koostati esimese korruse teostusmudel kasutades uuendatud Revit 2021 rakendust. Mudel koostati käsitööna, kasutamata automatiseerivaid vahendeid. Teostusmudeli koostamiseks kasutati tervest peamajast tehtud punktipilve, mis on kujutatud Foto 18, põhiprojekti staadiumi jooniseid ning küttemudeli puhul viimaseid teostusjooniseid

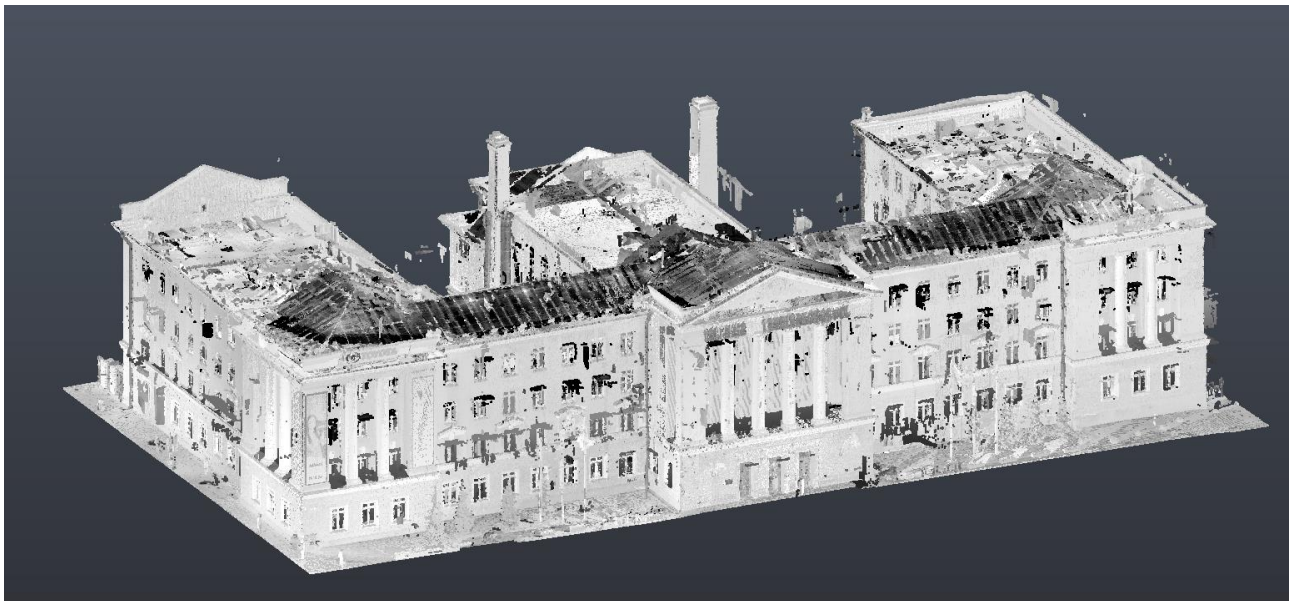


Foto 18. TTK peamajast koostatud punktipilv

Kasutatud punktipilv oli tehtud kogu peamajast ja ei olnud algselt mõeldud esimese korruse rekonstrueerimisel kasutamiseks. See tähendas, et punktipilves ei olnud kajastatud ripplae aluseid kommunikatsioone ning siseruumid sisaldasid mööblit. Punktipilve abil mudeldati põhimahus ainult hoone kandvad elemendid. Hoone osade jaoks, mis otseselt rekonstrueerimise alla ei kuulunud, vaid

mille asukohta korrigeeriti ainult vastavalt vajadusele, olid koostatud põhiprojekti etapis joonised peale viimast ehitamist. Joonised ei olnud ikkagi lõpuni korrektsed ning vajasisid objektil kontrollimist. Kasutatud teostusmodeli maht on kirjeldatud Foto 19.

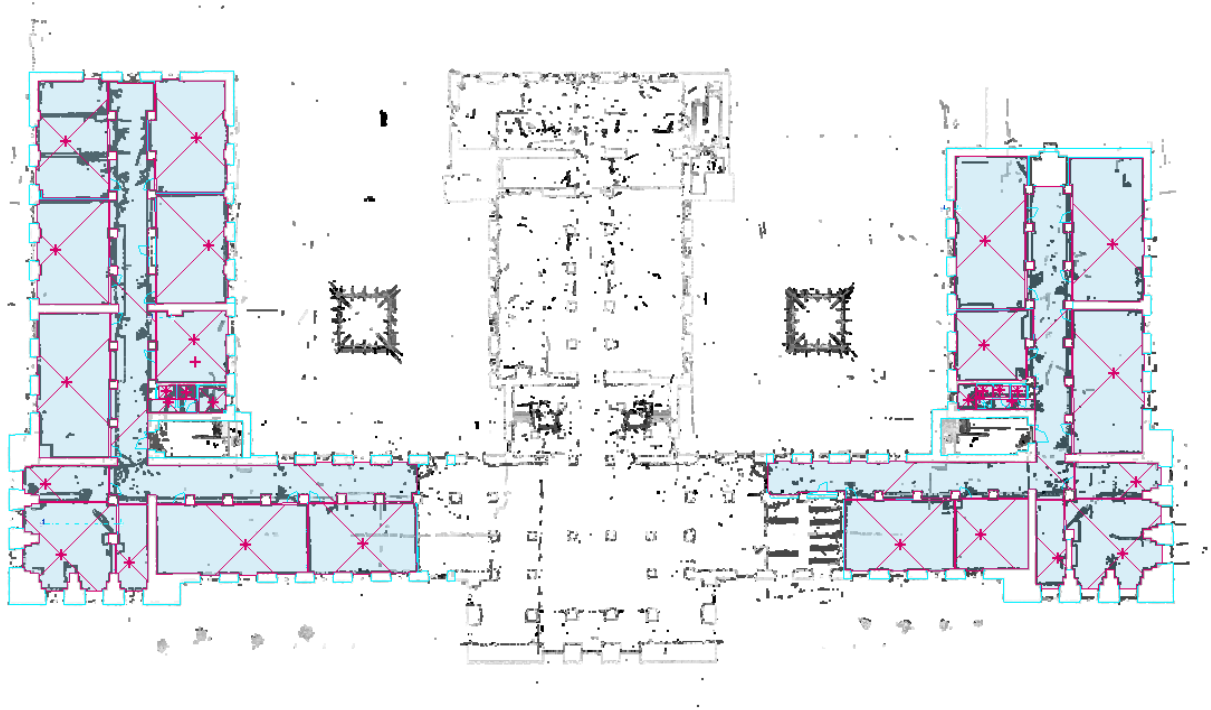


Foto 19. Teostusmodeli maht ja kasutatud punktipilv plaanivaates; sinise värviga on illustreeritud esimese korruse teostusmodeli maht

Kuigi mudeldatav pind oli peamaja esimesel korrusel suurem kui laborimajal, oli esimese korruse teostusmodel mahult väiksem. Teostusmodel jaotati järgnevateks osamudeliteks:

- arhitektuurimudel (AR);
- sisearhitektuurimudel (SA);
- ventilatsioonimudel (KV);
- küttemudel (KK);
- veevarustuse ja kanalisatsioonimudel (VK);
- elektrimudel (EL).

Teades, et mõningad joonised ei ole täpsed, jäädvustati objektile teostusmodeli maht videotega. Nii oli võimalik jooniste täpsuses kaheldes näha, mis reaalsuses ehitatud on. Rekonstrueerimise graafiku teadmine võimaldas käia objekti jäädvustamas olulistel etappidel, näiteks ajal, kus veetorud olid seina sisse monteeritud ning sein ei olnud veel kaetud plaatmaterjaliga.

Peamaja esimese korruse teostusmodeli koostamise protsess sarnanes laborimaja teostusmodeli koostamisele. Valminud teostusmodeli osamudelid eksporditi samamoodi IFC formaati nagu ka laborimaja puhul. Tulenevalt samade nõuete kasutamisest, mida laborimaja puhul rakendati, taaskasutati ka eelnevalt selle tarbeks koostatud tekstifaili.

Tänu esimese korruse teostusmodeli väikesele mahule ja ehitise osade asetuse hõredusele, ei olnud siin sage osamudelite omavahelise ühildumise kontrollimine vajalik. Seega kontrolliti iga osamudeli valmimisel, kas nende ühildamisel esineb puudusi geomeetrias või andmesisus. Ka selle teostusmodeli võrdlemisel reaalsusega rakendati tahvelarvuti vahendusel Daluxit.

Dalux võimaldas teostusmodeli aegse olukorra illustreerimiseks lisada tarkvara vahendusel hoonest 360° fotod. Fotod jäädvustati igast ruumist ning nende asukohad lisati korruseplaanile interaktiivsete nuppudena, millele vajutades avaneb suunatav vaade tervest ruumist. Nende fotode abil on kujutatud reaalne seisund, mis rekonstrueerimise lõppedes esimesel korrusel oli ja mis on kajastatud teostusmodelis. Foto 20 on kujutatud fotode vaatlemine Daluxi vahendusel.

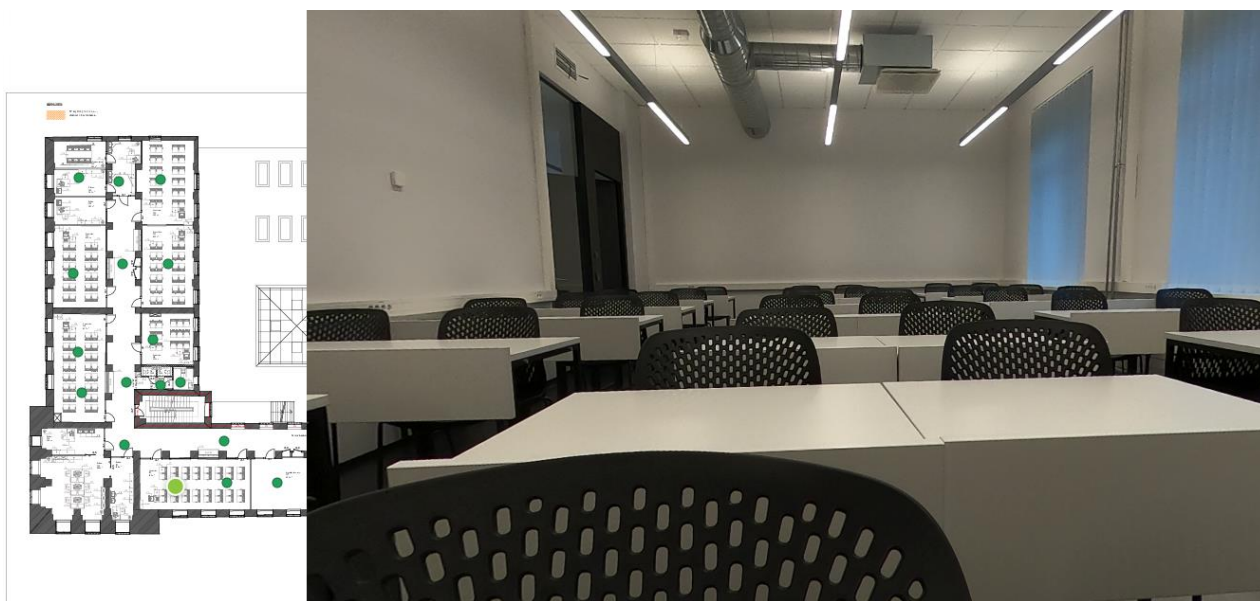


Foto 20. 360° foto vaatlemine Daluxi vahendusel

Teostusmodelit koostades lisati jooksvalt elementidele andmesisu. Enamik toodetest oli kas juba projektdokumentatsioonist leitav või jäädvustustelt lihtsalt tuvastatav. Vähesed andmed, mida ise ei leitud, saadi objektijuhilt.

Mudeldamist alustati arhitektuuri osamudelist. Tulenevalt väiksemast mahust liideti siinkohal kokku arhitektuuri- ja konstruktsioonimudel. See tähendas, et kuigi töö tehti ühes osamudelis,

määrati vastavatele elementidele neile suunatud andmesisu. Mudeldamise lähteandmeteks kasutati punktipilve ja sisearhitektuurseid põhiprojekti jooniseid. Rekonstrueerimise raames eemaldati kõik vaheseinad, seega kasutati punktipilve ainult konstruktiivsete elementide mudeldamiseks. Vaheseinad mudeldati tuginedes sisearhitektuursetele joonisele. Mudel sisaldas ka avatäiteid, mis siinkohal olid klaasvaheseinad ja klaasuksed. Need mudeldati vastavalt tootja poolt väljastatud joonistele. Foto 21 on kujutatud peamaja esimese korruse arhitektuuri osamudel.

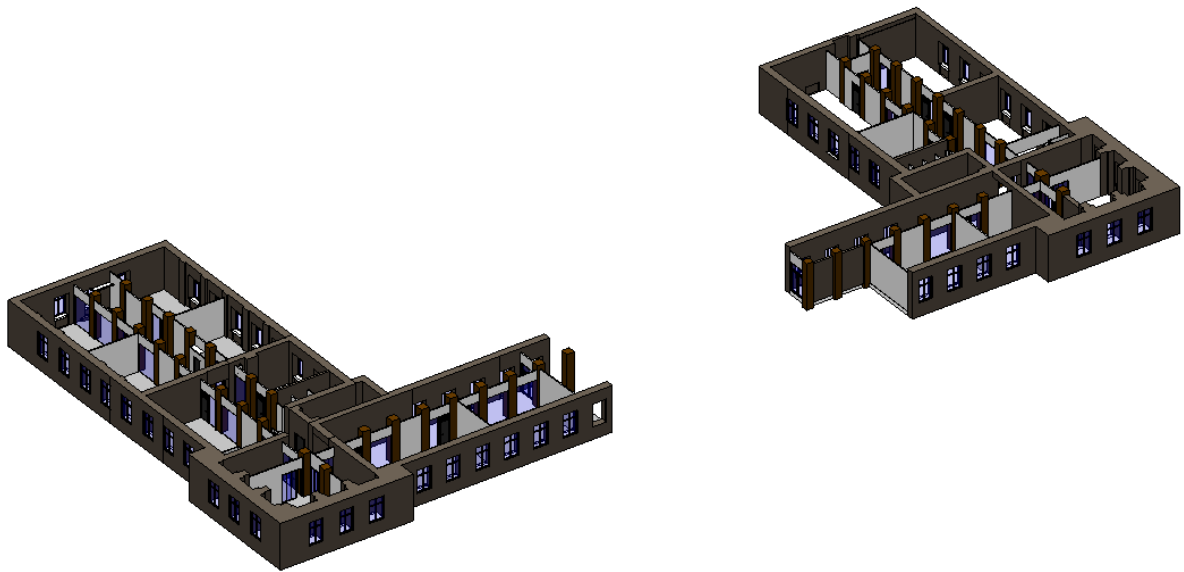


Foto 21. Arhitektuuri osamudel

Sisearhitektuuri osamudeli koostamisel lähtuti samuti sisearhitektuuri joonistest. See mudel koosnes põhiliselt pinnakatetest ja ripplagedest, kuid mudeldati ka sanitaartechnika ja kohtkindel mööbel. Ripplagede kõrguses veenduti objektil laserkaugusmõõtja abil. Foto 22 on kujutatud sisearhitektuurimudel.

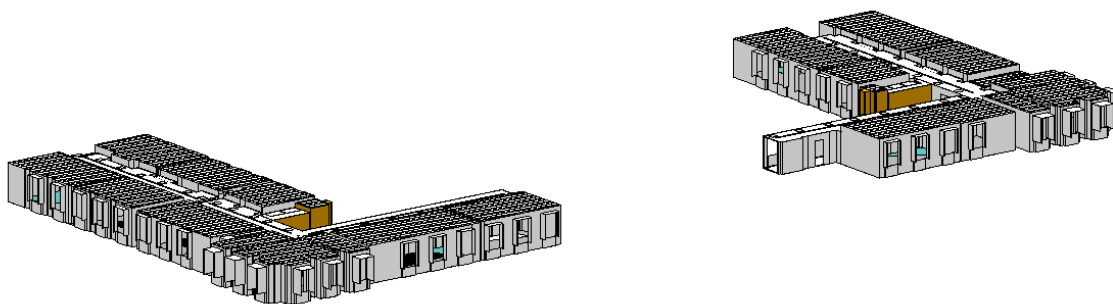


Foto 22. Sisearhitektuuri osamudel

Kuna ventilatsioonisüsteem rekonstrueerimise mahu alla ei kuulunud, tehti sellega objektil ainult vajalikud korrektuurid. Teostatud muudatused ventilatsioonisüsteemis tulenesid uuest vaheseinte asetustest ja korruse ruumiplaneeringust. See osamudel koosnes ventilatsioonisüsteemiga seotud elementidest. Ventilatsioonimudeli koostamisel kasutati eelkõige torude diameetrites veendumiseks eelnevate ventilatsioonitööde põhiprojekti staadiumi jooniseid, kuid tulenevalt nende vanusest veenduti nende õigsuses objektil. Selleks kasutati projekti raames tehtud jäädvustusi esimesest korrusest. Kui puudusid andmed elemendi kõrguse kohta, kasutati objektil selle mõõtmiseks laserkaugusmõõtjat, mille näidud kanti joonisele või jäädvustati fotoga element ja selle kõrgus põrandapinnast. Foto 23 on kujutatud ventilatsiooni osamudel.

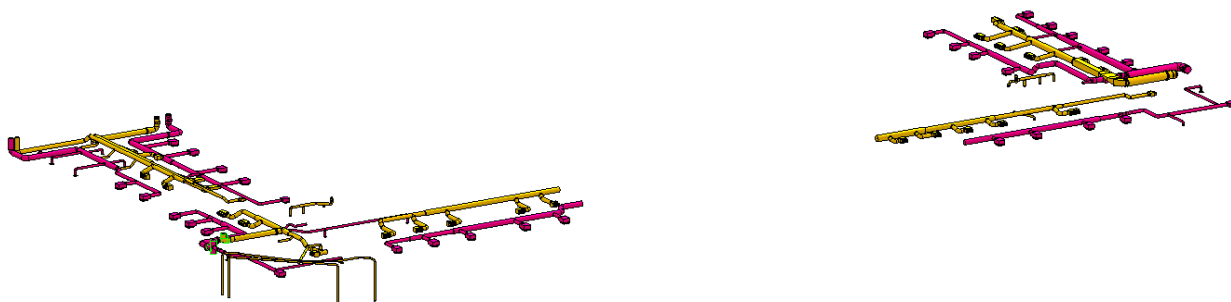


Foto 23. Ventilatsiooni osamudel

Kütte osamudeli puhul lähtuti viimastest, küttesüsteemiga seotud tööde raames koostatud teostusjoonistest. Esimese korruse küttemudel sisaldas endas ainult radiaatoreid ja neid ühendavat torustikku. Rekonstrueerimisel eemaldati ajutiselt seintelt radiaatorid, et need uuesti peale põrandate

tasandusvalu ja põrandakatete paigaldamist seinale kinnitada. Foto 24 on kujutatud esimese korruse küttemudel.

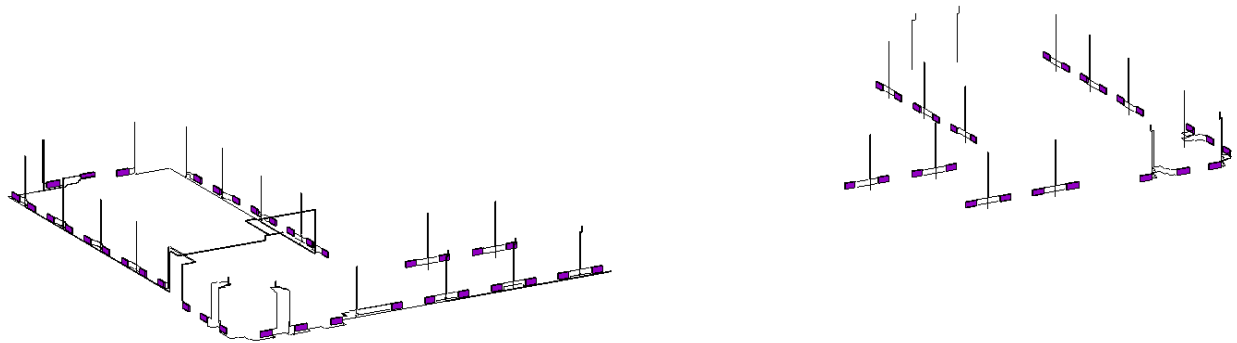


Foto 24. Kütte osamudel

Veevarustuse ja kanalisatsiooni osamudeli puhul lähtuti projektdokumentatsioonis sisalduvatest põhiprojekti joonistest. Mudel koosnes põhiliselt kummagi hoonetiiva tualettide vee- ja kanalisatsioonisüsteemist. Sanitaartechnilised seadmed kujutati siinkohal sisearhitektuurimudel. Foto 25 on kujutatud veevarustuse ja kanalisatsiooni osamudel.

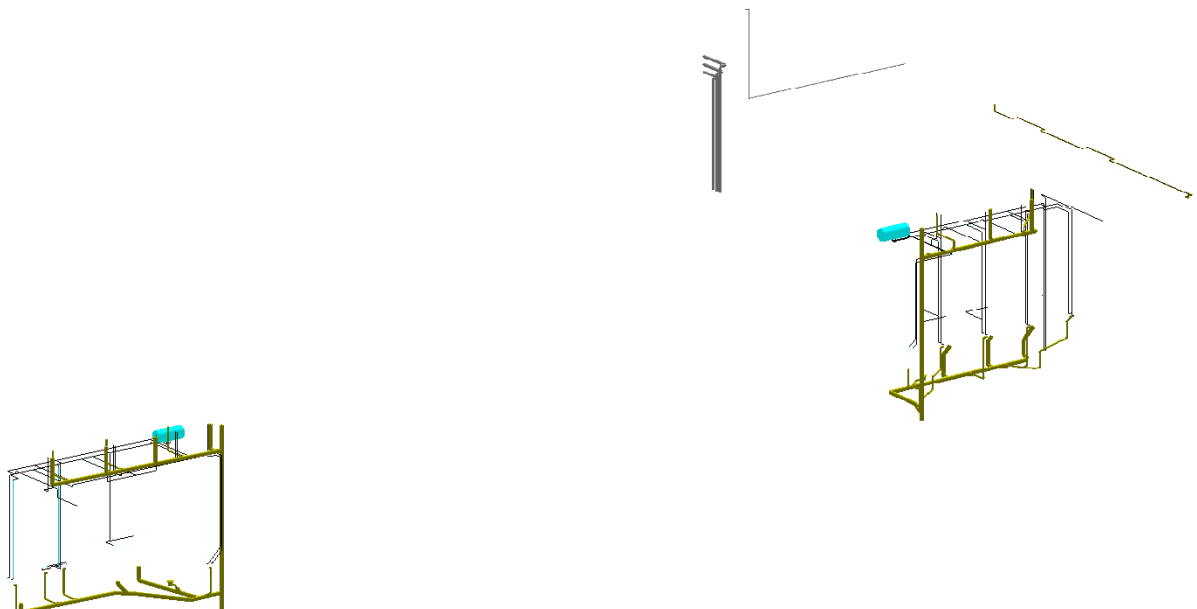


Foto 25. Veevarustuse ja kanalisatsiooni osamudel

Osamudelite valmimisel ühildati need kokku koondmodeliks, mis võimaldas vaadelda terviklikku peamaja esimese korruse teostusmodelit ning sellega kaasnevat andmesisu. Foto 26 on kujutatud peamaja esimese korruse teostusmodel.

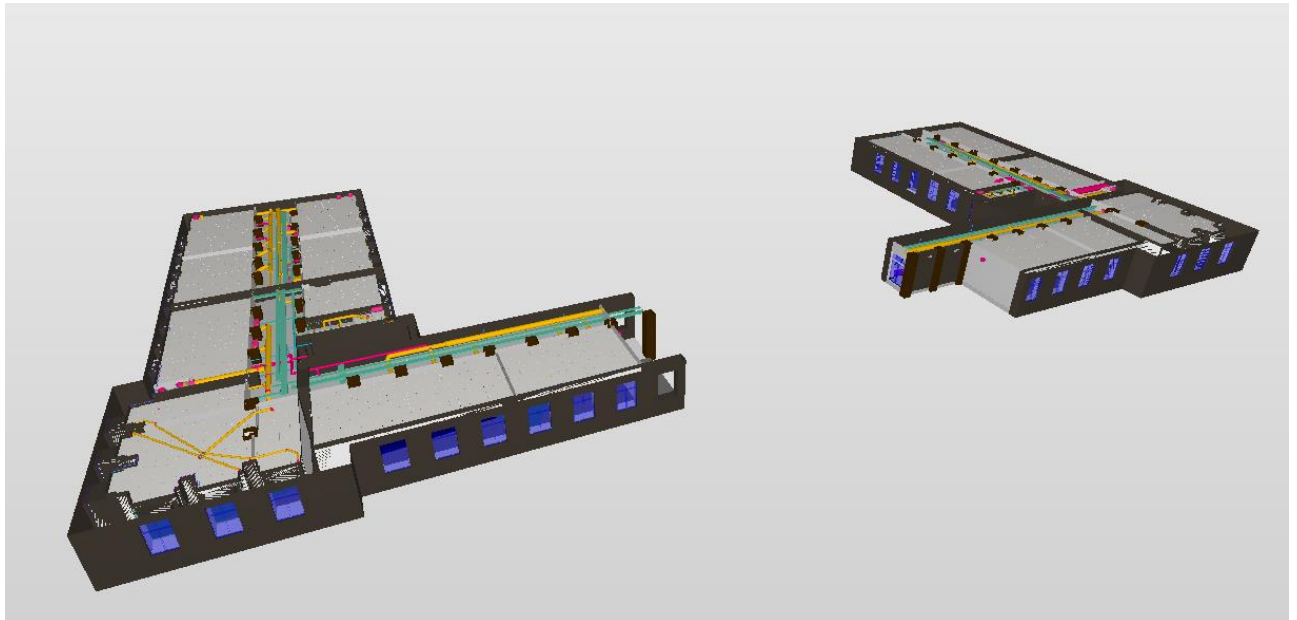


Foto 26. TTK peamaja esimese korruse teostusmodel

2.3 Tulemused ja järeldused

Nii laborimaja kui ka peamaja esimese korruse osamudelid koostati täielikult kasutades Autodesk Revit tarkvara. Laborimaja puhul kasutati Revit 2020 versiooni ja peamaja esimese korruse puhul 2021 versiooni. Revitit kasutatakse selle mitmekesisuse tõttu. Tehtud teostusmodelid on tõestuseks, et sellega saab mudeldada edukalt kõik hoone osad. Siinkohal kasutati Revitit tulenevalt sellest, et mudeleid koostanud ettevõtte kasutab seda oma igapäevatöös. Samuti on osamudelite kontrollimine ja vastuolude vältimine oluliselt lihtsustatud, kui kõik osamudelid on koostatud sama tarkvaraga.

Tulenevalt erinevate tarkvarade koostöövõime piiratusest, suudavad enamik projekteerimisrakendused mudeleid eksportida IFC formaati ning seeläbi neid omavahel võrrelda. Seega kasutavad projekteerijad seda rakendust, mis neile töö iseloomust tulenevalt kõige sobilikum on. Tehtud teostusmodelite puhul oleks saanud kasutada tehnosüsteemide mudeldamiseks MagiCAD for Revit tarkvara, arhitektuuri ja sisearhitektuuri jaoks ArchiCAD tarkvara, konstruktsiooni jaoks Tekla Structures tarkvara ning elektri jaoks CADMATIC Electrical tarkvara.

Kuid lisaks kasutusõiguse ostmisele, nõuab erinevate tarkvarade rakendamine teostusmodelite koostamisel ka nende kasutamise oskust.

Mudelivaaturina, andmestiku kontrollimisel ja koondmodelite koostamisel kasutati Solibri tarkvara. Tulenevalt teostusmodelite väiksemapoolsest mahust ja geomeetria lihtsusest ei kasutatud selle rakenduse automaatkontrolli funktsiooni.

Väiksemad ehitusaegsed muudatused, mida eraldi ei kaardistatud või dokumenteeritud, tuvastati objektil kohapeal. Objektil kohapeal käies kasutati tahvelarvuti vahendusel Daluxi tarkvara, millega lisaks muudatuste tuvastamisele, kontrolliti mudeli vastavust ehitatuga. Erisuste korral tekitati jooksvalt vastavale osapoolele märkus, millele lisati kõik vajalik erisuse leidmiseks ja likvideerimiseks. Kui objektil võrreldi mudelit tegelikkusega, ühildati see objektil kõik mudeldamise tarvis fotode ja videote tegemisega. Nii tõhustati kasutatud aega, mis objektil kohalkäimise peale kulus.

Mudeldamisel kasutati laserskaneerimise tulemusel genereeritud punktipilvesid, projektdokumentatsiooni ning jäädvustusi objektilt. Nagu eelnevas peatükis mainitud, võimaldab laserskaneerimisel tekitatud punktipilv siiani kõige täpsemalt reaalse olukorra mudelisse kandmise ning selle kasutamisel on viidud vigade tekkimise oht minimaalseks. Mõlema teostusmodeli koostamisel kasutati ka objektil tehtud fotosid ja videoid. Sellist sorti jäädvustused loovad väga hea ettekujutuse olukorrast objektil, kuid omavad tunduvalt rohkem puudujääke võrreldes punktipilvega. Fotodelt ja videotelt ei ole võimalik saada usaldusväärseid mõõte kui just ei kasutata mõõdulinti või laserkaugusmõõtjat nendega koostöös. Laborimaja ega peamaja esimese korruse puhul ei olnud jäädvustuste roll anda edasi mõõte, seega ei tekkinud sellest probleeme. Suurem oht fotode ja videote kasutamisel teostusmodeli kontekstis on sellist osade puudumine jäädvustuselt, mida oleks vaja näha. See võib tähendada ka lihtsalt, et jäädvustus on ebasobiliku nurga alt tehtud või on liiga pime. Kui see juhtub, siis võib tekkida vajadus uute fotode või videote järele, mis omakorda tähendab lisakäiku objektile. Fotode ja videote täpsust ja mitmekülgsust ei anna võrrelda punktipilvega, kuid punktipilve loomine mitmes rekonstrueerimise etapis on väga kulukas. Tehtud teostusmodelite mahus oli mudeldamiseks sobiv kasutada jooniste ja algse punktipilve kõrval fotosid ja videoid koostöös laserkaugusmõõtjaga.

Laborimaja rekonstrueerimise projekti raames koostati erineva ettevõtte poolt tööprojekti staadiumile vastavaid osamudeleid. Kuid tulenevalt sellest, et need mudelid ei olnud originaalformaadis kättesaadavad, ei kasutatud neid ka teostusmodeli koostamisel aluseks. Neid

osamudeleid kasutati laborimaja teostusmodeli koostamisel ainult nägemuse tekitamiseks. Täiesti uute mudelite tekitamine aitas vältida ka vigasid, mis oleksid võinud tekkida kellegi teise koostatud mudeleid modifitseerides. Foto 27 on illustreeritud erinevusi tööprojekti ja tegelikkuse vahel.

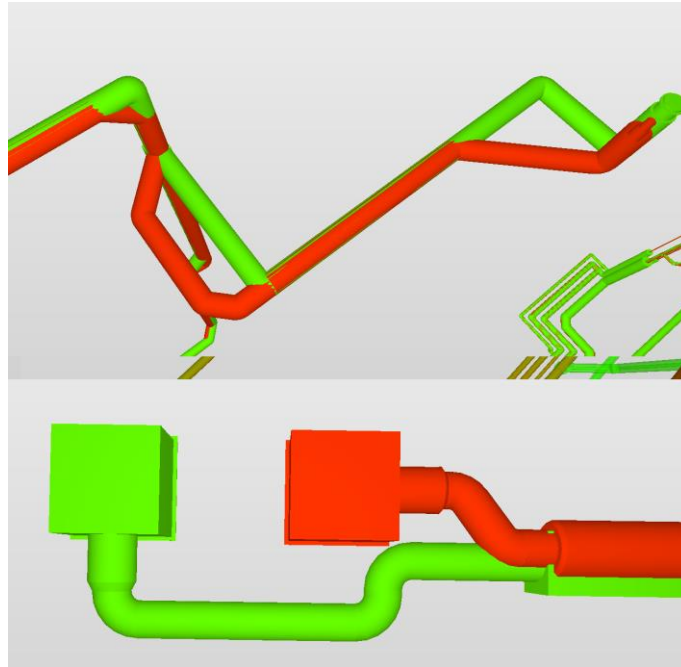


Foto 27. Teostusmodeli ja tööprojekti staadiumi mudeli erinevused; kus rohelisega on kujutatud reaalselt ehitatud ja punasega tööprojektijärgset lahendust

Pikk teostusmodelite koostamisele kuluv aeg tekitab vajaduse selle protsessi tõhustamiseks. Teostusmodelite kiiremale valmimisele aitab kindlasti kaasa mudeldajate kogemus, tooteinfo kättesaadavus ja tarkvarade areng. Tarkvarade arengust tulenevat kasu kirjeldati lähemalt eelmises peatükis, kus uuriti mudeldamise protsessi automatiseerimist, kuid mudeldamise kiirust mõjutavad ka olemasolevate tarkvarade uuendused. Mudeldamisel kasutatavate rakenduste mõte on lihtsustada mudelite koostamise protsessi, seega tehakse neile pidevalt uuendusi või lisatakse funktsioone, mis lihtsustavad mudelite või jooniste koostamist. Hea tooteinfo kättesaadavus kiirendab peale andmesisu täitmise ka mudeldamise protsessi, sest toote välja uurimisele kulutatavat aega saaks kasutada mudeli koostamiseks. Kuigi kõik projekteeritud tooted on mingis vormis dokumenteeritud, ei ole nende leidmine lihtne. Tihti on elementide tooted välja toodud erinevate projekteerijate koostatud projektdokumentatsioonis. Keerulisemaks teeb toodete tuvastamise ehituse käigus nende vahetumine ja muudatuste mitte dokumenteerimine. Näiteks oleneb jahutusseadmete puhul tootest torustike asetus. Kui toodet ei ole teada, ei ole ka võimalik täpselt teada kuidas asetseb pealevoolu, tagasivoolu ja kondensaaditoru.

Teostusmodeli koostamine on väga ajamahukas ja selle tõttu ka kulukas. Kui teostusmudeleid saaks koostada lähtudes enamasti tööprojekti staadiumi joonistest suureneks veelgi nende täpsus ning kuluks vähem aega muudatuste tuvastamisele ja nende mudelisse kandmisele. Selleks peaks tööprojekt juba olema piisavalt läbimõeldud lahendustega, et tekiks minimaalselt ehitusjärgseid muudatusi. Oluline on läbi mõelda kuidas saaksid hilisemad muudatused jäädvustatud ning mudelisse kantud. Kui teostusmodelis oleks alati värsked andmed ehitise kohta, saaks seda kasutada näiteks järgneva projekti aluseks

Teostusmodeli valmides ja rekonstrueerimise lõppedes tehti sisustatud ruumidest ja koridoridest 360° fotod. Kasutades neid fotosid koostati Daluxi vahendusel interaktiivsete nuppudega korruseplaan, millel ruumide piires olevale nupule vajutades avanes ruumist tehtud suunatav 360° foto. Fotodega kaardistati terve peamaja esimene korrus ja enamik laborimajast. Nendega oleks saanud asendada ka teostatud projektide mahus mudeldamiseks tehtud jäädvustused, kuid sellel hetkel teostusmodeli koostajad veel 360° fotosid ei teinud.

Laborimaja ja peamaja esimese korruse teostusmodel üksi suuremat väärtust veel ei loo. Kui on võimalik valminud teostusmodelitest kokku panna kogu TTK hoonestik, planeeritakse seda kogumikku kasutada haldusprotsessis. Seni kasutatakse tehtud teostusmudeleid hoonest nägemuse tekitamiseks ja vajadusel mõõtude võtmiseks. Terviklik teostusmodel oleks haldussüsteemi osa, kus seadmetele saab juurde lisada kõik asjakohased andmed – tooteinfo, hooldusjuhendid, teenusepakkujad jmt. Kuni teostusmudeleid andmete haldamiseks ei kasutata, toimub see tavapärasel moel digitaalselt dokumendihaldussüsteemiga.

Kuigi kaks teostusmodelit ei ole kaugeltki piisav kogus hindamaks teostusmodelite olemust terves ehitussektoris, saadi TTK rekonstrueerimisel koostatud teostusmodelite põhjal kinnitust uuritud teooriale. Tulenevalt teostusmodelite koostamise protsessi vähesest automatiseeritusest, koostatakse modelid suuresti käsitsi, millega kaasneb ka suur ajakulu. Kinnitust sai teostusmodelite koostamisel punktipilvede täpsus ning nende kasutusmugavus. Tulenevalt laserskaneerimise kulust ja keerukusest, ei ole punktipilve koostamine igast ehituse etapis aga reaalne. Tehtud projektide puhul aitas sealkohal fotode ja videote tegemine. Fotogramm-meetria arengul lihtsustub ka punktipilvede koostamine ja sellega ka teostusmodelite täpsus. TTK teostusmudeleid plaanitakse kasutada hoone haldusprotsessis, mida käsitleti eelnevas peatükis, kuid seda alles kogu hoonestiku teostusmodelitega kaardistamisel. Mõlemad teostusmodelid valmisid ootustepäraselt, suuremate tõrgeteta. BIM tehnoloogia arenedes kiireneb kindlasti teostusmodeli koostamise protsess ja laieneb selle kasutusala.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli edastada töö koostamise aegne teostusmodelite olukord ehitussektoris. Töö raames toodi välja teostusmodelitele rakenduvad nõuded, nende võimalikud kasutuskohad ja esinevad probleemkohad. Kirjeldati teostusmodelite koostamist ja selle tarbeks kasutatavaid vahendeid ja rakendusi.

Eestis lähtutakse teostusmodelite koostamisel peamiselt RKAS-i poolt välja töötatud nõuetest. Nimetatud nõuded kaardistavad väga põhjalikult hoonete teostusmodelite koostamise protsessi, kuid jäävad puudulikuks rajatiste puhul. Rajatiste osa katavad ära AST-i nõuded, mis on RKAS-e nõuete baasil üles ehitatud. Kuigi RKAS-e nõuded on kohustuslikud igas projektis, mille tellija on RKAS, kasutatakse neid laialdaselt ka erasektoris. Nõudeid BIM projekteerimisele pidevalt uuendatakse ja kohandatakse vastavalt ehitussektori muutusele.

Lõputöö kirjutamisel selgus, et kuigi teostusmodelite kasutuskohasid on mitmeid, leidub neis kõikides selgeid arengukohti. Enamik probleemkohtadest on seotud sellega, et teostusmodelite kasutamine on maailmas suhteliselt uus ning alles arengujärgus. Sellest hoolimata kasutatakse teostusmudeleid edukalt hoone haldamisel ja hooldamisel ning analüüside teostamiseks enne suuremaid otsuseid. Tehnoloogia arengul muutub teostusmodelite kasutamine lihtsamaks ning laieneb ka nende kasutusalas.

Põhilised probleemid seoses teostusmodelitega lõputöö kirjutamise ajal on nende koostamise protsess ning selle hilisem ajakohastamine. Teostusmodeli koostamise protsess on väga ajamahukas, põhiliselt tulenevalt selle käitsi koostamisest. Leidub väheseid kohti mudeldamise protsessis, mida on võimalik automatiseerida. Kuni mudeldamise protsessi automatiseerimiseks ei ole välja töötatud laialdasemalt kasutatavaid meetodeid, lihtsustavad seda suur hulk spetsialiseeritud, pidevalt uuenevaid mudeldamisele orienteeritud rakendused.

TTK teostusmodelite koostamisel saadi kinnitust lõputöö esimeses peatükis kirjeldatule. Veenduti punktivilvide täpsuses, teostusmodeli koostamise ajamahukuses ning ka nende kasutusalas. Teostusmodelite koostamisel on oluline hea protsessi organiseerimine ja teadlikkus olemasolevatest tehnoloogilistest võimalustest.

Teostusmodelid ning BIM metoodika üldisemalt on arenev valdkond. Modelite koostamise protsess on suuresti veel käsitöö, kuid töös uuritud allikad näitavad, et töötatakse tehnoloogia arendamisel, mis võib suure osa sellest protsessist automatiseerida. Oluline on arendada nii teostusmodelite

koostamise protsessi kui ka nende kasutusalasid. Nende abil on võimalik optimeerida ehitise elukaare jooksul tekkivaid kulusi nii haldamisel kui ka rekonstrueerimisel ning seeläbi säästa ka loodust.

SUMMARY

The following thesis „*Analysis of As-built Models on the Example of the Reconstruction of Tallinn University of Applied Sciences Buildings*“ aims to present the situation of as-built models in the construction sector. An as-built model is an important part of BIM process. Therefore, it is important that all related operations are carried out as efficiently as possible, thus minimising the waste of time and resources. The actual process of creating an as-built model is further analysed from the example of the reconstruction of Tallinn University of Applied Sciences. This thesis expands on the requirements established for creating as-built models, the possible uses of as-built models, problem areas of as-built models and the creation of as-built models.

In Estonia, as-built models are primarily based on requirements developed by RKAS. These requirements are very thorough in mapping out the process of as-built modelling for buildings but are lacking in other types of structures. Structures are principally covered by AST requirements, which are based on RKAS requirements. Although the requirements developed by RKAS are mandatory for any building project commissioned by RKAS, they are also widely used in the private sector. The requirements for BIM are continuously adapted to the ever-changing construction sector.

In the course of writing the thesis, it became noticeable that, although there are many places where as-built models can be used, there is clear need for improvement in all of them. Most of the problem areas are related to the fact that the use of as-built models is still relatively new and in its early stages. Nonetheless, as-built models are successfully used for building management and maintenance, and for analysis before major decisions. As technology advances, the use of as-built models will become easier and their field of use will expand.

At the time of writing the thesis, the main problems with as-built models are the process of creating them and their subsequent updating. The process of creating an as-built model is very time consuming, mainly due to the manual modelling process. Not many parts of the modelling process can be automated. Until more widely used methods are developed to automate the modelling process, it can be made easier by a large number of specialised, constantly evolving modelling-oriented software applications.

Creating as-built models for the reconstruction of TTK buildings confirmed what was expanded upon in the first part of the thesis: the accuracy of point clouds, the time-consuming nature of the

modelling process and the scope of their use. Good management of the whole process and awareness of the available technology options are essential for the efficient development of the as-built models. As-built models and BIM methodology in general are still evolving. The process of creating as-built models is still largely a manual one, but the sources examined in this thesis indicate that technology that could automate much of this process is now being developed. It will be important to advance the process of creating as-built models and their uses. As-built models have the potential to optimise the lifecycle costs of a building in terms of management and reconstruction, thereby reducing our impact on the environment.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] J. P. Carvalho, M. Almeida , L. Bragança and R. Mateus, "BIM-Based Energy Analysis and Sustainability Assessment—Application to Portuguese Buildings," *Buildings*, vol. 11, no. 6, 2021.
- [2] [Online]. Available: <https://www.realityimt.com/industry-insights/as-built-bim/#:~:text=An%20As%2DBuilt%20BIM%20is,the%20time%20of%20the%20survey..> [Accessed 05. 04. 2022].
- [3] J. Woo, J. Wilsmann and D. Kang, "Use of As-Built Building Information Modeling," in *Construction Research Congress 2010*, 2010.
- [4] "xmeasures," [Online]. Available: <https://www.xmeasures.com/helpDesk/readMe/whatAreAsBUILts.php>. [Accessed 05. 04. 2022].
- [5] "rkas," [Online]. Available: https://www.rkas.ee/sites/default/files/public-uploaded-files/BIM/Lisa_2_Projekti_rakenduskaava_alusfail.pdf. [Accessed 06. 04. 2022].
- [6] "rkas," [Online]. Available: <https://www.rkas.ee/et/ettevotest/kes-me-oleme>. [Accessed 06 04 2022].
- [7] "nouded.rkas," [Online]. Available: <https://nouded.rkas.ee/>. [Accessed 06. 04. 2022].
- [8] "eehitus," [Online]. Available: <https://eehitus.ee/timeline-post/ast-etalon/>. [Accessed 09. 04. 2022].
- [9] "eehitus," [Online]. Available: <https://eehitus.ee/juhendid/bim/>. [Accessed 09. 04. 2022].
- [10] M. Schley, B. Haines, K. Roper and B. Williams, "BIM for facility management".
- [11] E. Halmetoja, "Infomudelid kinnisvara korrashoius," 21 09 2016. [Online]. Available: <https://www.rkas.ee/sites/default/files/public-uploaded-files/BIM/Infomudelid%20kinnisvara%20korrashoius.pdf>. [Accessed 24 04 2022].
- [12] A. Alt, E.-R. Parts, K. Kroon, S. Saidla and E. Pikas, "Rkas," 11. 2014. [Online]. Available: https://www.rkas.ee/sites/default/files/public-uploaded-files/BIM/Mudelprojekteerimise_projektijuhi_kvaliteedik%C3%A4siraamat_l%C3%B5ppraport.pdf. [Accessed 15. 05. 2022].
- [13] L. Obi, B. Awuzie, C. Obi, T. S. Omotayo, A. Oke and O. Osobajo, "BIM for Deconstruction: An Interpretive Structural Model of Factors Influencing Implementation,"

Buildings, vol. 11, no. 6, 2021.

- [14] M. Marzouk, A. Elmaraghy and H. Voordijk, "Lean Deconstruction Approach for Buildings Demolition," *Lean Construction Journal*, pp. 147-173, 2019.
- [15] M. van den Berg, H. Voordijk and A. Adriaanse, "BIM uses for deconstruction: an activitytheoretical perspective on reorganising end-of-life," *Construction Management and Economics*, vol. 39, no. 4, 2021.
- [16] "Potential Application of BIM in Cost-benefit Analysis of Demolition Waste Management," in *Construction Research Congress*, Atlanta, 2014.
- [17] D. Maresco, "SpaceIQ," [Online]. Available: <https://spaceiq.com/blog/digital-twin-vs-bim/>. [Accessed 25 04 2022].
- [18] R. Whitlock, "The City of Las Vegas unveils advanced Digital Twin at Consumer Electronics Showcase," 2022.
- [19] T. McCausland, "Digital Twins," *Research-Technology Management*, vol. 65, no. 1, pp. 69-71, 2022.
- [20] S. Khajavi, N. H. Motlagh, A. Jaribion and L. C. Werner, "Digital Twin: Vision, Benefits, Boundaries, and Creation for Buildings," *IEEE Access*, vol. 7, 2019.
- [21] G. Kelly, M. Serginson, S. Lockley, N. Dawood and M. Kassem, "BIM for facility management: a review and a case study investigating the value and challenges," in *13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*, London, 2013.
- [22] H. Q, S. W, N. J and T. R, "Change management in construction projects," in *International Conference on Information Technology*, Santiago, 2008.
- [23] Y.-C. Lin, H.-Y. Lee and I.-T. Yang, "Developing as-built model process management system for general contractors: a case study," *Journal of civil engineering and management*, vol. 22, no. 5, p. 14, 2016.
- [24] P. Tang, D. Huber, B. Akinci, R. Lipman and A. Lytle, "Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques," *Automation in Construction*, vol. 19, no. 7, pp. 829-843, 2010.
- [25] J. Jung, S. Hong, S. Jeong, S. Kim, H. Cho, S. Hong and J. Heo, "Productive modeling for development of as-built BIM of existing indoor structures," *Automation in Construction*, vol. 42, pp. 68-77, 2014.
- [26] J. Xue, X. Hou and Y. Zeng, "Review of Image-Based 3D Reconstruction of Building for

- Automated Construction Progress Monitoring," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 17, 2021.
- [27] Autodesk, "Imaginit," 2017. [Online]. Available: https://www.imaginit.com/portals/4/documents/autodesk-revit2018-brochure_evergreen_v3.pdf. [Accessed 14. 05. 2022].
- [28] Graphisoft, "pdf.archiexpo," 2019. [Online]. Available: <https://pdf.archiexpo.com/pdf/graphisoft/archicad-22-brochure/49558-335039.html>. [Accessed 14. 05. 2022].
- [29] Trimble, "Tekla," 14. 08. 2018. [Online]. Available: <https://www.tekla.com/resources/tekla-software-brochures/2016-tekla-engineering-brochure-web>. [Accessed 14. 05. 2022].
- [30] "Magicad," MagiCAD, 2022. [Online]. Available: <https://www.magicad.com/en/what-is-magicad-for-mep/>. [Accessed 14. 05. 2022].
- [31] CADMATIC, "Cadmatic," [Online]. Available: <https://www.cadmatic.com/en/construction/construction-software-solutions/cadmatic-electrical-for-construction/building-electrical-design/bim-and-3d/>. [Accessed 14. 05. 2022].
- [32] Autodesk, "pdf.archiexpo," 2010. [Online]. Available: <https://pdf.archiexpo.com/pdf/autodesk/autocad-civil-3d/1773-55959.html>. [Accessed 14. 05. 2022].
- [33] J. Coppinger, "lifewire," 01. 05. 2020. [Online]. Available: <https://www.lifewire.com/autodesk-recap-485205>. [Accessed 14. 05. 2022].
- [34] RKAS, "Riigi Kinnisvara," [Online]. Available: https://www.rkas.ee/sites/default/files/public-uploaded-files/BIM/Lisa_4_2_Solibri_l%C3%BChijuhend.pdf. [Accessed 14. 05. 2022].
- [35] Dalux, "Dalux," [Online]. Available: <https://www.dalux.com/dalux-field/>. [Accessed 14. 05. 2022].
- [36] "X-GIS maa-amet," 2021. [Online]. Available: <https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/maainfo>. [Accessed 09. 05. 2022].
- [37] "Tallinna Tehnikakõrgkooli 2019. aasta eelarve täitmise ja majandusaasta aruande kinnitamine," Tallinna Tehnikakõrgkool, 2019.
- [38] A. Asli, L. Xuesong, A. Burcu and G. H. James, "Integrating and Visualizing Maintenance and Repair Work Orders in BIM: Lessons Learned from a Prototype," in *International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*, 2011.

- [39] Fileinfo, "Fileinfo," 26. 01. 2022. [Online]. Available: <https://fileinfo.com/extension/afc>. [Accessed 15. 05. 2022].
- [40] Google Maps, 2018. [Online]. Available: <https://www.google.com/maps/@59.4265643,24.7401439,3a,69y,139.76h,88.2t/data=!3m7!1e1!3m5!1sTGD9I-iWfU6IWcWhAxMuXw!2e0!5s20180801T000000!7i13312!8i6656>. [Accessed 07. 05. 2022].